

ALEXANDRE DO PRADO

**ANÁLISE DA ACURÁCIA E DA CORRELAÇÃO ESPACIAL  
NAS TÉCNICAS DGPS E RTK**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora:  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Pereira Krueger

CURITIBA  
2001


---

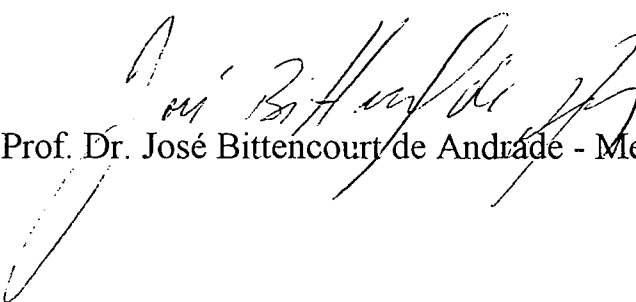
**“ANÁLISE DA PRECISÃO E DA CORRELAÇÃO ESPACIAL  
NAS TÉCNICAS DGPS E RTK”**

**POR**

**ALEXANDRE DO PRADO**

Dissertação nº 152 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Cláudia Pereira Krüeger (UFPR)  
Orientadora e Presidente

  
Prof. Dr. José Bittencourt de Andrade - Membro (UFPR.)

  
Prof. Dr. Paulo de Oliveira Camargo – Membro (UNESP)

*Aos meus pais Orestes e Regina,  
à minha esposa Ji e  
ao meu filho Geovanni.*

## AGRADECIMENTOS

Como não poderia ser diferente, início agradecendo aos meus pais Orestes e Regina, que muitas vezes suprimiram seus anseios em deprimimento dos meus, que nos momentos difíceis estavam ao meu lado e que nos momentos de alegria sorriam junto a mim. Nada mais justo dividir com vocês os méritos deste trabalho.

Gostaria de estender estes agradecimentos a uma pessoa para mim especial, a AMIGA PROFESSORA ORIENTADORA Cláudia Pereira Krueger, a qual conseguiu me aturar por quase 6 anos. Neste período ela foi minha orientadora em Bolsas de Iniciação Científica, do Projeto Final do Curso de Engenharia Cartográfica e finalizando nesta pesquisa de Mestrado. Mesmo desenvolvendo e coordenando um projeto internacional de cooperação tecnológica Alemanha/Brasil, administrando o Laboratório de Geodésia Espacial (LAGE), realizando diversas pesquisas, tendo cargos administrativos dentro da Universidade Federal do Paraná, de ministrar aulas tanto na graduação quanto na pós-graduação e ainda de orientar outros alunos, sempre arranjava tempo para as nossas conversas, suprimir minhas dúvidas e trocar idéias. Simplesmente, muito obrigado!

A Professora Msc. Luciene Delazari Skroch, pelo apoio, incentivo e discussão de temas relevantes ao desenvolvimento deste trabalho.

AO Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPQ, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – CPGCG por disponibilizar toda a sua infra-estrutura, fornecer os equipamentos e programas necessários para o desenvolvimento deste trabalho. Não poderia esquecer dos professores, os quais não mediram esforços para passar todo o seu conhecimento.

Aos colegas, Eno Darci Saatkamp, Jaime Freiberg, Jesica Burigo do Prado, Maurício I. Sejas e Samantha Cruz Moraes, que me apoiaram nos intermináveis

levantamentos de campo. Aos demais colegas de CPGCG, em especial: Alexandre André de Oliveira Pires, Carlito Vieira, Elaine Cristine Barros de Souza, Isabel Franco do Lago, Moises Ferreira Costa, Regiane Dalazoana e Sandro Reginatto, pela troca de conhecimentos, amizade e dedicação a minha pessoa.

Aos colegas, Alessandro Coletti e Julio Cesar Levandoski, pela confecção das figuras que compõem este trabalho e no auxílio no campo da informática.

# SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO</b>	v	
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	vii	
<b>LISTA DE TABELAS</b>	viii	
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b>	ix	
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b>	x	
<b>RESUMO</b>	xi	
<b>ABSTRACT</b>	xii	
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1	SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL – NOÇÕES BÁSICAS...	4
2.1.1	Os Segmentos GPS e suas Características.....	4
2.1.2	Observáveis GPS.....	8
2.1.2.1	Código e Fase da Portadora.....	8
2.1.2.2	Combinações Lineares.....	12
2.1.2.3	Técnicas OTF.....	16
2.1.3	Erros do Sistema.....	18
2.1.4	Métodos de Posicionamento.....	24
2.1.4.1	Método Absoluto.....	24
2.1.4.2	Método Relativo.....	26
2.1.4.3	Método GPS Diferencial.....	28
2.1.4.3.1	Correções Diferenciais.....	31
2.1.4.3.2	Modelo Matemático das Correções Diferenciais DGPS.....	32
2.1.4.3.3	Particularidades da Técnica RTK.....	33
2.1.4.3.4	Mensagens RTCM.....	36
2.1.4.3.5	Transmissão de Dados.....	44
2.1.5	Padrão NMEA.....	47
2.1.6	Programas Computacionais Utilizados.....	48
<b>3</b>	<b>LEVANTAMENTOS REALIZADOS.....</b>	<b>51</b>
3.1	Descrição da Área de Estudo.....	51

3.2	Levantamento Estático .....	54
3.2.1	Processamento dos Dados e Resultados Obtidos.....	54
3.3	Levantamentos DGPS.....	58
3.4	Levantamento RTK.....	61
<b>4</b>	<b>RESULTADOS OBTIDOS COM OS LEVANTAMENTOS DGPS E RTK E SUAS ANÁLISES.....</b>	<b>64</b>
4.1	Resultados DGPS e suas Análises.....	64
4.1.1	Primeira Ocupação DGPS.....	67
4.1.2	Segunda Ocupação DGPS.....	76
4.1.3	Análise Conjunta das Ocupações DGPS.....	80
4.2	Resultados RTK e suas Análises.....	81
4.3	Análise dos Resultados DGPS e RTK.....	88
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>90</b>
	<b>ANEXO 1.....</b>	<b>93</b>
	<b>ANEXO 2.....</b>	<b>96</b>
	<b>ANEXO 3.....</b>	<b>114</b>
	<b>ANEXO 4.....</b>	<b>133</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>139</b>

## LISTA DE FIGURAS

01	Estrutura do Sinal GPS.....	7
02	Mensuração da Pseudodistância com Observações de Código.....	9
03	Espaço de Procura das Ambigüidades Inteiras.....	18
04	As Camadas Atmosféricas com respeito a Propagação de Ondas Eletromagnéticas.....	20
05	Efeito do Multicaminho.....	23
06	Método Absoluto.....	25
07	Método Relativo.....	26
08	Princípio Básico do Método GPS Diferencial.....	29
09	Palavras-Padrão.....	38
10	Visualização da Área Teste.....	51
11	Materialização das Estações.....	52
12	Aquisição e Processamento de Dados.....	55
13	Levantamento DGPS.....	60
14	Levantamento RTK.....	62
15	Trecho Inicial de um Arquivo NMEA (mensagem GPGGA).....	65
16	Trecho de um Arquivo de Extensão RTK.....	82



## LISTA DE TABELAS

01	Configuração Ativa do Sistema Espacial.....	5
02	Características do Sinal GPS.....	6
03	Combinação Linear da Fase das Portadoras.....	13
04	Período de Ocupação e Acurácia no Método Relativo.....	28
05	Comparação entre as Técnicas de Posicionamento do Método GPS Diferencial.....	31
06	Tipos de Mensagem RTCM.....	39
07	Latência em um Enlace de Dados de 100bps.....	42
08	Volume de Dados Transmítidos na Técnica DGPS.....	46
09	Volume de Dados Transmítidos na Técnica RTK.....	46
10	Taxa Mínima de Transmissão.....	46
11	Coordenadas das Estações PARA e RM03 (SIRGAS).....	52
12	Identificação e Descrição das Estações da Área Teste.....	53
13	Coordenadas Geodésicas Finais ( $\phi$ , $\lambda$ , $h$ ) das Estações Teste obtidas pelo Levantamento Estático .....	57
14	Levantamentos DGPS.....	61
15	Levantamento DGPS – 1ª Ocupação – Média e Desvio Padrão do Erro Planimétrico.....	71
16	Levantamento DGPS – 1ª Ocupação – Média e Desvio Padrão do Erro Altimétrico.....	72
17	Levantamento DGPS – 1ª Ocupação – Limite Superior dos Intervalos de Confiança – Erros Bidimensionais e Altimétricos.....	70
18	Levantamento DGPS – 2ª Ocupação – Limite Superior dos Intervalos de Confiança – Erros Planimétricos e Altimétricos.....	73
19	Solução Conjunta das Ocupações DGPS.....	81
20	Erro Planimétrico na Técnica RTK.....	85
21	Erro Altimétrico na Técnica RTK.....	85

## LISTA DE GRÁFICOS

01	Erro Planimétrico e Altimétrico – 1ª ocupação – Estação “AZMT”.....	68
02(a)	Dispersão da Solução DGPS considerando todas as Informações Registradas – Estação Teste “AZMT”.....	69
02(b)	Dispersão da Solução DGPS desconsiderando as Informações Registradas durante o período de sintonização – Estação Teste “AZMT”.....	70
03	Levantamento DGPS – 1ª Ocupação – Limite Superior dos Intervalos de Confiança – Erro Planimétrico.....	73
04	Levantamento DGPS – 1ª Ocupação – Limite Superior dos Intervalos de Confiança – Erro Altimétrico.....	74
05	Parâmetros do Rastreo – 1ª Ocupação – Estação Teste “PIL3”.....	76
06	Erro Planimétrico e Altimétrico – 2ª Ocupação – Estação “AZMT”.....	77
07	Levantamento DGPS – 2ª Ocupação – Limite Superior dos Intervalos de Confiança – Erro Planimétrico.....	79
08	Levantamento DGPS – 2ª Ocupação – Limite Superior dos Intervalos de Confiança – Erro Altimétrico.....	79
09	Processo de Reinicilização da Solução na Técnica RTK – Estação Teste “AZMT”.....	83
10	Erros Planimétricos e Altimétricos na Solução RTK – Estação Teste “AZMT”.....	84
11	Limites Superiores (95,45%) das Soluções RTK.....	86
12	Tempo de Fixação das Ambigüidades Inteiras (TTFA).....	88

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<b>A/S</b>	<b>Anti-Spoofing</b>
<b>DDF</b>	<b>Dupla Diferença de Fase</b>
<b>DoD:</b>	<b>Departament of Defense</b>
<b>DOP</b>	<b>Dilution of Precision</b>
<b>ERP</b>	<b>Earth Rotation Parameters</b>
<b>FARA</b>	<b>Fast Ambiguity Resolution Approach</b>
<b>GLONASS</b>	<b>Global Navigation Satellite System</b>
<b>GPS:</b>	<b>Global Positioning System</b>
<b>IBGE</b>	<b>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</b>
<b>IGS</b>	<b>International GPS Geodynamics Service</b>
<b>LAMBDA</b>	<b>Least Square Ambiguity Decorrelation Adjustment</b>
<b>NAVSTAR:</b>	<b>NAVigation System with Time And Ranging</b>
<b>NMEA</b>	<b>National Maritime Eletronics Association</b>
<b>OTF</b>	<b>On the Fly</b>
<b>OTR</b>	<b>On the Run</b>
<b>OTW</b>	<b>On the Way</b>
<b>PDGPS:</b>	<b>Precise DGPS</b>
<b>PPS</b>	<b>Precise Positioning Service</b>
<b>PR:</b>	<b>Estado do Paraná</b>
<b>RBMC</b>	<b>Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo</b>
<b>RINEX</b>	<b>Receiver INdependt EXchange Format</b>
<b>RRC</b>	<b>Range-Rate Correction</b>
<b>RTCM</b>	<b>Radio Technical Commission for Maritime Services</b>
<b>RTK:</b>	<b>Real Time Kinematic</b>
<b>S/A</b>	<b>Selective Availability</b>
<b>SDF</b>	<b>Simples Diferença de Fase</b>
<b>SIRGAS</b>	<b>Sistema de Referência Geocêntrico para América do Sul</b>
<b>SPS</b>	<b>Standard Positioning Service</b>
<b>TEC</b>	<b>Conteúdo Total de Elétrons</b>
<b>TDF</b>	<b>Tripla Diferença de Fase</b>
<b>UDRE:</b>	<b>User Differential Range Error</b>
<b>WADGPS:</b>	<b>Wide Area DGPS</b>
<b>WGS-84</b>	<b>World Geodetic System 1984</b>

## RESUMO

As técnicas de posicionamento em tempo real partem do princípio de que os erros cometidos na estação de referência são, na sua grande maioria, os mesmos apresentados na estação móvel. Contudo, a medida que a distância entre estas estações aumenta, os erros que anteriormente eram semelhantes, passam a ser cada vez mais não correlacionados. Em consequência deste processo, ocorre uma degradação progressiva em posição. Este tipo de degradação é designada comumente na literatura por “correlação espacial”. O escopo principal deste trabalho é fundamentado no estudo da correlação espacial nas técnicas DGPS e RTK. Visando atingir este objetivo escolheu-se dez estações teste, cujos comprimentos das linhas de base variam entre 0,2 a 29 Km.

Com os resultados obtidos nesta pesquisa não foi possível definir com fidelidade o valor da correlação espacial para as técnicas DGPS e RTK. Porém, constatou-se que para estas linhas de base, o DGPS possibilitou erros planimétricos inferiores a 2,5 m, ao passo que na técnica RTK estes erros não ultrapassaram a 7 cm. Com respeito aos erros altimétricos, verificou-se que os mesmos são inferiores a 6 m na técnica DGPS e a 15 cm na técnica RTK.

## **ABSTRACT**

Real time positioning techniques rely on the fact that errors in the reference station are, in its great majority, the same ones found in the rover station. However, while the distance between stations is increased, the errors which were analogous before become more and more uncorrelated. Because of this process, there is a progressive degeneration in position fix. This type of degeneration is commonly known in literature as "spatial correlation". The main objective of this work is fundamented in studying the spatial correlation for DGPS and RTK techniques. Aiming to accomplish this objective ten test stations have been chosen, with baseline lengths varying from 0,2 to 29 Km.

It was not possible, using results obtained in this research, to determine the spatial correlation value for DGPS and RTK techniques. However, it has been found that for these baselines, DGPS made planimetric errors smaller than 2,5 m possible, while errors using the RTK technique were smaller than 7 cm. Regarding altimetric errors, it has been verified that those were smaller than 6 m using DGPS technique, and smaller than 15 cm using RTK technique.

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema GPS tem facilitado substancialmente todas as atividades que envolvem a arte de se posicionar (MONICO, 2000, p.251). Tarefas anteriormente árduas e complexas passaram a ter um caráter simples com a utilização do GPS. A grande virtude deste sistema é a possibilidade de se obter um posicionamento preciso com rapidez. Atualmente, é possível dispor de posicionamentos GPS com acurácias que variam de aproximadamente 25m (método absoluto) até o nível milimétrico (método relativo), dependendo fundamentalmente dos equipamentos (receptores) e procedimentos empregados.

Em linhas gerais, o GPS pode ser empregado na navegação ou para fins de cartografia. Na navegação (seja ela de característica marítima, terrestre ou aérea) existe a necessidade proeminente de se conhecer a posição do “veículo” em tempo real. Já na maioria dos levantamentos cartográficos, os dados coletados em campo são tratados *a posteriori* em um processo conhecido por “pós-processamento”. Entretanto, existem aplicações cartográficas (p.ex. levantamentos hidrográficos ou vôo aerofotogramétrico apoiado) que requerem a determinação dos pontos de interesse em tempo real. De modo a atender a estes usuários, engenheiros e pesquisadores desenvolveram nas últimas décadas algumas técnicas de posicionamento GPS, dentre elas destacam-se o DGPS, o WADGPS (*Wide Area DGPS*), o RTK (*Real Time Kinematic*) e o PDGPS (*Precise DGPS*). O princípio básico destas técnicas consiste no posicionamento em tempo real de uma estação móvel através das “correções diferenciais” geradas na(s) estação(ões) de referência(s) (KRUEGER, 1996, p.52). Porém, a validação destas “correções diferenciais” torna-se menos efetiva a medida que aumenta a separação entre as estações móvel e de referência, degradando progressivamente a qualidade do posicionamento (BRIONES, 1999, p.02). Este tipo de degradação é conhecida na literatura por “correlação espacial”.

Com o presente trabalho visa-se a análise da precisão e da correlação espacial nas técnicas DGPS e RTK. Para tal, foi estabelecido um conjunto de doze estações distribuídas na área urbana do município de Curitiba (PR) e ao longo da rodovia BR-277 em direção ao município de Campo Largo (PR). A primeira etapa deste projeto consistiu na determinação precisa das coordenadas destas estações

através de levantamentos estáticos (clássicos). A segunda etapa fundamentou-se na realização dos levantamentos DGPS e RTK, sendo que as soluções obtidas com estas técnicas foram comparadas com as coordenadas de referência estabelecidas na primeira etapa. Tal fato, possibilita a quantificação da precisão e da correlação espacial nestas técnicas. A parte experimental deste trabalho restringiu-se a aplicação das técnicas DGPS e RTK em virtude das mesmas fornecerem uma operacionalização mais simples com respeito as demais (WADGPS e PDGPS) e também devido aos custos financeiros envolvidos serem menores.

O desenvolvimento deste projeto tornou-se viável pois permitirá a qualquer usuário DGPS e RTK o conhecimento prévio da sua degradação posicional em função do seu afastamento com relação a estação de referência (correlação espacial). Outro motivo para justificar a execução deste trabalho é o número reduzido de pessoas no Brasil que trabalham com a técnica RTK, tornando-se imprescindível a sua apresentação, estudos de viabilidade, análise de resultados e expor as restrições apresentadas por ela.

O presente trabalho encontra-se estruturado em 5 capítulos. No capítulo 2 estão apresentados os conceitos básicos do Sistema de Posicionamento Global (GPS) e os seus Métodos de Posicionamento. Dentre estes conceitos básicos destacam-se as equações de observação, as combinações lineares, a resolução rápida das ambigüidades inteiras e os erros inerentes ao sistema. Com respeito aos Métodos de Posicionamento concede-se uma maior importância ao Método GPS Diferencial (assunto principal deste trabalho), realçando fundamentalmente as técnicas DGPS e RTK. Informações adicionais podem ser obtidas nas seguintes bibliografias: SEEBER (1993), TEUNISSEN *et al.* (1998), KRUEGER (1996), MONICO (2000), ROTACHER e MERVART (1996), CARVALHO (1999), LANGLEY (1995), TALBOT (1996), BRIONES (1999), HOFMANN-WELLENHOF *et al.* (1994), WÜBBENA *et al.* (1996) e RTCM V2.2 (1998).

No capítulo 3 é realizada a descrição da área de estudo, da metodologia aplicada aos levantamentos estáticos, DGPS e RTK, bem como do processamento dos dados dos levantamentos estáticos. No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos nos levantamentos DGPS e RTK, sendo também procedida a análise destes resultados. As conclusões derivadas dos experimentos realizados e

certas recomendações para os próximos trabalhos a serem efetuados nesta mesma linha de pesquisa estão apresentadas no capítulo 5.



## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL – NOÇÕES BÁSICAS

#### 2.1.1 OS SEGMENTOS GPS E SUAS CARACTERÍSTICAS

O NAVSTAR-GPS (NAVigation System with Time and Ranging – Global Positioning System) é um sistema constituído por uma constelação de satélites, desenvolvido e mantido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD), que proporciona o posicionamento tridimensional, a velocidade e o tempo em um sistema de referência geocêntrico, em qualquer parte do mundo, vinte e quatro horas por dia, sob quaisquer condições meteorológicas. Na literatura especializada, o sistema GPS é normalmente dividido em três segmentos, a saber:

(a) **Segmento de Controle:** é constituído por doze estações de rastreio distribuídas em longitude sobre a superfície terrestre, sendo cinco delas pertencentes ao AAF (*American Air Force*) e as demais ao NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*) (MONICO, 2000, p.32-33). O seu objetivo principal é monitorar e atualizar as mensagens de navegação que serão transmitidas posteriormente pelos satélites, determinando e predizendo modelos para as órbitas e para os relógios dos satélites empregando um estimador Kalman (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 1994, p.22);

(b) **Segmento Espacial:** é definido por uma constelação de 24 satélites orbitando ao redor da Terra a uma altitude média de 20200 Km, dispostos em 6 planos orbitais com uma inclinação de 55° em relação ao plano equatorial. Esta configuração visa uma cobertura global, permitindo que no mínimo quatro satélites estejam acima do plano do horizonte do observador (ANDRADE, 1988). A Tabela 01 mostra a configuração atual da constelação GPS.

Segundo KRUEGER (1996, p.08) a função do segmento espacial consiste em enviar sinais com informações de navegação e identificação (PRN codes), os quais serão decodificados pelos receptores GPS. Estas informações são moduladas em duas ondas portadoras ( $L_1$  e  $L_2$ ) geradas através de osciladores altamente

estáveis de rubídio e césio presentes nos satélites, baseadas em uma frequência fundamental ( $f_0$ ) equivalente a 10,23 MHz. Segundo TEUNISSEN *et al.* (1998, p.115) a principal razão de se utilizar as ondas portadoras  $L_1$  e  $L_2$  é a de minimizar os efeitos da ionosfera. A Tabela 02 indica as características dos sinais GPS.

TABELA 01 – CONFIGURAÇÃO ATIVA DO SISTEMA ESPACIAL

SATÉLITES LANÇADOS	PRN	DATA DE LANÇAMENTO	PLANO ORBITAL	RELÓGIO
<u>BLOCO II</u>				
II-02	02	10-06-89	B-3	Cs
II-04	19	21-10-89	A-5	Cs
II-05	17	11-12-89	D-3	Cs
II-08	21	02-08-90	E-2	Cs
II-09	15	01-10-90	D-5	Cs
<u>BLOCO IIA</u>				
IIA-10	23	26-11-90	E-5	Cs
IIA-11	24	04-07-91	D-1	Cs
IIA-12	25	23-02-92	A-2	Cs
IIA-14	26	07-07-92	F-2	Rb
IIA-15	27	09-09-92	A-4	Cs
IIA-16	01	22-11-92	F-4	Cs
IIA-17	29	18-12-92	F-5	Rb
IIA-18	22	03-02-93	B-1	Rb
IIA-19	31	30-03-93	C-3	Cs
IIA-20	07	13-05-93	C-4	Rb
IIA-21	09	26-06-93	A-1	Cs
IIA-22	05	30-08-93	B-4	Cs
IIA-23	04	26-10-93	D-4	Rb
IIA-24	06	10-03-94	C-1	Cs
IIA-25	03	28-03-96	C-2	Cs
IIA-26	10	16-07-96	E-3	Cs
IIA-27	30	12-09-96	B-2	Cs
IIA-28	08	06-11-97	A-3	Rb
<u>BLOCO IIR</u>				
IIR-2	13	23-07-97	F-3	Rb
IIR-3	11	07-10-99	D-2	Rb
IIR-4	20	11-05-00	E-1	Rb
IIR-5	28	16-07-00	B-5	Rb
IIR-6	14	10-11-00	F-1	Rb
IIR-7	18	30-01-01	E-4	Rb

FONTE: CANSPACE (Julho, 2001).

TABELA 02 – CARACTERÍSTICAS DO SINAL GPS

<b>Frequência Fundamental (<math>f_0</math>)</b>		10,23 MHz
<b>Onda Portadora L<sub>1</sub></b>	Sinal	154 x 10,23 MHz
	Frequência	1.575,42 MHz
	Comprimento de Onda ( $\lambda_{L1}$ )	19,05 cm
<b>Onda Portadora L<sub>2</sub></b>	Sinal	120 x 10,23 MHz
	Frequência	1.227,60 MHz
	Comprimento de Onda ( $\lambda_{L2}$ )	24,45 cm
<b>Código P</b>	Frequência	10,23 MHz
	Comprimento de Onda ( $\lambda_P$ )	29,31 m
	Período de repetição	266,4 dias
<b>Código C/A</b>	Frequência	1,023 MHz
	Comprimento de Onda ( $\lambda_{C/A}$ )	293,10 m
	Período de repetição	1 milissegundo
<b>Mensagem de Navegação</b>	Frequência	50 Hz
	Tempo total de transmissão	12,50 minutos
	Período de repetição	30 segundos

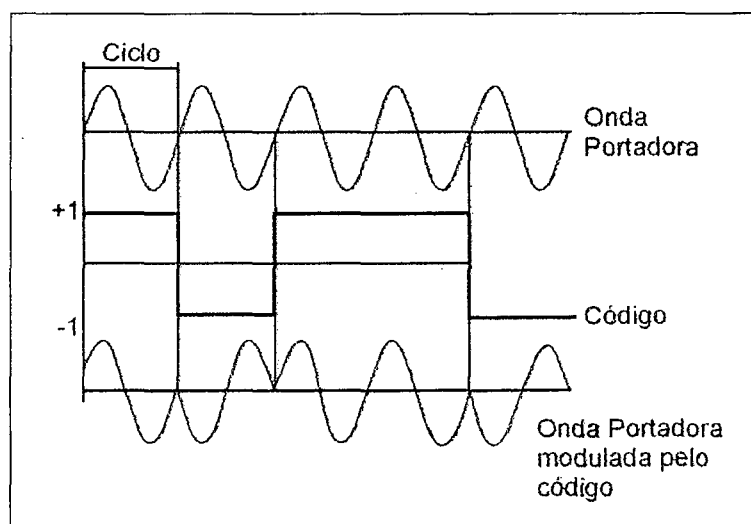
FONTE: CARVALHO (1999, p. 09)

A onda portadora L<sub>1</sub> é modulada pelos códigos P (*Precise Code*)<sup>1</sup> e C/A (*Course Acquisition*), sendo que ambos encontram-se em quadratura, ou seja, defasados de 90° entre si, enquanto a onda portadora L<sub>2</sub> é modulada apenas pelo código P. A mensagem de navegação (D) é formada por um bloco de informações, transmitida a uma taxa de 50 bps, contendo principalmente as efemérides, a “saúde” dos satélites e os coeficientes para a correção do relógio dos satélites, bem como alguns parâmetros para a correção dos dados (p.ex. valores dos parâmetros do Modelo Ionosférico de Klobuchar). Estes códigos correspondem a uma seqüência binária de +1 e -1, e são responsáveis pela modulação bifásica<sup>2</sup> das ondas portadoras, conforme mostra a Figura 01.

<sup>1</sup> Na realidade as portadoras L<sub>1</sub> e L<sub>2</sub> são moduladas pelo código Y (P+W).

<sup>2</sup> Mudança de 180° (cento e oitenta graus) na fase da onda portadora.

FIGURA 01 – ESTRUTURA DO SINAL GPS



FONTE: HOFMANN-WELLENHOF *et al.* (1994, p.77).

As ondas portadoras moduladas pelos códigos (C/A e P) e pela mensagem de navegação (D) podem ser representadas matematicamente pela equação (2.1):

$$\begin{aligned}
 L_1(t) &= a_1 \cdot P(t) \cdot D(t) \cdot \cos(f_{L_1} \cdot t) + a_1 \cdot C/A(t) \cdot D(t) \cdot \sin(f_{L_1} \cdot t) \\
 L_2(t) &= a_2 \cdot P(t) \cdot D(t) \cdot \cos(f_{L_2} \cdot t)
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

na qual:

$t$  : tempo;

$a_1$  : amplitude da onda portadora  $L_1$ ;

$a_2$  : amplitude da onda portadora  $L_2$ ;

$f_{L_1}$  : freqüência da onda portadora  $L_1$ ; e

$f_{L_2}$  : freqüência da onda portadora  $L_2$ .

A reconstrução pura das ondas portadoras, dos códigos e da mensagem de navegação é realizada pelos receptores através da Correlação dos Códigos (*Code Correlation Technique*). Caso não se conheça a seqüência binária do código Y a reconstrução é realizada por diversas técnicas, dentre elas cita-se: a Correlação Cruzada (*Cross Correlation*), a Quadratura (*Squaring*) e a Z-Tracking. Para maiores

detalhes sobre as técnicas citadas indica-se HOFMANN-WELLENHOF *et al.* (1994, p.84-88) e KRUEGER (1996, p.39-40).

Uma forte tendência, e já prometida pelo governo norte-americano, é a modernização do sistema GPS, esta modernização do sistema GPS foi proposta logo após a apresentação, por parte da comunidade europeia, de um novo sistema de posicionamento, o GALILEO. Tal fato, evidencia uma "corrida" pela elaboração do melhor sistema de posicionamento, por uma autonomia nesta área do conhecimento e na busca por novos usuários. Os governos dos países que estão desenvolvendo tais tecnologias sabem que o mercado de posicionamento cresce enormemente, além de ser altamente rentável financeiramente. Por fim, os grandes privilegiados desta modernização serão os usuários destes sistemas. No que concerne a modernização do sistema GPS deve-se enaltecer fundamentalmente a reestruturação dos sinais. O código C/A passará a ser modulado também sobre a portadora  $L_2$  e será implementado ainda uma nova onda portadora neste sistema, denominada por  $L_5$ . Um aspecto positivo com a adição da  $L_5$  é a diminuição do tempo necessário para a fixação das ambigüidades inteiras (seção 2.1.3.3). Para maiores detalhes sobre a modernização do sistema GPS indica-se McDONALD (1999) e MONICO (2000, p.270-273).

(c) **Segmento Usuário:** é caracterizado por todos os usuários, civis e militares, que empregam os receptores GPS na navegação e nos levantamentos cartográficos.

## 2.1.2 OBSERVÁVEIS GPS

### 2.1.2.1 CÓDIGO E FASE DA PORTADORA

O princípio fundamental das mensurações GPS consiste na determinação das pseudodistâncias a partir de dados oriundos do código, da fase da portadora ou das combinações lineares. A escolha de um tipo de observável será função da acurácia necessária para o levantamento, bem como do tipo de equipamento (receptor) disponível para tal.

- $\delta^S$  = erro de não sincronismo do relógio do satélite<sup>(S)</sup> com o tempo GPS;  
 $\delta_R$  = erro de não sincronismo do relógio do receptor<sub>(R)</sub> com o tempo GPS;  
 $\delta_{ORB}$  = erro orbital;  
 $\delta_{TROP}$  = erro devido à refração troposférica;  
 $\delta_{ION}$  = erro devido à refração ionosférica;  
 $m_C$  = erro provocado pelo multicaminho do código;  
 $\varepsilon_C$  = ruído da recepção do código; e  
 $\nu_{CF}$  = variação do centro de fase da antena.

As pseudodistâncias mensuradas com os códigos ( $P_C$ ) são rapidamente determinadas, visto que a mesma não é ambígua, e portanto, independe de um processo para a resolução das ambigüidades inteiras. Porém, estas medidas possuem altos níveis de ruído e são muito suscetíveis ao efeito do multicaminho (SONG, 1996, p.749). Estas pseudodistâncias são determinadas com uma precisão da ordem de 1% do comprimento de onda, correspondendo a uma precisão de 3m para o código C/A e 0,3m para o código P. Entretanto, outros desenvolvimentos indicam que é possível alcançar precisões da ordem de 0,1% do comprimento de onda (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 1994, p.90).

Nas aplicações geodésicas e cartográficas, uma observável mais precisa do que o código é utilizada, a fase da portadora. Analogamente, as pseudodistâncias determinadas com a fase da portadora também alcançam uma precisão da ordem de 1% do comprimento de onda, correspondendo a uma precisão aproximada de 2mm para ambas as portadoras (ver Tabela 02).

A fase da portadora, em ciclos, é dada por:

$$\varphi = \varphi^S - \varphi_R + N \quad (2.3)$$

na qual:

$\varphi$  = medida da fase da portadora;

$\varphi^S$  = fase oriunda do satélite<sup>(S)</sup>;

$\varphi_R$  = réplica da fase gerada pelo receptor<sub>(R)</sub>; e

$N$  = número inteiro de ciclos, no início do rastreio, entre o satélite<sup>(S)</sup> e o receptor<sub>(R)</sub>.

A equação (2.3) mostra que a fase da portadora é dada por um número inteiro de ciclos ( $N$ ), também chamada por ambigüidade, e por uma parte fracionária de um ciclo, conhecida por fase de batimento ( $\varphi^S - \varphi_R$ ), contada desde o satélite<sup>(S)</sup> até o receptor<sub>(R)</sub>, em um instante de tempo qualquer ( $t$ ). Porém, os receptores GPS são capazes de mensurar apenas a fase de batimento e por conseguinte, a fase inicial da onda portadora ( $\varphi$ ) não é conhecida, ou ambígua, com relação a um número inteiro de ciclos ( $N$ ). Segundo TEUNISSEN *et al.* (1998, p.165) as ambigüidades devem ser resolvidas, juntamente com as coordenadas da estação, em um processo de ajustamento.

A equação geral da fase da portadora, em unidades métricas, é dada por:

$$\lambda \cdot \varphi = \rho_R^S + c \cdot (\delta^S - \delta_R) + \delta_{ORB} + \delta_{TROP} - \delta_{ION} + m_p + \varepsilon_p + v_{CF} + \lambda \cdot N \quad (2.4)$$

na qual:

$\lambda$  = comprimento da onda portadora (m);

$\varphi$  = fase da onda portadora (ciclos);

$m_p$  = erro provocado pelo efeito do multicaminho da fase da portadora;

$\varepsilon_p$  = ruído da recepção da fase da portadora; e

$N$  = ambigüidade inteira.

Os termos presentes nas equações (2.2) e (2.4) são praticamente os mesmos exceto por causa da ambigüidade inteira ( $N$ ). Nas mesmas equações observa-se que o comportamento da ionosfera é oposto. Ao atravessarem a ionosfera, as medidas de código e da fase da portadora sofrem um atraso e um avanço, respectivamente (ver seção 2.1.3).

### 2.1.2.2 COMBINAÇÕES LINEARES

Observa-se nas equações (2.2) e (2.4) a existência de parâmetros incógnitos que devem ser determinados ou modelados (p.ex. coordenadas da estação, ambigüidades, erro ionosférico e outros). Para facilitar esta determinação faz-se uso de modelos matemáticos, comumente chamados na literatura por “combinações lineares”.

SEEBER (1993, p.254) diferencia as combinações lineares em cinco categorias, a saber:

- (a) entre observáveis de mesmo tipo;
- (b) entre observáveis de tipo diferente ;
- (c) entre observações de estações distintas;
- (d) entre observações de satélites distintos; e
- (e) entre observações de épocas distintas.

As combinações lineares entre as fases das portadoras (do mesmo tipo) são formadas com o intuito principal de eliminar o efeito da ionosfera ou resolver as ambigüidades inteiras. Para alcançar estes objetivos a combinação linear formada deverá ter coeficientes inteiros, um comprimento de onda razoável e um ruído observacional pequeno (WÜBBENA, 1989 apud KRUEGER, 1996, p.24). Para que a ambigüidade possua uma natureza inteira, os coeficientes da combinação linear deverão ser necessariamente inteiros. As equações (2.5), (2.6) e (2.7) representam, respectivamente, a fase ( $\varphi_{n,m}$ ), a ambigüidade ( $N_{n,m}$ ) e o comprimento de onda ( $\lambda_{n,m}$ ) resultante destas combinações.

$$\varphi_{n,m} = n \cdot \varphi_1 + m \cdot \varphi_2 \quad (2.5)$$

$$N_{n,m} = n \cdot N_1 + m \cdot N_2 \quad (2.6)$$

$$\lambda_{n,m} = c / (n \cdot f_1 + m \cdot f_2) \quad (2.7)$$



nas quais:

$n, m$  = coeficientes;

$\varphi_1$  = fase mensurada da onda portadora  $L_1$ ;

$\varphi_2$  = fase mensurada da onda portadora  $L_2$ ;

$N_1$  = ambigüidade referente a onda portadora  $L_1$ ;

$N_2$  = ambigüidade referente a onda portadora  $L_2$ ;

$c$  = velocidade da luz;

$f_1$  = freqüência da onda portadora  $L_1$ ; e

$f_2$  = freqüência da onda portadora  $L_2$ ;

As combinações lineares mais importantes desta categoria são a *Narrow Lane* ( $L_N$ ), a *Wide Lane* ( $L_W$ ), a *Extra Wide Lane* ( $L_{EW}$ ) e *Ion-Free* ( $L_3$ ). A Tabela 03 mostra as características gerais das portadoras  $L_N$ ,  $L_W$ ,  $L_3$  e  $L_{EW}$ , bem como as vantagens e as desvantagens de cada uma.

TABELA 03 – COMBINAÇÃO LINEAR DA FASE DAS PORTADORAS

Descrição	Sigla	n	m	$\lambda_{n,m}$ (cm)	Vantagem	Desvantagem
<i>Narrow Lane</i>	$L_N$	1	1	10,7	Ruído Baixo	Resolução das Ambigüidades
<i>Wide Lane</i>	$L_W$	1	-1	86,2	Resolução das Ambigüidades	Ruído Elevado
<i>Ion-Free</i>	$L_3$	$\frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2}$	$\frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2}$	5,4	Livre dos Efeitos da Ionosfera	Resolução das Ambigüidades
<i>Extra Wide Lane</i>	$L_{EW}$	$\frac{-f_1 \cdot f_2}{(f_1 - f_2) \cdot c}$	$\frac{f_1 \cdot f_2}{(f_1 - f_2) \cdot c}$	172,4	Resolução das Ambigüidades	Ruído Elevado

Fonte: NATALI (2000, p.15-16)

Em KRUEGER (1994, p.06) mostra-se que o nível de ruído para os códigos é maior do que para as portadoras, porém as portadoras são mais suscetíveis as perdas de sinal (*cycle slip*) e são ambíguas no início do rastreo. Para minimizar estes problemas optou-se pela associação destas duas observáveis. Trata-se,

portanto, de uma combinação linear na qual as observáveis são de tipos diferentes. Na literatura esta associação é chamada de “código suavizado pela portadora”. LACHAPELLE *et al.* (1986) apud HOFMANN-WELLENHOF *et al.* (1994, p.97) mostra a sua equação fundamental:

$$P_{CS}(t) = W(t) \cdot P_C(t) + (1 - W(t)) \cdot [P_{CS}(t-1) + \varphi(t) - \varphi(t-1)] \quad (2.8)$$

onde:

- $P_{CS}(t)$  = pseudodistâncias calculadas a partir do código suavizado pela portadora;
- $P_C(t)$  = pseudodistâncias calculadas a partir do código;
- $\varphi(t)$  = pseudodistâncias calculadas a partir da fase da portadora; e
- $W(t)$  = peso das observações.

O peso atribuído a cada observável será função do tempo decorrido desde o início do rastreamento ou desde a última perda de sinal ocorrida (Peso inicial das observações igual a 1). Para épocas consecutivas, o peso vai sendo reduzido continuamente (p.ex. 0,01 a cada segundo), acarretando na supremacia das medidas da fase da portadora sobre as do código. O algoritmo de suavização é sempre re-inicializado quando ocorrer uma perda do sinal, sendo que a primeira solução será baseada em medições de código. Em BRIONES (1999, p.28) é mostrado que com a utilização de um algoritmo de suavização a acurácia do posicionamento será intermediária, ou seja, estará entre aquela obtida com o emprego isolado do código e a da fase da portadora.

As combinações lineares apresentadas até o momento referem-se a somente uma estação. Também é possível empregar combinações lineares envolvendo diferentes estações, satélites e épocas. Quando combinam-se (ou diferenciam-se) observações entre estações, está se tratando de um posicionamento relativo (ver seção 2.1.4.2). Considerando apenas as equações de fase tem-se: a Simple Diferença de Fase (SDF), a Dupla Diferença de Fase (DDF) e a Tripla Diferença de Fase (TDF).

A condição inicial para se formar uma Simples Diferença de Fase (SDF) é que dois receptores (A e B) rastreiam o mesmo satélite<sup>(S1)</sup> em um tempo (t<sub>1</sub>). A grandeza a ser mensurada será a diferença de fase obtida entre  $\varphi_A$  e  $\varphi_B$ , sendo dada por:

$$\Delta\varphi_{A,B}^{S_1} = \varphi_B - \varphi_A = \Delta\rho_{A,B}^{S_1} + c \cdot \Delta\delta_{R_{A,B}} + \Delta\delta_{TROP_{A,B}}^{S_1} - \Delta\delta_{ION_{A,B}}^{S_1} + \Delta\varepsilon_{A,B}^{S_1} + \lambda \cdot \Delta N_{A,B}^{S_1} \quad (2.6)$$

na qual:

$$\Delta\rho_{A,B}^{S_1} = \Delta\rho_B^{S_1} - \Delta\rho_A^{S_1}; \text{ e}$$

$\Delta$  = refere-se a diferenciação entre duas estações<sub>(A,B)</sub> e um satélite<sup>(S1)</sup> em um tempo (t) qualquer.

Analisando a equação (2.6) percebe-se que o termo ( $\delta^S$ ) referente ao atraso do relógio do satélite com respeito ao tempo GPS é cancelado, bem como os efeitos atmosféricos são reduzidos, podendo ser eliminados caso a linha de base seja curta (aproximadamente 20Km).

Uma Dupla Diferença de Fase (DDF) consiste basicamente na diferença de duas SDF. Portanto, neste processo de diferenciação, dois receptores (A e B) observarão simultaneamente dois satélites (S<sub>1</sub> e S<sub>2</sub>). A Dupla Diferença de Fase pode ser representada matematicamente por:

$$\nabla\Delta\varphi_{A,B}^{S_1,S_2} = \nabla\Delta\rho_{A,B}^{S_1,S_2} + \nabla\Delta\delta_{TROP_{A,B}}^{S_1,S_2} - \nabla\Delta\delta_{ION_{A,B}}^{S_1,S_2} + \nabla\Delta\varepsilon_{A,B}^{S_1,S_2} + \lambda \cdot \nabla\Delta N_{A,B}^{S_1,S_2} \quad (2.7)$$

na qual:

$\nabla\Delta$  = refere-se a diferenciação entre duas estações<sub>(A,B)</sub> e dois satélite<sup>(S1,S2)</sup> em um tempo (t) qualquer.

Com esta combinação linear elimina-se também a incógnita referente ao relógio do receptor ( $\delta_R$ ). Segundo MÔNICO (1997, p.69) a Dupla Diferença de Fase é normalmente a observável preferida nos processamentos GPS envolvendo a fase da portadora, visto que a razão entre o ruído resultante e a eliminação dos erros

sistemáticos presentes nas portadoras  $L_1$  e  $L_2$  é a mais adequada dentre os processos de diferenciação.

Por fim, uma Tripla Diferença de Fase (TDF) corresponde na diferença de duas DDF, porém em duas épocas ( $t_1$  e  $t_2$ ). A equação da Tripla Diferença de Fase é dada por:

$$\partial\nabla\Delta\varphi_{A,B}^{S_1,S_2} = \partial\nabla\Delta\rho_{A,B}^{S_1,S_2} + \partial\nabla\Delta\delta_{TROP A,B}^{S_1,S_2} - \partial\nabla\Delta\delta_{ION A,B}^{S_1,S_2} + \partial\nabla\Delta\varepsilon_{A,B}^{S_1,S_2} \quad (2.8)$$

na qual:

$\partial\nabla\Delta$  = refere-se a diferenciação entre duas estações<sub>(A,B)</sub> e dois satélite<sup>(S1,S2)</sup> em dois de tempo ( $t_1$  e  $t_2$ ) distintos.

Considerando a definição de ambigüidade inteira ( $N$ ), conclui-se que o valor da mesma será único em ambas as épocas  $t_1$  e  $t_2$ . Por conseguinte, ao se realizar uma Tripla Diferença de Fase, a ambigüidade inteira também é eliminada. Esta observável é muito utilizada para a detecção de perdas de ciclo (*cycle-slips*). Normalmente, ela não é usada na solução final, pois o benefício advindo da eliminação das ambigüidades é contraposto com um maior ruído na observável (MÔNICO, 1997, p.69).

### 2.1.2.3 TÉCNICAS OTF

Qualquer posicionamento GPS de precisão esta baseado em mensurações da fase da portadora (TEUNISSEN *et al.*, 1998, p.319). Porém, conforme descrito na seção 2.1.3.1, as mensurações iniciais da fase da portadora são indeterminadas (ou ambíguas), com relação a um número inteiro de ciclos ( $N$ ). Logo, a determinação deste número inteiro de ciclos ( $N$ ) é fundamental para o posicionamento de precisão, quer estático ou cinemático. Na prática, não se determina o valor de ( $N$ ) mas sim  $(N_{A,B}^{S_1,S_2})$  referente a ambigüidade inteira dada por uma Dupla Diferença de Fase (DDF). Segundo MONICO (2000, p.174) o termo  $(N_{A,B}^{S_1,S_2})$  tem uma natureza inteira, já

que os erros dos relógios dos receptores e dos satélites são eliminados neste processo de diferenciação (seção 2.1.3.2).

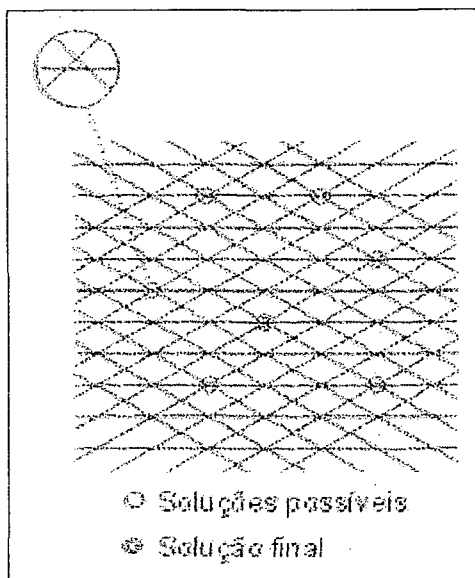
Muitos pesquisadores vêm se dedicando exclusivamente ao estudo e ao desenvolvimento de estratégias (algoritmos) para a resolução das ambigüidades inteiras. Para os levantamentos cinemáticos (seção 2.1.3) estas estratégias são chamadas de técnicas OTF (*On the Fly*), visto que as ambigüidades inteiras devem ser resolvidas com o "veículo" (antena do receptor GPS) em pleno deslocamento, permitindo assim o seu posicionamento de forma acurada em tempo real. Logo, é essencial a aplicação das técnicas OTF no posicionamento RTK (seção 2.1.4.3) (ABIDIN *et al.*, 1992, p.660). Em SEEBER (1993, p.286) são apresentadas outras duas designações para as técnicas OTF, a saber: OTW (*On the Way*) e OTR (*On the Run*). Dentre estas estratégias destacam-se a *Extra Wide-Lane* proposta por WÜBBENA (1991), o método LAMBDA (*Least Square Ambiguity Decorrelation Adjustment*) apresentado em TEUNISSEN *et al.* (1998), o método FARA (*Fast Ambiguity Resolution Approach*) proposto por FREI e BEUTLER (1990), entre outras.

Em geral, as técnicas OTF tentam resolver as ambigüidades admitindo a seguinte seqüência (ABIDIN *et al.*, 1992, p.661):

(a) estimar as ambigüidades e a posição tridimensional mediante um ajustamento inicial "flutuante", ou seja, considerando as ambigüidades como um número real;

(b) construir (estimar) um "espaço de procura" das ambigüidades considerando os resultados do ajustamento inicial "flutuante" (Figura 03). Quanto maior for o número de satélites disponíveis durante o rastreamento, menor será o número de soluções possíveis;

FIGURA 03 – ESPAÇO DE PROCURA DAS AMBIGÜIDADES INTEIRAS



FONTE: SEEBER (1993, p.268).

(c) procurar as ambigüidades inteiras dentro do "espaço de procura" empregando certos critérios estatísticos para a validação ou a rejeição da solução; e

(d) fixar as ambigüidades inteiras.

A grande vantagem destas técnicas é a possibilidade em se determinar rapidamente as ambigüidades inteiras. Porém, são muito suscetíveis a erros quando os satélites encontram-se mal distribuídos geometricamente no espaço e quando se realiza uma modelagem inadequada dos efeitos atmosféricos. Segundo ABIDIN *et al.* (1992, p.662) o sucesso do processo de resolução das ambigüidades será afetada pela nossa capacidade em entender, formular e modelar adequadamente os fenômenos que regem o mundo real.

### 2.1.3 ERROS DO SISTEMA

Durante a execução de um levantamento GPS as observáveis que estão sendo coletadas pelos receptores sofrem um grande número de interferências (erros), podendo ser de caráter antrópico ou natural. A eliminação ou a modelagem

adequada desses erros permite a obtenção de resultados mais confiáveis nos posicionamentos GPS.

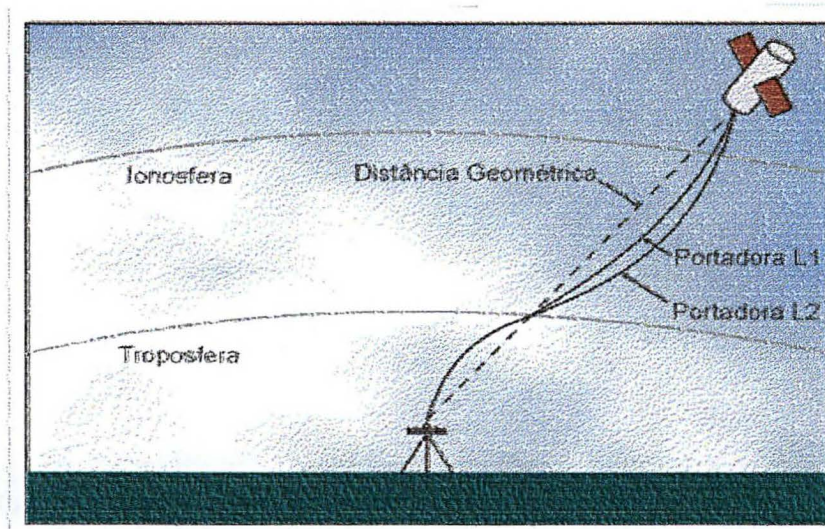
Os principais erros do sistema GPS referem-se:

(a) **ao estado dos relógios do receptor e do satélite em relação ao tempo GPS:** para a mensuração das pseudodistâncias, através das observáveis GPS, é necessário a utilização de dois relógios, um à bordo dos satélites e outro acoplado nos receptores. Porém, estes relógios não são sincronizados entre si e nem com o tempo GPS. Segundo KRUEGER (1996, p.34) um erro de  $1\mu\text{s}$  na sincronia dos relógios corresponde a um erro de 300m na pseudodistância.

A deriva (erro) dos relógios dos satélites é normalmente determinada por um polinômio de segundo grau, cujos coeficientes são enviados ao usuário na mensagem de navegação. Já o erro devido aos relógios dos receptores, no caso de um posicionamento absoluto, é estimado em um processo de ajustamento juntamente com as coordenadas tridimensionais da estação. Estes erros podem ser eliminados no posicionamento relativo através da formação de uma Dupla Diferença de Fase (DDF), conforme seção 2.1.2.2.

(b) **aos efeitos atmosféricos:** os sinais transmitidos pelos satélites GPS se propagam em direção à antena receptora atravessando várias camadas da atmosfera, as quais, por sua vez, não possuem um comportamento idêntico entre si. Nesta trajetória os sinais podem refratar, ter a velocidade de propagação e a sua potência alteradas. Com respeito a propagação de ondas eletromagnéticas, a atmosfera pode ser dividida em duas camadas distintas: troposfera e ionosfera (Figura 04).

FIGURA 04 – AS CAMADAS ATMOSFÉRICAS COM RESPEITO A PROPAGAÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS



FONTE: KAHMEN e FAIG (1988, p.487).

A troposfera é uma camada gasosa, eletricamente neutra, que se estende desde a superfície terrestre até aproximadamente 50Km de altitude. A Figura 02 mostra que a refração troposférica é idêntica para as portadoras L<sub>1</sub> e L<sub>2</sub>, visto que a troposfera é um meio não-dispersivo para ondas de rádio de frequência inferior à 15GHz (BAUERSIMA, 1983 apud ROTACHER e MERVART, 1996, p.160).

A refração atmosférica depende basicamente da composição de vapor d'água e de ar seco (pressão e temperatura) dos gases ao longo da trajetória do sinal, e por este motivo esta influência é dividida em duas componentes: seca e úmida. A componente seca corresponde a 90% da refração troposférica total e o seu valor é usualmente determinado por modelos (p.ex. SAASTAMOINEN e HOPFIELD). A componente úmida é de difícil modelagem devido as fortes variações do vapor d'água no tempo e no espaço. Uma das alternativas para tal modelagem é a aplicação do mesmo modelo funcional adotado para a componente seca HOFMANN-WELLENHOF *et al.* (1994, p.111).

Para linhas de base curta a refração troposférica pode ser minimizada ao aplicar a dupla diferença de fase, devido ao fato de que os sinais cruzam regiões da troposfera com a mesma característica.

A ionosfera é definida como sendo a região da atmosfera superior, compreendida entre 50 e 1000Km de altitude, na qual os gases são ionizados



principalmente pela ação solar. Os elétrons livres presentes nesta camada interagem com os sinais GPS, provocando um retardo nas medidas de código e um avanço nas medidas da fase da portadora<sup>3</sup>. Conseqüentemente, as pseudodistâncias mensuradas a partir dos códigos serão maiores que as distâncias geométricas ( $\rho$ ) satélite-receptor, e por sua vez, as determinadas com a fase acarretarão em pseudodistâncias menores que as geométricas (CAMARGO, 1999, p.21), HOFMANN-WELLENHOF *et al.* (1994, p.101).

O valor da refração ionosférica dependerá da freqüência do sinal, do conteúdo total de elétrons (TEC), da hora do dia, do ciclo solar, das coordenadas geográficas da estação de observação, da elevação e do azimute dos satélites (KRUEGER, 1996, p.36). Quando se utiliza receptores de dupla freqüência a refração ionosférica pode ser eliminada através da combinação linear *ion-free*, cuja formulação matemática é apresentada em TEUNISSEN *et al.* (1998, p.137). Para receptores de monofreqüência os usuários podem aplicar a Dupla Diferença de Fase (seção 2.1.2.2), modelo ionosférico cujos coeficientes são transmitidos na mensagem de navegação ou modelos ionosféricos locais.

O período compreendido entre os anos de 2000 e 2001 corresponde a uma fase na qual a atividade solar está intensa (GROVES *et al.*, 1996, p. 584,586) e (WARNANT, 1997, p.217). Por esta razão devem ser utilizados preferencialmente receptores de dupla freqüência nos levantamentos GPS.

(c) **à imprecisão das órbitas:** a descrição da órbita de um satélite GPS deve levar em conta as irregularidades do campo gravitacional terrestre, da força gravitacional do Sol e da Lua, do efeito da pressão de radiação solar e do efeito introduzido pela técnica de segurança S/A. Os efeitos naturais (gravitacionais e da pressão de radiação solar) são modelados pelas fórmulas descritas em FERREIRA (1998, p.36-71), enquanto as degradações provocadas pelas técnicas variam rapidamente no tempo e são de difícil modelagem. Portanto, entende-se como erro orbital a diferença entre a órbita transmitida (*Broadcast Ephemerides*), predita pelo Segmento de Controle, e a órbita real descrita pelos satélites.

---

<sup>3</sup> O valor absoluto do retardo na propagação dos códigos é o mesmo que no avanço da fase.

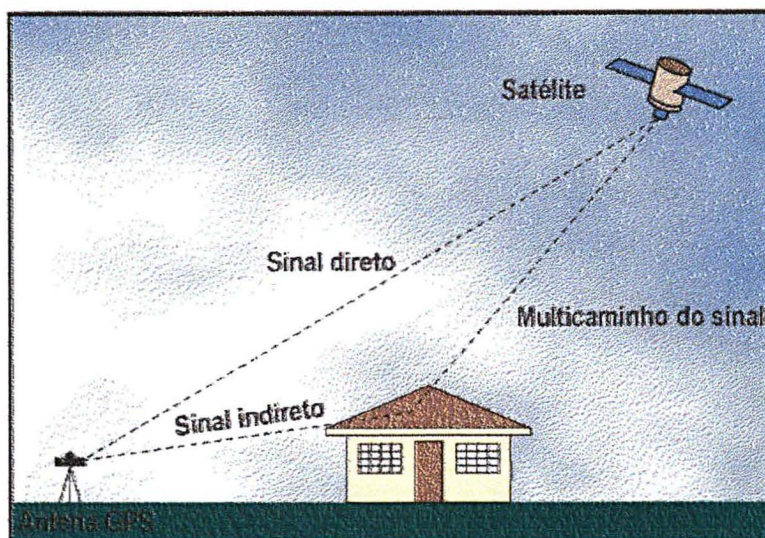
A Disponibilidade Seletiva (S/A) manifesta-se de duas formas designadas de: técnica Épsilon ( $\epsilon$ ) e de técnica Dither ( $\zeta$ ). A primeira consiste na manipulação dos dados das efemérides, enquanto a segunda na desestabilização dos relógios dos satélites.

O governo norte-americano, através de seu presidente, em pronunciamento feito no dia 1.º de maio de 2000, declarou o desligamento da S/A. Tal medida, segundo ele, permitirá que o sistema GPS torne-se mais eficaz e popular (CANSPACE, 2000). Este documento deixa claro que a S/A ficará desligada até o ano de 2006, porém serão realizadas avaliações periódicas por parte do DoD (*Department of Defense*), sobre a manutenção ou não do *status* atual.

(d) **ao efeito do multicaminho:** através da Figura 03 observa-se que o sinal GPS pode chegar diretamente do satélite mas também indiretamente a partir da sua reflexão em superfícies próximas à antena receptora. Tal situação promove uma superposição de sinais, acarretando numa alteração da fase original e na ocorrência de perda de ciclos (KRUEGER, 1996, p.37). Segundo HOFMANN-WELLENHOF *et al.* (1994, p.124) o efeito do multicaminho pode ocorrer no próprio satélite durante a transmissão do sinal.

O efeito do multicaminho pode ser estimado através da combinação das ondas portadoras  $L_1$  e  $L_2$ . Os erros devido a troposfera e a falta de sincronização dos relógios podem ser eliminados através da Dupla Diferença de Fase (DDF), ver seção 2.1.2.2. Usando a combinação linear livre da ionosfera (*ion-free*) e formando a DDF correspondente pode-se reduzir o erro provocado pela ionosfera. O resíduo restante refletirá principalmente o efeito do multicaminho associado ao ruído da observação. Em FARRET (2000, p.91) é mostrado que o efeito do multicaminho pode ser separado do ruído através da análise espectral das portadoras  $L_1$  e  $L_2$  (código e fase) em dias consecutivos com a mesma geometria.

FIGURA 03 – EFEITO DO MULTICAMINHO



É possível minimizar este efeito selecionando um local adequado para posicionar a antena GPS, evitando a presença de superfícies refletoras vizinhas (p.ex. árvores, edificações e lâminas d'água). Recomenda-se também a utilização de antenas com plano de terra ou do modelo *choke-ring* (ISHIKAWA, 2000, p.4-6), bem como a utilização de técnicas de suavização, visto que o efeito do multicaminho para o código é maior do que para a fase (GAO, 1995, p.28). Nos levantamentos cinemáticos este controle fica prejudicado.

(e) **a variação do centro de fase da antena:** este erro é decorrente da não coincidência entre o centro mecânico e o centro eletrônico da antena. A sua variação será função do tipo de antena, do azimute e elevação do satélite, e da portadora utilizada (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 1994, p.123). Esta variação pode ser de até 10 cm (ROTACHER E MERVART, 1996, p.216). No posicionamento relativo este erro pode ser minimizado caso ambas antenas estejam igualmente orientadas (geralmente para o norte).

(f) **ao ruído das observáveis:** este erro está associado a capacidade eletrônica do receptor em mensurar corretamente as pseudodistâncias (BRIONES, 1999, p.12). De uma forma geral, o ruído é da ordem de 1% do comprimento de

onda da observável utilizada; portanto, o ruído nas mensurações com o código será maior do que nas mensurações com a fase da portadora (KRUEGER, 1996, p.38).

(g) **a geometria dos satélites**: um dos indicadores de qualidade de um posicionamento GPS é dado pela distribuição dos satélites no espaço (geometria), ou simplesmente pelos fatores DOP (*Dilution of Precision*). A distribuição ideal será aquela na qual os quatro satélites, melhores distribuídos no espaço com respeito a estação de rastreamento, formam um tetraedro com volume máximo. O valor dos fatores DOP variam teoricamente de zero a infinito, sendo satisfatórios valores inferiores a três. Para maiores detalhes sobre os fatores DOP consultar CARVALHO (1999, p.30-31), HOFMANN-WELLENHOF *et al.* (1994, p.249-253) e KRUEGER (1996, p.33).

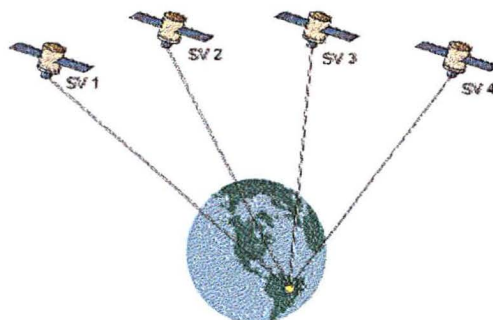
## 2.1.4 MÉTODOS DE POSICIONAMENTO

Na literatura o posicionamento GPS é normalmente dividido em três métodos: absoluto, relativo e GPS diferencial. A seguir serão caracterizados tais métodos, apresentando as suas vantagens e limitações. Dar-se-á uma ênfase maior no método GPS Diferencial pois trata-se do foco principal deste trabalho.

### 2.1.4.1 MÉTODO ABSOLUTO

O método de posicionamento absoluto caracteriza-se pela adoção de apenas um receptor GPS para a determinação de coordenadas de uma estação (Figura 06). Neste caso, as coordenadas da estação serão referidas ao *World Geodetic System 1984*, ou simplesmente, WGS-84. O seu princípio fundamental baseia-se em medições das pseudodistâncias sendo os códigos C/A e P as suas observáveis básicas. Logo, o modelo matemático que representa este método é dado pela equação 2.2.

FIGURA 06 – MÉTODO ABSOLUTO



No posicionamento absoluto o sistema GPS fornecerá dois níveis de serviços: o *Standard Positioning Service* (SPS) e o *Precise Positioning Service* (PPS).

Com a utilização do código C/A o usuário estará operando dentro do nível de precisão do SPS – *Standard Positioning Service*, ou seja, as precisões alcançadas são de 100m e 156m, em 95% dos casos, para o posicionamento planimétrico e vertical, respectivamente. Em tais valores foram consideradas presentes as degradações decorrentes da S/A (HOFFMANN-WELLENHOF *et al.*, 1994, p.131). Como atualmente opera-se sem a ação da S/A, desativada no dia 02 de maio de 2000 (seção 2.1.2), estima-se que tais precisões devem melhorar de 5 a 10 vezes.

Na literatura, existem pequenas discrepâncias sobre os valores das precisões do PPS. Para SANTOS (1999, p.48) as precisões planimétricas e vertical são de 17,8 m e 27,7 m, respectivamente. Segundo HOFFMANN-WELLENHOF *et al.* (1994, p.132) 16 m e 23 m são os valores mais adequados. E ainda em CARVALHO (1999, p.33) encontra-se uma precisão planimétrica de 20 m para o PPS. De uma forma geral, a precisão de um posicionamento usando o código P como observável básica será superior a 30 m.

De acordo com as precisões apresentadas, verifica-se a impossibilidade da utilização do posicionamento absoluto na geodésia e na confecção de bases cartográficas de grande escala. A sua maior aplicabilidade concentra-se no apoio à navegação.

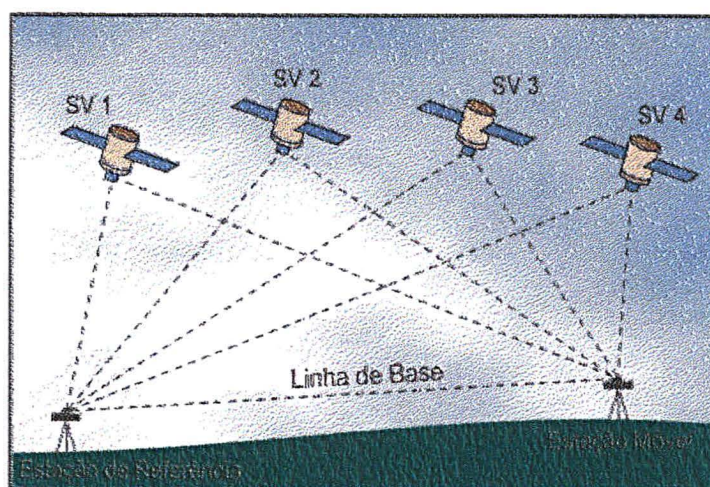
Ressalta-se que apenas militares americanos, de forma direta, tem acesso ao PPS. Eles possuem a seqüência correta do código W, que por sua vez, possibilita a decodificação do código Y e na recuperação do código P.

#### 2.1.4.2 MÉTODO RELATIVO

De acordo com o item 2.1.4.1, a precisão alcançada com o posicionamento absoluto não é satisfatória nas aplicações geodésicas e cartográficas. Buscando as precisões requeridas em tais áreas, pesquisadores e cientistas desenvolveram o chamado método relativo. Com esse método é possível obter precisões centimétricas ou melhores com o pós-processamento dos dados.

O método de posicionamento relativo caracteriza-se pela observação simultânea dos sinais dos satélites em pelo menos duas estações distintas, sendo que uma delas possui coordenadas conhecidas em um sistema de referência. Como resultado deste posicionamento obtém-se o(s) vetor(es) que une(m) a estação de referência às demais estações a serem posicionadas. Normalmente, estes vetores são denominados de *linhas de base* (Figura 07).

FIGURA 07 – MÉTODO RELATIVO



A vantagem da utilização do método relativo em relação ao absoluto é que para distâncias curtas (~20Km) o comportamento dos erros sistemáticos referentes aos relógios dos satélites, das efemérides e da propagação do sinal na atmosfera, afetam igualmente as duas estações, podendo ser eliminados ou minimizados através das técnicas de diferenciação (seção 2.1.3.2).

Pode-se empregar neste posicionamento diferentes tipos de observações, a saber: código, código suavizado pela fase da portadora e fase da portadora. Os posicionamentos com código geralmente são simples e fornecem baixas acurácias, enquanto os posicionamentos com a fase são mais complexos devido a necessidade da resolução inteira das ambigüidades e fornecem acurácias altas.

Outro fator importante no posicionamento relativo diz respeito ao movimento da antena das estações cujas coordenadas desejam-se determinar. As técnicas nas quais a antena encontra-se estacionária são o estático clássico e o estático rápido. A diferença fundamental entre ambas diz respeito ao período de ocupação da estação móvel e a taxa de gravação dos dados. Na técnica estático clássico deve-se permanecer sobre a estação móvel um período mínimo de 1 hora. Tal característica possibilita a exploração da mudança da geometria dos satélites, auxiliando substancialmente na resolução das ambigüidades inteiras e na rigidez da solução final (CANADA, 1995, p.46). Contudo, o tempo de ocupação da estação será função do comprimento da linha de base. A taxa de gravação empregada nesta técnica é de 15 à 20seg. Na técnica estático rápido o período de ocupação varia de 5-20min, dependendo sempre da quantidade de satélites acima do plano do horizonte local. A taxa de gravação nesta técnica varia entre 5 e 10 seg. Estas peculiaridades são importantes, pois o método necessita de observações superabundantes para a resolução rápida das ambigüidades inteiras. A vantagem destas técnicas é que as precisões exigidas nos levantamentos geodésicos e de cartografia urbana são alcançadas, porém realiza-se a determinação de um menor número de pontos num maior tempo de observação.

A fim de melhorar a eficiência na aquisição dos dados é que surgiram as técnicas cinemáticas, nas quais a antena da estação itinerante (ou móvel) está em movimento. Desta forma, num mesmo período de coleta de dados, um número maior de pontos é determinado com relação as técnicas estáticas, porém a sua acurácia é inferior, conforme observa-se na Tabela 04. Dentre elas cita-se: pseudocinemático,

cinemático contínuo e o Stop and Go. Para obter maiores detalhes sobre as técnicas citadas indica-se CRIOLLO (1993), CARVALHO (1999), CANADA (1995) e SEEBER (1993).

TABELA 04 – PERÍODO DE OCUPAÇÃO E ACURÁCIA NO MÉTODO RELATIVO

TÉCNICAS	PERÍODO DE OCUPAÇÃO	ACURÁCIA
Estático Clássico	no mínimo 1 h	1 cm + (1ppm até 10 ppm)
Estático Rápido	entre 5 a 20 min	poucos centímetros
Pseudocinemático	entre 1 a 3 min	poucos centímetros
Cinemático Contínuo	-----	entre 10 cm e 1 m
Stop and Go	aproximadamente 1 min	poucos centímetros

FONTE: Adaptado de CANADA (1995, p.42).

Portanto, a qualidade do posicionamento relativo será totalmente dependente do comprimento da linha de base, do tempo de observação das seções, da geometria dos satélites no período de observação e das observáveis empregadas.

### 2.1.4.3 MÉTODO GPS DIFERENCIAL

Nas seções 2.1.4.1 e 2.1.4.2 foram apresentados dois métodos de posicionamento: o absoluto e o relativo. No posicionamento absoluto busca-se a determinação das coordenadas de uma estação ou de uma trajetória em tempo real<sup>4</sup>, mas devido principalmente a ação da SA (quando ativa) e do alto ruído da observável (códigos), a sua aplicabilidade é restrita a levantamentos cartográficos que necessitam pouca acurácia e aos usuários de navegação. A acurácia posicional no posicionamento relativo com respeito ao do posicionamento absoluto é maior, porém os dados brutos são obrigatoriamente tratados *a posteriori* em um processo

<sup>4</sup> Um posicionamento GPS será qualificado como sendo em tempo real desde que as coordenadas das estações estejam disponíveis em campo, ou seja, durante o próprio levantamento.

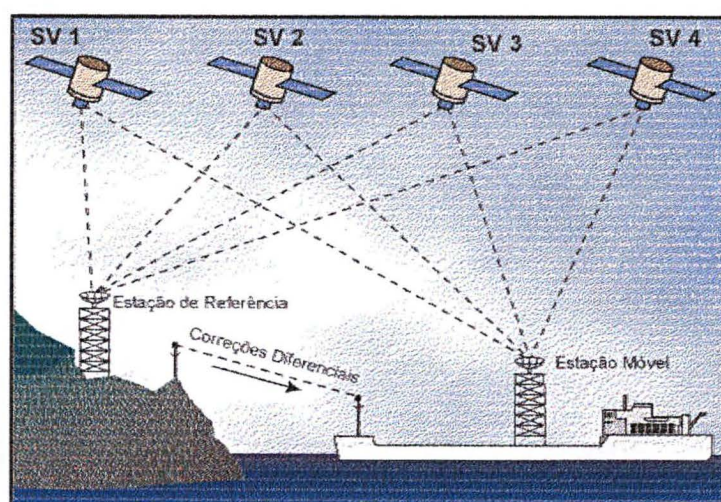


conhecido por “pós-processamento”. Assim, não existia nenhum método GPS capaz de possibilitar simultaneamente um posicionamento acurado e em tempo real. Dentro deste contexto desenvolveu-se o método GPS Diferencial.

Logo, o objetivo fundamental do método GPS Diferencial é o de contornar os problemas vinculados ao posicionamento absoluto e de possibilitar a determinação das coordenadas de forma acurada em tempo real.

O princípio básico deste método vale-se do fato que duas estações que simultaneamente rastreiam os mesmos satélites têm seus erros, dentro de certos limites, correlacionados. A ocupação de uma estação de coordenadas conhecidas (estação de referência) possibilitará a quantificação dos erros inerentes ao posicionamento absoluto. Estes erros transmitidos à estação móvel como correções, designadas comumente por “correções diferenciais”, serão utilizadas para posicioná-la relativamente à estação de referência em tempo real (Figura 08). Salienta-se que as correções diferenciais são transmitidas através de um enlace (link) de dados em um formato apropriado estabelecido pela *Radio Technical Commission for Maritime Services – Special Committee 104 (RTCM SC-104)*.

FIGURA 08 – PRINCÍPIO BÁSICO DO MÉTODO GPS DIFERENCIAL



Dentro do método GPS Diferencial pode-se considerar algumas técnicas de posicionamento, a saber: o DGPS, o WADGPS (*Wide Area DGPS*), o RTK (*Real*

*Time Kinematic*) e o PDGPS (*Precise DGPS*). As principais diferenças entre estas técnicas referem-se basicamente ao tipo de observável empregada e ao número de estações de referência. A observável básica das técnicas DGPS e WADGPS é o código e/ou código suavizado pela portadora, enquanto no RTK e no PDGPS é a fase da portadora (LANGLEY, 1995, p.71) e (KRUEGER, 1996, p.52-59). As equações fundamentais das referidas técnicas foram apresentadas na seção 2.1.3.1. Pode-se ainda diferenciar as técnicas WADGPS e PDGPS das demais, pois as mesmas fundamentam-se no conceito de rede (no mínimo duas estações de referência). Assim, as correções diferenciais destas técnicas são válidas para uma região e não mais para uma única estação, como no caso das técnicas DGPS e RTK. Para mais detalhes indica-se WÜBBENA *et. al.* (1996, p.1845-1847). Cabe aqui salientar que o escopo principal deste trabalho fundamenta-se unicamente no estudo das técnicas DGPS e RTK.

A tabela 05 resume as principais características das técnicas do Método GPS Diferencial e mostra as acurácias horizontais alcançadas com cada uma delas. Segundo GAO *et. al.* (1997, p.1305) a precisão planimétrica será função principalmente da observável empregada, da geometria e do número de satélites, do comprimento da linha de base e do comportamento da ionosfera no instante do levantamento. Outros fatores limitantes da precisão planimétrica são destacados por FFOULKES-JONES e CONSADIER (1995, p.1499): o efeito do multicaminho, a velocidade dos processadores matemáticos<sup>5</sup> e da eficácia do sistema de transmissão de dados. Em WÜBBENA *et al.* (1996, p.1849-1850) é mostrado que a acurácia planimétrica para a técnica RTK é de 1cm + 0,6ppm. Já nos levantamentos realizados por EL-MOWAFY (2000, p.50) uma acurácia planimétrica de 2cm foi determinada. Com respeito a componente vertical estima-se que a mesma será degradada por um fator 1,5 a 2 em relação as horizontais (BRIONES, 1999, p.28) .

---

<sup>5</sup> Os processadores matemáticos são responsáveis pelo cálculo das pseudodistâncias brutas de código e fase, das correções diferenciais e pela resolução rápida das ambigüidades.

TABELA 05 – COMPARAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS DE POSICIONAMENTO DO MÉTODO GPS DIFERENCIAL

TÉCNICAS				
PARÂMETROS	WADGPS	PDGPS	RTK	DGPS
Observável	Código ou código suavizado pela portadora	Fase da portadora	Fase da portadora	Código ou código suavizado pela portadora
Estações de Referência	Rede	Rede	1	1
Área de Cobertura	Continental	Regional	Local	Local
Resolução das Ambigüidades	Não	Sim	Sim	Não
Dados Transmitidos	Correções Diferenciais	Dados Brutos ou Correções Diferenciais	Dados Brutos ou Correções Diferenciais	Correções Diferenciais
Acurácia Planimétrica	m	cm - dm	cm – dm	dm - m

FONTE: Adaptado de GAO *et al.* (1997, p.1305) e HOFFMANN-WELLENHOF *et al.* (1994, p.289).

Portanto, o método GPS Diferencial tem se notabilizado entre os usuários que necessitam posicionar-se em tempo real com precisões superiores às alcançáveis através de um único equipamento. Como exemplos da utilização deste método tem-se a navegação de precisão, os levantamentos batimétricos e topográficos, o controle e o roteamento de frotas, a aerofotogrametria e o posicionamento de estruturas voltadas à exploração e produção de petróleo (ANDRADE, 2000). Nestes casos as posições são requeridas com alta confiabilidade em razão dos riscos inerentes às atividades e aos custos envolvidos.

#### 2.1.4.3.1 CORREÇÕES DIFERENCIAIS

As correções diferenciais citadas na seção 2.1.4.3 podem ser classificadas em posicionais e de pseudodistâncias. As correções posicionais são definidas a partir da diferença entre as coordenadas determinadas absolutamente pelo receptor GPS e as coordenadas conhecidas da estação de referência. As correções baseadas nas pseudodistâncias consistem na medição das mesmas entre um conjunto de satélites (mínimo de quatro para o posicionamento tridimensional) e a

antena do usuário. Conhecidas as coordenadas dos satélites e da estação de referência é matematicamente possível calcular a distância geométrica entre os mesmos. Estas distâncias geométricas comparadas com as correspondentes distâncias estimadas a partir do sinal transmitido, ou simplesmente, pelas pseudodistâncias, prestam-se à quantificação de um conjunto de correções.

Segundo BRIONES (1999, p.17) as correções de pseudodistâncias não têm um compromisso direto com a constelação observada como um todo, mas com cada satélite isoladamente. Desta forma, existe apenas a necessidade da constelação de satélites na estação móvel ser uma subconstelação de satélites na estação de referência. Por este motivo é que as correções posicionais são preteridas com respeito as baseadas nas pseudodistâncias.

#### 2.1.4.3.2 MODELO MATEMÁTICO DAS CORREÇÕES DIFERENCIAIS DGPS

Considerando as correções diferenciais baseadas nas pseudodistâncias, as correções calculadas ( $PRC(t_0)$ ) na estação de referência através de observações de código devem ser aplicadas nas pseudodistâncias mensuradas pela estação móvel ( $P_C(t)$ ). Porém, para um sistema diferencial funcionar corretamente, tanto as correções diferenciais quanto as pseudodistâncias mensuradas pelo receptor móvel devem estar sincronizadas em um mesmo instante de referência. Para tal, as correções diferenciais são normalmente propagadas para o instante  $t$ . Esta propagação é realizada utilizando-se o fator  $RRC^6$ , que corresponde a variação das correções diferenciais no tempo e é sempre aplicado no posicionamento DGPS devido a latência ( $t-t_0$ ).

Matematicamente, as correções diferenciais na técnica DGPS podem ser representadas pela seguinte equação:

$$PRC(t) = PRC(t_0) + RRC \cdot (t - t_0) \quad (2.9)$$

na qual:

---

<sup>6</sup> Valores disponíveis na mensagens Tipo 1, Tipo 9 e Tipo 21 da RTCM V2.2.

$PRC(t)$ : correções das pseudodistâncias no tempo  $t$ ;

$PRC(t_0)$ : correções das pseudodistâncias no tempo  $t_0$ ; e

$RRC$ : taxa de variação das correções da pseudodistância.

E finalmente, a pseudodistância corrigida da estação móvel em um instante de tempo  $t$  é dada por:

$$PR(t) = P_c(t) + PRC(t) \quad (2.10)$$

na qual:

$PR(t)$ : é a pseudodistância corrigida para um tempo  $t$ ; e

$P_c(t)$ : é a pseudodistância medida para um tempo  $t$ .

#### 2.1.4.3.3 PARTICULARIDADES DA TÉCNICA RTK

O uso potencial da fase da portadora nos levantamentos GPS deu-se no início da década de 1980, contemplando fundamentalmente os usuários da técnica estática "clássica" (LANGLEY, 1995, p.71). Desde então, novas técnicas de posicionamento (p.ex. cinemático contínuo) foram desenvolvidas com a finalidade de otimizar o processo de coleta de dados. Nos primeiros levantamentos cinemáticos as ambigüidades eram determinadas através de uma inicialização estática (CARVALHO, 1999, p.39). Estes levantamentos eram pouco consistentes visto que o usuário deveria sempre ocupar um ponto de coordenadas conhecidas, quando da ocorrência de uma perda de ciclo (*cycle slip*), para a recuperação das ambigüidades inteiras ( $N$ ). Com o desenvolvimento computacional, algoritmos robustos capazes de recuperar as perdas de ciclo e as ambigüidades inteiras durante o próprio deslocamento da estação móvel foram elaborados. Estes algoritmos são comumente

conhecidos na literatura pela sigla OTF, oriunda da expressão da língua inglesa – “*On The Fly*” .

Com as facilidades proporcionadas pelos algoritmos OTF, os posicionamentos em tempo real empregando a fase da portadora como observável básica tornaram-se realizáveis. Conforme apresentado na seção 2.1.4.3 as medições puras da fase da portadora em tempo real são realizadas pelas técnicas RTK e PDGPS. Para LANGLEY (1995, p.76) a resolução rápida das ambigüidades é fundamental para permitir alta acuracidade nestas técnicas. Logo, os receptores GPS de dupla freqüência são preferidos com relação aos de monofreqüência.

O princípio de posicionamento da técnica RTK fundamenta-se na transmissão das medidas brutas da fase da portadora ou das correções diferenciais da fase da portadora, ambas mensuradas na estação de referência. Na primeira situação, a estação móvel forma duplas diferenças de fase (DDF) enquanto na segunda adota-se uma abordagem similar à da técnica DGPS (BRIONES, 1999, p.19). A vantagem da utilização das DDF com respeito as correções diferenciais de fase corresponde a uma modelagem mais adequada ao levantamento, bem como da eliminação dos relógios dos satélites e dos receptores. A equação fundamental da DDF foi apresentada na seção 2.1.3.2, enquanto as correções diferenciais da fase ( $\varphi_{RC}(t)$ ) são definidas como (RTCM v2.2, 1998, p.4-49):

$$\varphi_{RC}(t) = \rho_R^S(t) - \varphi(t) - N \quad (2.11)$$

na qual:

$\rho_R^S(t)$  = distância geométrica entre o satélite<sup>(S)</sup> e a antena do receptor<sub>(R)</sub> (ciclos);

$\varphi(t)$  = fase da portadora mensurada (ciclos); e

$N$  = ambigüidade (ciclos).

Segundo FFOULKES-JONES e COSANDIER (1995, p.1501) a única forma de se manter a acurácia posicional na técnica RTK, tanto para a utilização das

medidas brutas da fase da portadora quanto para as correções diferenciais, é processar as medidas observadas simultaneamente. Porém, sabe-se que devido a necessidade da transmissão de dados através de um enlace de comunicação isto não ocorre na prática. A diferença de tempo correspondente ao cálculo das correções diferenciais ou das medidas brutas da fase da portadora, na estação de referência, da transmissão destas informações e da sua aplicabilidade na estação móvel é denominado de latência. Esta, por sua vez, será função do número de satélites rastreados<sup>7</sup> e da taxa de transmissão das mensagens diferenciais.

Duas técnicas podem ser aplicadas para reduzir a degradação na acurácia devido a latência. A primeira é chamada por EL-MOWAFY (2000, p.49) de *Synchronized Approach*. Nesta, a estação móvel armazena as suas medidas da fase da portadora e espera um instante de tempo  $t$  (decorrente do efeito da latência) para combinar os seus dados com aqueles oriundos da estação de referência. Isto significa que as coordenadas da estação móvel são calculadas poucos segundos após a coleta dos dados. Esta aproximação é apropriada em aplicações "semi-cinemáticas", nas quais ocupa-se um ponto por poucos segundos.

A outra alternativa é dada por um algoritmo de predição da fase da portadora da estação de referência, funcionando semelhantemente as equações (2.9) e (2.10), que dispõem basicamente sobre o fator RRC aplicado nas pseudodistâncias de código. Esta alternativa é utilizada em casos no qual o posicionamento é realmente requerido em tempo real. Porém, a RTCM v2.2 (1998, p.4-9) esclarece que o fator RRC encontrado nas mensagens tipo 1, 9 e 21 (ver seções 2.1.4.3.2 e 2.1.4.3.4) não deve ser aplicado nos posicionamentos RTK.

Conforme mostrado nesta mesma seção, o processamento de dados na técnica RTK pode ser realizado através da formação de duplas diferenças de fase. Esta abordagem é semelhante aquela aplicada nos posicionamentos relativos pós-processados, tanto que FFOULKES-JONES e COSANDIER (1995, p.1502) classifica a técnica RTK como sendo um "*Near Real-Time Pos-Processing System*". Porém, a acurácia posicional obtida nos posicionamentos pós-processados é melhor do que a obtida em tempo real. Os primeiros beneficiam-se da eliminação do efeito da latência, de um tratamento mais detalhado dos dados (p.ex. remoção de dados

---

<sup>7</sup> O número de satélites rastreados influenciarão no tamanho das mensagens diferenciais.

em períodos com DOP elevado) e da detecção de saltos de ciclo (*cycle slips*).

#### 2.1.4.3.4 MENSAGENS RTCM

Em 1983, a *Radio Technical Commission for Maritime Services* (RTCM) fundou o *Special Comite* 104 com a finalidade de desenvolver uma formatação padrão para a transmissão das correções diferenciais GPS. Esta formatação padrão constitui-se de blocos de informações (cada qual com um conteúdo específico), simplesmente chamadas de mensagens RTCM.

Apesar dos trabalhos terem iniciado em 1983 o primeiro padrão RTCM foi implementado apenas em 1985. Este, chamado de RTCM v1.0, atingia unicamente os usuários DGPS de código. Segundo KRUEGER (1996, p.64) após experiências e a constatação de novas necessidades, a comissão realizou modificações no formato dos dados e na estrutura das mensagens, estabelecendo a RTCM v2.0. Esta versão contém basicamente as correções diferenciais baseadas nas pseudodistâncias de código, as coordenadas da estação de referência e informações sobre os satélites.

Com a viabilidade do posicionamento em tempo real através dos algoritmos OTF, a comissão obrigou-se a estabelecer um novo padrão. Foram adicionadas quatro novas mensagens à versão 2.0 para acomodar as necessidades das técnicas RTK e PDGPS, dando origem em Janeiro de 1994 a RTCM v2.1. Estas quatro mensagens funcionam aos pares. As mensagens 18 e 19 contêm as medições brutas da fase da portadora e do código na estação de referência. As mensagens 20 e 21 contêm as correções calculadas conhecendo-se as coordenadas da estação de referência, as coordenadas dos satélites no instante de transmissão e o comportamento do relógio dos satélites (LANGLEY, 1995, p.71).

Como as aplicações advindas do uso potencial do GLONASS são as mesmas do GPS, grande parte da comunidade usuária adotou-o na prática como um sistema de posicionamento. Com o intuito de atingir todos os usuários destes sistemas foi implementado em Janeiro de 1998 a RTCM v2.2. Nesta, as novas mensagens possuem as seguintes características e finalidades (RTCM v2.2, 1998):

- (a) apoiar a operação do método diferencial no sistema GLONASS;
- (b) apoiar o posicionamento integrado em tempo real GLONASS/GPS;



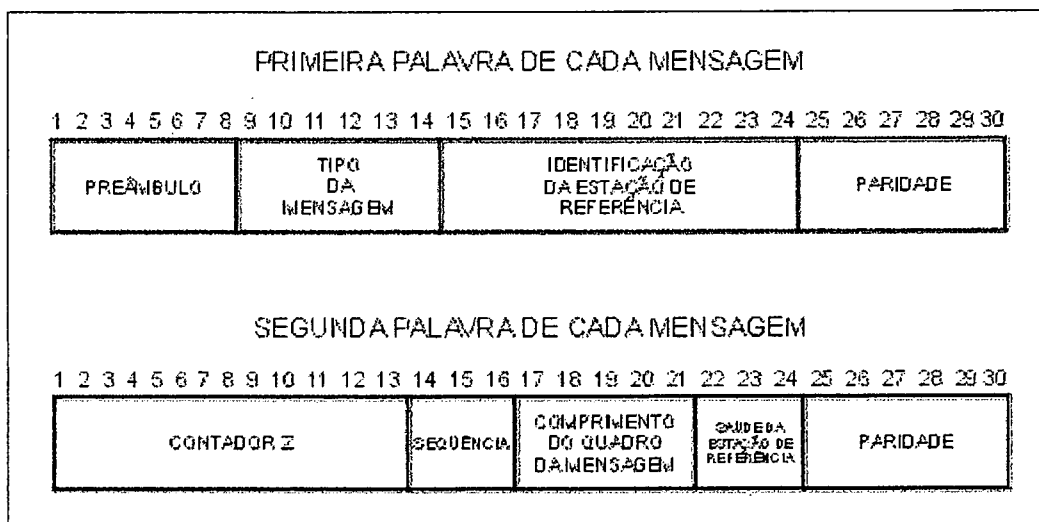
- (c) referem-se aos parâmetros de transformação entre sistemas de referência PZ-90 e WGS-84; e
- (d) referem-se as coordenadas do centro de fase da antena da estação de referência, em suporte as operações cinemáticas de alta precisão.

Como uma alternativa para a transmissão eficaz das mensagens RTCM, alguns fabricantes de receptores GPS vem utilizando-as em uma forma compactada. A vantagem deste padrão é a possibilidade da transmissão das mensagens RTCM por diferentes tipos de enlace de dados (KRUEGER, 1996, p.71). Assim, é possível minimizar o efeito da latência (TALBOT, 1996, p.863). Um exemplo deste tipo de formato foi desenvolvido pela *Trimble Corporation*, o *Compact Measurement Record* (CMR). Uma outra opção pode ser encontrada no programa computacional GNRT (ver seção 2.1.4.3.5), a RTCM++. Segundo WÜBBENA *et al.* (1996, p.1847) com este padrão é possível transmitir dados de um conjunto de doze satélites em um enlace de comunicação de 2400 bps, contrastando com a taxa de 9600 bps necessária para a transmissão das mensagens RTK (ver tabela 06).

As mensagens são separadas em tipos e identificadas através de seus números de reconhecimento variando de 1 a 63, conforme mostra a Tabela 06. De maneira geral classificam-se em fixas, tentativas ou reservadas para aplicações de uso específico (BRIONES, 1999, p.30). O seu formato foi modelado com a mesma estrutura da mensagem de navegação do sistema GPS. Porém, as mensagens RTCM possuem um comprimento variável para o seu formato (dependente do número de satélites rastreados), enquanto o formato da mensagem de navegação do sistema GPS é pré-estabelecido.

Cada mensagem RTCM é constituída por palavras de 30 bits, sendo que os primeiros 24 bits constituem-se de dados e os últimos 6 bits referem-se ao algoritmo de paridade (Figura 09). O início de cada mensagem consiste de duas palavras-padrão as quais contêm informações de um preâmbulo fixado, identificação do tipo de mensagem enviada, identificação da estação de referência, o tempo de referência da mensagem (contador Z) e da qualidade dos dados da estação de referência (RTCM v2.2, 1998, p. 4-4) e (KRUEGER, 1996, p.65).

FIGURA 09 – PALAVRAS-PADRÃO



FONTE: RTCM v2.2 (1998, p.4-3)

TABELA 06 - TIPOS DE MENSAGENS RTCM

Mensagem Número	Status Atual	Nome da Mensagem
1	Fixa	Correções Diferenciais GPS
2	Fixa	Correções Diferenciais GPS Delta
3	Fixa	Estação de Referência GPS
4	Tentativa	Datum da Estação de Referência
5	Fixa	Saúde da Constelação GPS
6	Fixa	Quadro Nulo
7	Fixa	Almanaque dos Rádiofaróis - GPS
8	Tentativa	Almanaque das Estações Pseudolite
9	Fixa	Correções Diferenciais de um Conjunto Parcial de Satélites GPS
10	Reservada	Correções Diferenciais para o Código P
11	Reservada	Correções Diferenciais C/A da portadora L <sub>2</sub>
12	Reservada	Estação Pseudolite
13	Tentativa	Estação de Transmissão
14	Tentativa	Tempo da Semana GPS
15	Tentativa	Atraso Ionosférico
16	Fixa	Mensagem Especial GPS
17	Tentativa	Dados de Efemérides GPS
18	Fixa	Medida Bruta da Fase da Portadora - RTK
19	Fixa	Medida Bruta da Pseudodistância - RTK
20	Tentativa	Correções Diferenciais da Portadora - RTK
21	Tentativa	Correções Diferenciais da Pseudodistância - RTK
22	Tentativa	Parâmetros da Estação de Referência GPS
23 – 30	*****	Indefinida
31	Tentativa	Correções Diferenciais GLONASS
32	Tentativa	Estação de Referência GLONASS
33	Tentativa	Saúde da Constelação GLONASS
34	Tentativa	Correções Diferenciais de um Conjunto Parcial de Satélites GLONASS
35	Tentativa	Almanaque dos Rádiofaróis - GLONASS
36	Tentativa	Mensagem Especial GLONASS
37	Tentativa	Tempo GNSS
38 – 58	*****	Indefinida
59	Fixa	Mensagem Própria
60 – 63	Reservada	Uso Multi-Fim

FONTE: RTCM v2.2 (1998).

A seguir apresentar-se-á mais detalhadamente algumas mensagens citadas na tabela 06.

### **Mensagem Tipo 01 – Correções Diferenciais GPS**

Os primeiros elementos desta mensagem são:

PRC: correções das pseudodistâncias de código;

RRC: taxa de variação das pseudodistâncias de código;

ID: corresponde ao PRN dos satélites;

UDRE: erro diferencial de distância; e

IOD: idade dos dados.

A relação entre as correções das pseudodistâncias de código (PRC) e a sua taxa de variação (RRC) é representado pela equação (2.9). O bloco de informações referente a idade dos dados (IOD) está incluído nesta mensagem para que a estação móvel possa compará-lo com o atual IOD presente na mensagem de navegação GPS. Esta comparação garantirá que as estações de referência e móvel estejam utilizando o mesmo conjunto de parâmetros orbitais e dos relógios (RTCM v2.2, 1998, p.4-10). Caso os IOD's sejam diferentes a estação móvel pode fazer uso da mensagem tipo 02 para a determinação dos fatores PRC e RRC. Já o UDRE fornece a estimativa ( $1\sigma$ ) da incerteza na correção das pseudodistâncias para a estação de referência (RTCM v2.2, 1998, p.4-7).

### **Mensagem Tipo 02 – Correções Diferenciais GPS Delta**

Esta mensagem é sempre aplicada pela estação móvel quando as efemérides utilizadas por ela são mais antigas do que as da estação de referência. Esta situação é detectada através da comparação dos parâmetros IOD presentes simultaneamente nas mensagens tipo 01 e de navegação GPS (efemérides) pela estação móvel. A função da mensagem tipo 02 será a de manter a mesma acurácia durante o levantamento, em situações em que as estações utilizem efemérides diferentes. Portanto, para uma aplicação coerente da mensagem tipo 02 esta deverá ser transmitida juntamente com a mensagem tipo 01.

O conteúdo desta mensagem é formado pelas diferenças nas correções das pseudodistâncias de código ( $\delta$ PRC) e pelas suas taxas de variação no tempo

( $\delta RRC$ ). Matematicamente estes elementos são representados por (RTCM v2.2, 1998, p.4-11):

$$\begin{aligned}\delta PRC &= PRC(IOD_{velho}) - PRC(IOD_{novo}) \\ \delta RRC &= RRC(IOD_{velho}) - RRC(IOD_{novo})\end{aligned}\quad (2.12)$$

E finalmente, a pseudodistância corrigida em um instante de tempo  $t$ , calculada pelas mensagens tipo 01 e 02 é dada por:

$$\begin{aligned}PRC(t) &= PRC(IOD_{novo}) + \delta PRC(IOD_{velho}) + [RRC(IOD_{novo})].[t-t_1] + \dots \\ &\dots + [\delta RRC(IOD_{velho})].[t-t_2]\end{aligned}\quad (2.13)$$

na qual:

$t$  = tempo de aplicação da correção diferencial;

$t_1$  = tempo de referência da mensagem tipo 01; e

$t_2$  = tempo de referência da mensagem tipo 02.

### **Mensagem Tipo 03 – Estação de Referência GPS**

Esta mensagem contém as coordenadas da estação de referência num sistema geocêntrico, sendo o WGS-84 o mais recomendado. Caso outro sistema de referência seja utilizado, a mensagem tipo 04 deverá ser transmitida com o intuito de informar aos usuários o referencial das coordenadas da estação de referência.

### **Mensagem Tipo 09 – Correções Diferenciais de um Conjunto Parcial de Satélites GPS**

A mensagem tipo 09 tem o mesmo propósito da mensagem tipo 01, ou seja, contém as correções das pseudodistâncias. O conteúdo e o formato de ambas são idênticas, exceto pelo número de satélites e de palavras da mensagem tipo 09 serem muito menores. A mensagem tipo 09 é formada agrupando-se três satélites

em cada bloco de informação. Tal característica melhora significativamente a performance da transmissão das correções diferenciais. Porém, devido à esta mesma característica, a mensagem tipo 09 necessita do uso de relógios mais estáveis do que os utilizados pelas estações de referência que transmitem a mensagem tipo 01.

A tabela 07 descreve o efeito da latência devido a transmissão das mensagens tipo 01 e 09, em um enlace de dados, transmitindo as informações diferenciais na velocidade de 100 bps.

TABELA 07 – LATÊNCIA EM UM ENLACE DE DADOS DE 100 bps

Número de Satélites	LATÊNCIA	
	Mensagem Tipo 01	Mensagem Tipo 09 ( 3 Satélites por Mensagem )
04	5,4 seg	5,4 seg
06	7,2 seg	6,3 seg
08	9,6 seg	8,1 seg
09	10,2 seg	8,4 seg

FONTE: RTCM v2.2 (1998, p.4-27)

Cabe salientar que a mensagem tipo 09 é utilizada na presença da SA para fornecer atualizações adicionais para os satélites cuja dinâmica do fator RRC é elevada.

### **Mensagens Tipo 18 à 21 – Mensagens RTK**

O Comitê SC-104 da RTCM desenvolveu um conjunto de mensagens para apoiar as técnicas de posicionamento em tempo real (RTK e PDGPS). Estas são os tipos 18, 19, 20 e 21. A mensagem tipo 18 contém as medidas brutas da fase da portadora, enquanto a mensagem tipo 19 é formada pelas pseudodistâncias de código. As mensagens tipo 20 e 21 fornecem as correções diferenciais da fase da portadora e das pseudodistâncias de código calculadas na estação de referência, respectivamente. O primeiro par de mensagens é destinado a formação de duplas diferenças de fase, ao passo que o segundo par refere-se ao processamento de

dados não diferenciados (LANGLEY, 1995, p.72). A mensagem tipo 21 é muito similar a mensagem tipo 01, porém aquela contém informações adicionais sobre a qualidade da mensuração, conforme mostra a tabela 4-25 da RTCM v2.2.

Uma típica estação de referência RTK/PDGPS transmite simultaneamente as mensagens do tipo 18 e 19 ou 20 e 21. Aparentemente as mensagens tipo 20 e 21, por se tratarem de correções diferenciais (valores pequenos), tem um tamanho reduzido e adequado para a sua transmissão. Porém, as palavras no padrão RTCM possuem um comprimento pré-definido de 30 bits, não apresentando nenhuma vantagem em termos de tamanho das mensagens 20/21 sobre as 18/19 (TALBOT, 1996, p.865). Segundo WÜBBENA *et al.* (1996, p.1847) a transmissão das mensagens tipo 20 e 21 na sua forma compactada (p.ex. padrão RTCM++) é mais eficaz que das mensagens tipo 18 e 19 (neste mesmo padrão), visto que aquelas contém um maior número de dados redundantes, permitindo uma melhor compressibilidade. As técnicas RTK/PDGPS também necessitam da transmissão das mensagens tipo 03 e 22, as quais se referem as coordenadas geocêntricas da estação de referência e as correções a serem adicionadas nestas, respectivamente. As mensagens RTK "duplicadas" devem ser transmitidas duas vezes por época, uma para dados da portadora  $L_1$  e outra para dados da portadora  $L_2$ , caso o sistema diferencial seja formado por receptores de dupla frequência (GOGUEN e ALLISON, 1996, p.1463).

As quatro mensagens RTK possuem um formato semelhante. A única diferença diz respeito ao tipo de dado transmitido, sendo relacionado com as mensurações de código e da fase da portadora. A palavra 03, isto é, o primeiro bloco de informações após o cabeçalho (palavras-padrão) contém o tempo GNSS (*Global Navigation Satellite System*) o qual é utilizado para aumentar a resolução do tempo contido no contador-Z. A palavra 03 é seguida por pares de palavras contendo os dados de cada satélite rastreado (RTCM v2.2, 1998, p.4-35).

### **Mensagem Tipo 22 - Parâmetros da Estação de Referência GPS**

Esta mensagem fornece uma maneira de se obter precisões de milímetros nas aplicações cinemáticas e a altura da antena da estação de referência (RTCM v2.2, 1998, p. 4-55).

As mensagens tipo 03 e 32 fornecem as coordenadas da estação de referência num sistema geocêntrico ao nível do centímetro. A primeira palavra de dados da mensagem tipo 22 fornece as correções a serem adicionadas a cada coordenada geocêntrica. A segunda palavra fornece a altura da antena da estação de referência.

### **Mensagem Tipo 59 – Mensagem Própria**

Esta mensagem é reservada para uso privado, ou seja, as informações serão transmitidas em um formato designado pelo próprio usuário, sendo de sua própria responsabilidade o desenvolvimento deste padrão.

Muitos usuários aplicavam esta mensagem em substituição a mensagem tipo 03. A mensagem tipo 59 era usada para aumentar a precisão das coordenadas geocêntricas da estação de referência de centímetros para milímetros (GOGUEN e ALLISON, 1996, p.1463). Na versão atual (RTCM V2.2) a mensagem tipo 22 atende a estas finalidades.

Segundo WÜBBENA *et al.* (1996, p.1847) o programa computacional GNRT (ver seção 2.1.5) utiliza-se da mensagem tipo 59 para armazenar as mensagens tipo 20 e 21 no seu formato compactado (padrão RTCM++), tornando-as compatível com a RTCM.

#### **2.1.4.3.5 TRANSMISSÃO DE DADOS**

O enlace de dados (ou de comunicação) forma uma componente essencial no método GPS Diferencial. Todas as técnicas de posicionamento em tempo real requerem uma transmissão regular das informações diferenciais da estação de referência e a sua recepção pela estação móvel. Estas informações podem ser transmitidas nas diferentes faixas do espectro eletromagnético. Os enlaces de dados mais utilizados são os via:



- (a) rádio transmissão (VHF/UHF);
- (b) estações de rádio FM;
- (c) telefonia celular; e
- (d) satélites de comunicação.

Na prática, a escolha do tipo de enlace de comunicação a ser adotado nos sistemas diferenciais está diretamente relacionado com a capacidade da taxa de transmissão e do alcance propiciado pelo próprio enlace. Segundo a RTCM v2.2 (1998, p.3-10) as informações diferenciais devem ser transmitidas na técnica DGPS, de forma confiável, a uma taxa mínima de 50 bps. Porém, a taxa de atualização na técnica RTK é muito maior do que na técnica DGPS, já que são formadas duplas diferenças de fase (DDF). Normalmente, na técnica RTK as informações diferenciais são atualizadas a cada 1 seg , enquanto na técnica DGPS atualizações a cada 10 seg são usuais (KRUEGER, 1996, p.72-74). Os enlaces de dados que operam na faixa VHF/UHF (de 30 à 3000 MHz) são os mais utilizados na técnica RTK, pois suportam adequadamente o volume de dados a ser transmitidos por esta técnica. A desvantagem dos enlaces VHF/UHF corresponde ao seu alcance limitado.

As tabelas 08 e 09 fornecem o volume de dados transmitidos por época nas técnicas DGPS e RTK, respectivamente. Já os valores mostrados na tabela 10 indicam a taxa mínima de transmissão (*baud rate*) que deve ser adotado nestas técnicas. Segundo GOGUEN e ALLISON (1996, p.1464) a época seguinte a transmissão das mensagens RTCM necessitam de um "*baud rate*" menor, visto que a mensagem tipo 03 não é transmitida em épocas consecutivas.

TABELA 08 – VOLUME DE DADOS TRANSMITIDOS NA TÉCNICA DGPS (bits/época)

MENSAGENS	TÉCNICA DGPS			
	4 SV's	8 SV's	9 SV's	12 SV's
TIPO 01	270	480	510	660
TIPO 02	270	480	510	660
TIPO 03	180	180	180	180
<b>TOTAL</b>	<b>720</b>	<b>1140</b>	<b>1200</b>	<b>1500</b>

FONTE: RTCM v2.2 (1998)

TABELA 09 – VOLUME DE DADOS TRANSMITIDOS NA TÉCNICA RTK (bits/época)

MENSAGENS	TÉCNICA RTK			
	4 SV's	8 SV's	9 SV's	12 SV's
TIPO 18 L <sub>1</sub>	330	570	630	810
TIPO 19 L <sub>1</sub>	330	570	630	810
TIPO 18 L <sub>2</sub>	330	570	630	810
TIPO 19 L <sub>2</sub>	330	570	630	810
TIPO 03	180	180	180	180
TIPO 22	150	150	150	150
<b>TOTAL RTK</b>	<b>1650</b>	<b>2610</b>	<b>2850</b>	<b>3570</b>
<b>TOTAL (RTK+DGPS)</b>	<b>2190</b>	<b>3570</b>	<b>3870</b>	<b>4890</b>

FONTE: RTCM v2.2 (1998)

TABELA 10 – TAXA MÍNIMA DE TRANSMISSÃO (bits/época)

MENSAGENS	4 SV's	8 SV's	9 SV's	12 SV's
DGPS	1200	2400	2400	2400
RTK	2400	4800	4800	4800
<b>DGPS + RTK</b>	<b>4800</b>	<b>4800</b>	<b>9600</b>	<b>9600</b>

FONTE: GOGUEN e ALLISON (1996, p.1464)

Nos enlaces VHF/UHF a transmissão das correções diferenciais dá-se de forma direta, ou seja, a propagação ocorre diretamente da estação de referência para a estação móvel. Desta maneira, as ondas portadoras destes enlaces são muito suscetíveis a atenuações devido a existência de obstruções na “linha de visada”. Em LANGLEY (1995, p.73) é comentado que mesmo na ausência de obstruções, a onda portadora sofre uma atenuação. Este efeito é conhecido na literatura por *Free-space loss*. Em regiões nas quais a integridade dos enlaces de rádio é muito comprometida (p.ex. áreas urbanas) a transmissão das informações diferenciais via telefonia celular, por estações FM ou através de satélites de comunicação é uma boa opção. Assim, para alcançar os melhores resultados com um enlace VHF/UHF, a antena de referência deve ser instalada em uma região livre de obstruções e elevada de modo a maximizar a sua área de cobertura<sup>8</sup>.

### 2.1.5 PADRÃO NMEA

O padrão NMEA foi desenvolvido pela *National Marine Electronics Association* com a finalidade de possibilitar a integração dos diferentes equipamentos eletrônicos empregados na navegação (p.ex. ecobatímetro e GPS). Para tal, o padrão NMEA estabelece uma interface de comunicação entre os equipamentos e o formato dos dados.

Todas as mensagens NMEA empregam o formato ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) como referência. Cada mensagem é iniciada pelo carácter “\$”. Os caracteres intermediários referem-se a identificação da mensagem e as informações propriamente ditas. O final das mensagens é determinado pelos caracteres CR (*carriage return*) e LF (*line feed*). Para maiores detalhes ver ASHTECH *Inc* (1994, p.153-172) e TRIMBLE (1995, p.275-288).

---

<sup>8</sup> Uma outra opção para a ampliação da área de cobertura do enlace de dados é o emprego de estações repetidoras.

## 2.1.6 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS

### GNRT

A necessidade em se conhecer de forma acurada e em tempo real as coordenadas de campo tornou-se um aspecto importante para muitos levantamentos cartográficos. Com o propósito de subsidiar estas necessidades, a empresa GEO++ (Alemanha) desenvolveu o sistema de programas GNREF/GNRT-K na plataforma computacional OS-2. Este programa foi concebido em módulos, cada um com uma função específica. Na estação de referência é utilizado o módulo GNREF. Ele, por sua vez, opera com qualquer marca de receptor GPS que forneça as mensurações brutas de código e da fase das portadoras. Normalmente, as estações de referência são equipadas com receptores de dupla frequência com o intuito de otimizar o processo de resolução das ambigüidades inteiras na estação móvel. Além da determinação das pseudodistâncias este módulo é responsável pelo cálculo das correções diferenciais que serão posteriormente enviadas no formato compacto RTCM++.

O módulo GNRT-K é instalado na estação móvel. Atribui-se a ele a função de combinar os dados brutos da estação móvel com as informações diferenciais provenientes da estação de referência. Segundo KRUEGER (1996, p.50) este módulo possibilita a resolução das ambigüidades inteiras, em tempo real, através das técnicas OTF e informa quando as mesmas foram resolvidas ou quando da existência de uma perda de ciclo (*cycle slip*).

Uma outra opção é o módulo GNNET. Ele é normalmente aplicado quando da existência de uma rede de referência. Dentre as estações que formam esta rede uma será considerada como "principal", ou seja, ela terá a responsabilidade de receber as correções diferenciais das outras estações integrantes da rede e calcular o parâmetro de correção de superfície (FKP), modelando matematicamente os erros na área do levantamento. Posteriormente, ela gera novas correções diferenciais que serão enviadas as estações móveis. Para maiores detalhes consultar KRUEGER (2001) e WÜBBENA *et al.* (1996).

## BERNESE

A primeira versão do programa computacional BERNESE foi desenvolvida em 1988 por um grupo de pesquisadores associados ao Instituto Astronômico da Universidade de Berne (Suíça). Este programa passou a ser uma das mais eficazes alternativas para a edição, manipulação, processamento e visualização de dados GPS. Atualmente este programa encontra-se na sua oitava versão (BERNESE v4.2). Porém foi aplicado neste trabalho a versão 4.0.

Segundo ROTACHER e MERVART (1996, p.1-2) este programa permite:

- (a) o processamento de todas as observáveis GPS ( $C/A$ ,  $P$ ,  $\varphi_1$  e  $\varphi_2$ );
- (b) a importação e a exportação de dados nos formatos RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*), Trimble, Ashtech e Rogue;
- (c) o processamento de linhas de base ou de redes;
- (d) a combinação linear entre as portadoras  $L_1$  e  $L_2$ ;
- (e) a modelagem ionosférica e troposférica;
- (f) a modelagem dos erros dos relógios;
- (g) o cálculo das órbitas dos satélites; e
- (h) a combinação da solução de campanhas através das equações normais sem a necessidade de re-processamento das observações.

Para prover todas estas atividades este sistema conta com mais de cem programas diferentes, arranjados logicamente em cinco grandes módulos, a saber:

- (a) Módulo de Transferência: responsável pela importação e exportação de dados GPS;
- (b) Módulo de Órbitas: responsável pela elaboração e representação das órbitas;
- (c) Módulo de Processamento: responsável pelo processamento das observáveis GPS e pela combinação das soluções;
- (d) Módulo de Simulação: são geradas observações GPS simuladas (códigos e/ou fase em ambas as portadoras) baseados em informações estatísticas; e

- (e) Módulo de Serviço: responsável pela edição dos arquivos, comparação de soluções, tratamento e análise dos resíduos.

Os parâmetros empregados nestes módulos são caracterizados por valores *default*<sup>9</sup>, porém passíveis de alteração. Dentre eles, pode-se citar o ângulo de elevação, taxa de rastreamento, número de iterações, coeficientes dos modelos troposférico e ionosférico, padrões de convergência das soluções e a omissão de dados vinculados a um satélite em particular. Para maiores detalhes consultar ROTACHER e MERVART (1996).

---

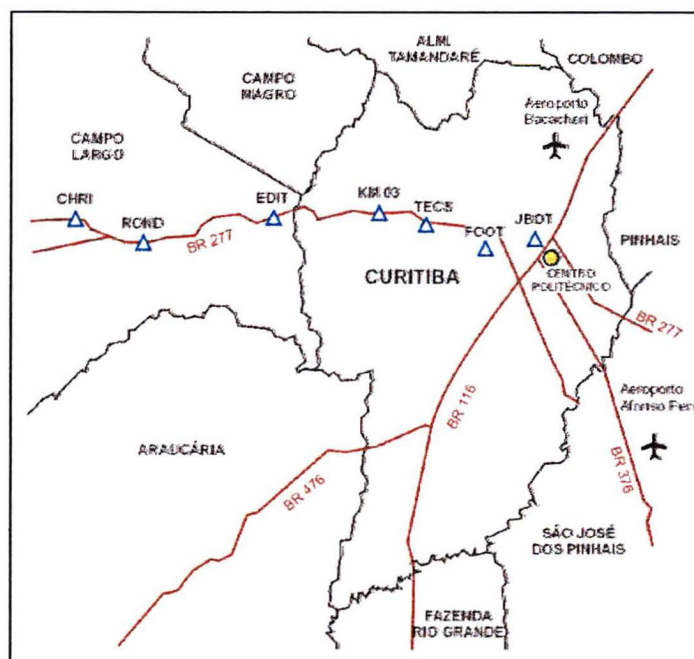
<sup>9</sup> O valor *default* corresponde ao valor preconizado pelo o autor do programa.

### 3 LEVANTAMENTOS REALIZADOS

#### 3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Conforme citado no capítulo 1, o objetivo geral desta dissertação é o de avaliar as degradações posicionais em função da variação do comprimento das linhas de base (correlação espacial) nas técnicas DGPS e RTK. Para atender a este objetivo foram escolhidos doze pontos (Figura 10), sendo que dois deles (PARA<sup>10</sup> e RM03) pertencentes ao Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul (SIRGAS), cujas coordenadas estão referidas a época 1995,4 (ver tabela 11). Eles auxiliaram os levantamentos realizados neste trabalho, como sendo os pontos de referência, a estação PARA nos posicionamentos estáticos (clássicos) e a estação RM03 nos posicionamentos em tempo real. Os demais pontos encontram-se distribuídos na área urbana do município de Curitiba (PR) e ao longo da rodovia BR-277 em direção ao município de Campo Largo (PR), e serão denominados de ora vante “estações teste”.

FIGURA 10 – VISUALIZAÇÃO DA ÁREA TESTE



Nota: No Centro Politécnico encontram-se materializadas as estações PARA, RM03, AZMT, PIL2 e PIL3.

<sup>10</sup> A estação PARA também pertence a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC).

TABELA 11 – COORDENADAS DAS ESTAÇÕES PARA E RM03 (SIRGAS)

ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (m)
PARA	-25° 26' 54,12910"	-49° 13' 51,43680"	925,759
RM03	-25° 26' 54,56850"	-49° 13' 52,21080"	923,785

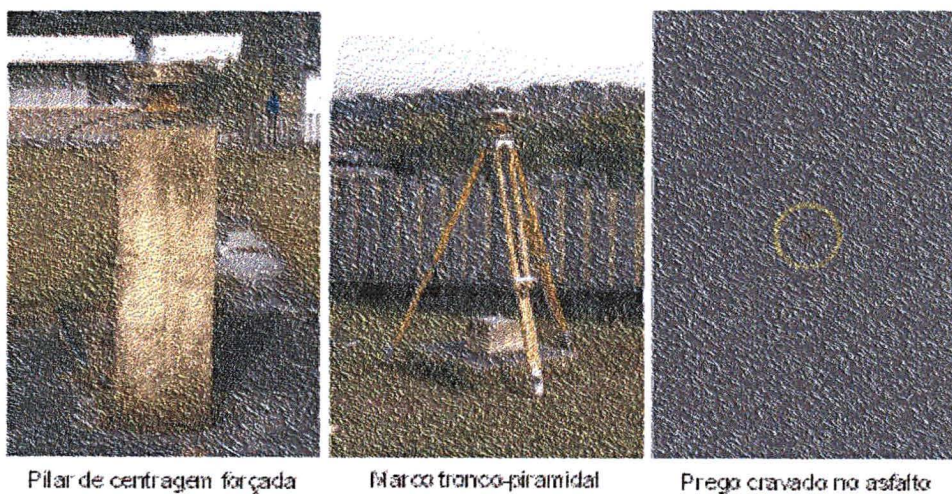
FONTE: IBGE (1997, p.57).

Nota: as coordenadas das estações PARA e RM03 têm uma precisão de 5mm em cada componente.

Apesar da grande maioria das estações estarem inseridas dentro de um contexto urbano tentou-se evitar ao máximo a existência de obstruções e objetos refletores nas suas proximidades. Tal característica possibilita uma melhor sintonização dos receptores com os satélites e uma minimização do efeito do multicaminho (seção 2.1.2). Além de atender o critério descrito acima, as estações “teste” tem a capacidade de receber com clareza e segurança as correções diferenciais provenientes da estação de referência.

Estas estações encontram-se materializadas no terreno através de pilares de centragem forçada, marcos tronco-piramidais ou por parafusos cravados no asfalto das vias de acesso, conforme ilustrado na Figura 11. Já na tabela 12 estão indicados o nome e a identificação das estações, a localidade aproximada de cada estação e o comprimento de todas as linhas de base.

FIGURA 11 – MATERIALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES





Em virtude da inexistência de coordenadas pretéritas para as estações “teste” e por conseguinte de um padrão de referência, no qual as soluções obtidas nos posicionamentos com as técnicas DGPS e RTK pudessem ser comparadas, procedeu-se a ocupação das mesmas a partir de dois levantamentos estáticos (seção 2.1.4.2) totalizando um período de seis horas de rastreo. A próxima fase é caracterizada pela ocupação das estações teste a partir de dois levantamentos DGPS e de um levantamento RTK.

TABELA 12 – IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES DA ÁREA TESTE

NOME DA ESTAÇÃO	ID	LOCALIDADE	COMPRIMENTO DA LINHA DE BASE (Km)
PARA (RBMC/SIRGAS)	PARA	Centro Politécnico - UFPR	Estação de Referência
RM03 (SIRGAS)	RM03	Centro Politécnico - UFPR	Estação de Referência
AZIMUTE	AZMT	Centro Politécnico - UFPR	0,2
PILAR 2	PIL2	Centro Politécnico - UFPR	0,9
PILAR 3	PIL3	Centro Politécnico - UFPR	1,1
JARDIM BOTÂNICO	JBOT	Próximo a Igreja Matriz do Jardim Botânico	1,5
FOOTBAR	FOOT	Próximo a Escola de Futebol Footbar Bairro: Rebouças	4,0
TECS	TECS	Próximo ao Terminal da Campina do Siqueira	8,0
COPEL – KM03	KM03	Em frente a sede da Copel (KM03)	11,0
EDITORIA	EDIT	Em frente a sede da Editora Paranaense / Campo Largo	17,0
RONDINHA	ROND	Próximo ao Colégio Bom Jesus da Aldeia	25,0
CHRISLER	CHRI	No viaduto de acesso a Fábrica da Chrisler	29,0

Deve-se esclarecer que neste trabalho os sistemas geodésicos de referência SIRGAS e WGS-84 foram considerados compatíveis<sup>11</sup>, tornando consistentes tais comparações. Tal procedimento foi também empregado em BRIONES (1999), o

<sup>11</sup> Em IBGE (2000, p.12) é destacado que para fins de cartografia a atual realização do WGS-84 pode ser considerada coincidente com a realização do SIRGAS.

escopo principal desta dissertação era a determinação da correlação espacial no sistema ERDGPS (radiofaróis) da Marinha do Brasil.

Na seqüência apresentar-se-á a descrição dos levantamentos realizados nesta área de estudo e bem como os resultados obtidos com a técnica estático.

### **3.2 LEVANTAMENTO ESTÁTICO**

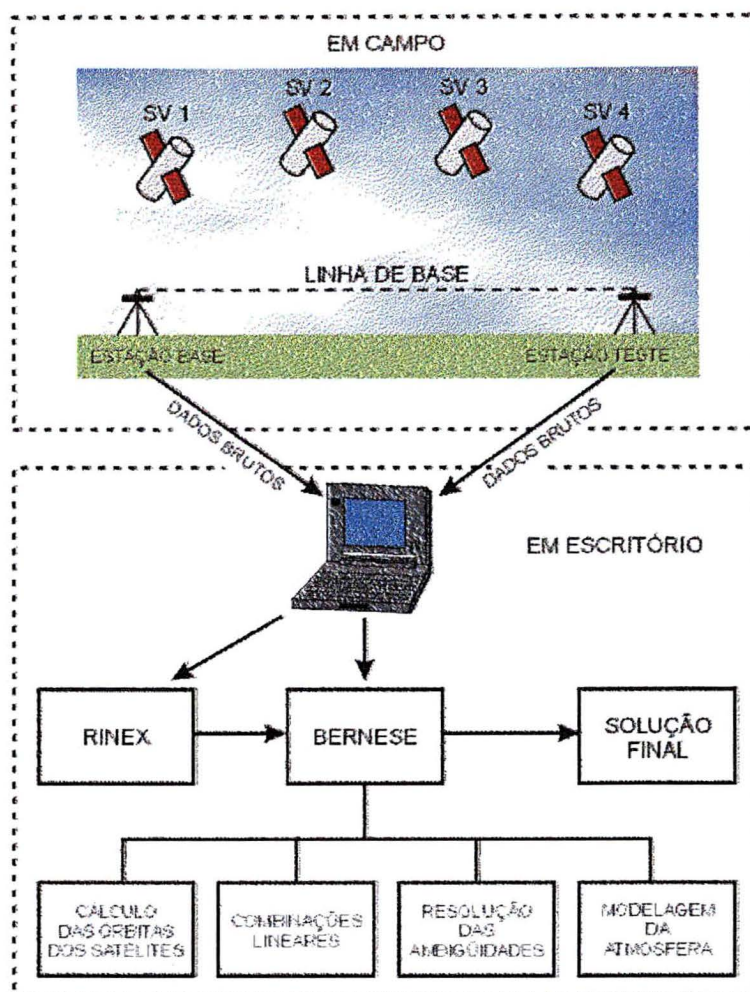
Com a implantação das estações “teste” (tabela 12), empregadas na determinação da correlação espacial no método GPS Diferencial, houve a necessidade da determinação precisa das suas coordenadas. Para tal, empregou-se o posicionamento relativo com a técnica estático (seção 2.1.4.2). Nestes levantamentos a estação PARA foi adotada como base (ou referência), a qual por sua vez integra a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC).

Os levantamentos estáticos foram caracterizados por dois rastreios, sendo um deles de 4 horas e outro de 2 horas. Desta maneira foi possível contar com uma quantidade maior de dados (informações GPS). O primeiro rastreo ocorreu nos dias 16, 17 e 18 de dezembro de 2000, enquanto o segundo deu-se no dia 27 de dezembro de 2000 e nos dias 03 e 05 de janeiro de 2001. Em ambas as circunstâncias foram empregados receptores geodésicos de dupla freqüência das marcas TRIMBLE 4000SSI e ASHTECH Z-XII, com uma taxa de gravação de dados de 15s, valor este que é atualmente empregado por todas as estações da RBMC. Adotou-se também um ângulo de elevação (máscara) de 15° para minimizar as degradações devido a troposfera e ao efeito do multicaminho (seção 2.1.2).

#### **3.2.1 PROCESSAMENTO DOS DADOS E RESULTADOS OBTIDOS**

Os dados coletados, conforme descrito na seção 3.2, foram pós-processados utilizando-se o programa científico BERNESE V4.0 (seção 2.1.6) e adotando a estação PARA como base (referência). O processo de aquisição e de processamento de dados é mostrado com o auxílio da Figura 12.

FIGURA 12 - AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS



Os dados brutos provenientes dos levantamentos estáticos são interpretados e transformados diretamente pelo programa BERNESE V4.0. Antes do processamento deve-se elaborar um banco de dados contendo a identificação (ID) de todas as estações, o tipo e a altura das antenas GPS empregadas durante os levantamentos. Estes elementos são empregados basicamente na correção dos efeitos provocados pela variação do centro de fase (seção 2.1.2) e na redução das alturas das antenas ao plano do horizonte da estação. A correta transformação e adequação destes dados é fundamental para o bom andamento do pós-processamento.

Para garantir melhores resultados nestes levantamentos o processamento foi realizado utilizando-se as órbitas precisas do IGS – *International GPS*

*Geodynamics Service*<sup>12</sup> e os seus respectivos ERP – *Earth Rotation Parameters* (arquivos do movimento diário do Pólo). A primeira etapa propriamente dita do pós-processamento é caracterizado pela estimação do erro dos relógios dos satélites e das coordenadas das estações “teste” através de observações de código (programa CODSP).<sup>13</sup>

Na seqüência são realizadas combinações lineares envolvendo dados provenientes de diferentes estações, ou seja, formam-se as simples, duplas e triplas diferenças de fase (seção 2.1.3.2). Os elementos principais nesta etapa do processamento são as linhas de base, as quais são definidas através da constituição de simples diferenças de fase (programa SNDIFF), sendo processadas de forma isolada. No programa MAUPRP as triplas diferenças de fase são formadas com a finalidade de detectar e recuperar eventuais *cycle slips* (perdas de ciclo). Em seguida são constituídas as duplas diferenças de fase (programa GPSEST). Juntamente a este processo realiza-se uma estimativa dos parâmetros troposféricos locais e a fixação das ambigüidades inteiras (N), já que a DDF proporciona a melhor relação entre o ruído resultante e a eliminação dos erros sistemáticos envolvidos nas observáveis originais (MÔNICO, 2000, p. 174). O efeito da troposfera foi estimado através do modelo de Saastamoinen<sup>13</sup>, aplicando-se a função de mapeamento<sup>14</sup> “cos z”, e a fixação das ambigüidades foi realizada separadamente para cada linha de base. Como produto desta etapa foram gerados uma solução “prévia” para cada linha de base (coordenadas das estações teste) e as suas respectivas equações normais (arquivos \*.NEQ). Cabe aqui salientar que não houve diferença significativa entre os processamentos realizados aplicando a combinação linear L<sub>3</sub> e aquele adotando apenas a portadora L<sub>1</sub>.

As coordenadas finais das estações teste são computadas pelo programa ADDNEQ. Ele permite a adição de todas as equações normais (\*.NEQ) geradas anteriormente pelo programa GPSEST<sup>15</sup>. Segundo ROTACHER e MERVART (1996,

---

<sup>12</sup> As órbitas precisas do IGS estão disponíveis no seguinte endereço eletrônico [www.igsb.jpl.nasa.gov](http://www.igsb.jpl.nasa.gov)

<sup>13</sup> Para maiores detalhes ver HOFMANN-WELLENHOF *et. al* (1994, p.115-116).

<sup>14</sup> A função de mapeamento relaciona o atraso troposférico de um satélite no zênite com um satélite em uma determinada elevação.

<sup>15</sup> Para a determinação das coordenadas finais das estações teste foram empregadas as equações normais oriundas das duas ocupações realizadas através da técnica estático (clássico).

p.224) este programa realiza fundamentalmente um ajustamento seqüencial pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) de todas as soluções “prévias”. Conforme GEMAEL (1994, p.191) com a aplicação de um ajustamento seqüencial é possível o cálculo da influência de novas observações sem a perda dos cálculos executados em um ajustamento inicial.

Na tabela 13 encontram-se indicado as coordenadas geodésicas finais ( $\varphi$ ,  $\lambda$ , h) das estações teste, o desvio padrão associado a cada componente, o desvio padrão tridimensional resultante e o comprimento real das linhas de base.

TABELA 13 – COORDENADAS GEODÉSICAS FINAIS ( $\varphi$ ,  $\lambda$ , h) DAS ESTAÇÕES “TESTE” OBTIDAS PELO LEVANTAMENTO ESTÁTICO (CLÁSSICO)

ID	$\varphi$ (° ‘ ‘‘) Desvio Padrão (m)	$\lambda$ (° ‘ ‘‘) Desvio Padrão (m)	h (m) Desvio Padrão (m)	Desvio Padrão (m)	CLB (m)
AZMT	-25 26 48,128610 0,0003	-49 13 53.991092 0,0003	928.3394 0,0006	0,00073	197,959
PIL2	-25 27 15,669427 0,0002	-49 14 11.549405 0,0002	912.3936 0,0006	0,00066	868,968
PIL3	-25 27 23,735375 0,0003	-49 14 14.945731 0,0003	912.3819 0,0007	0,00082	1123,115
JBOT	-25 26 35,199218 0,0004	-49 14 41.036351 0,0005	927.9863 0,0011	0,00127	1503,246
FOOT	-25 27 00,706600 0,0003	-49 16 23.265242 0,0003	906.6903 0,0007	0,00082	4246,740
TECS	-25 26 14,376677 0,0003	-49 18 37.339822 0,0003	925.2468 0,0008	0,00091	8081,348
KM03	-25 25 50,846731 0,0004	-49 20 18.461702 0,0007	941.9537 0,0014	0,00162	10987,837
EDIT	-25 25 58,542683 0,0019	-49 24 04.905515 0,0132	956.5855 0,0047	0,01414	17225,975
ROND	-25 26 50,570655 0,0016	-49 28 42.254513 0,0061	964.9723 0,0044	0,0769	24888,963
CHRI	-25 26 07,030755 0,0019	-49 31 09.310125 0,0123	986.8656 0,0044	0,01320	29034,979

Nota:  $\varphi$ : latitude,  $\lambda$ : longitude, h: altitude elipsoidal e CLB: comprimento da linha de base.

Nota: coordenadas em WGS-84.

Estas coordenadas passam a ser consideradas como referência, permitindo assim, a análise dos resultados obtidos com os levantamentos DGPS e RTK.

### 3.3 LEVANTAMENTOS DGPS

Os levantamentos DGPS (seção 2.1.4.3) marcaram o início dos experimentos para a determinação da precisão e da correlação espacial no Método GPS Diferencial. Nestes levantamentos, as estações teste foram ocupadas mantendo uma antena GPS estacionária por um período de 15min e sendo adotado como estação de referência o marco RM03 (SIRGAS). Tal característica permitiu uma análise mais criteriosa do comportamento da solução DGPS no tempo (seção 4).

Na estação de referência foram instalados um receptor geodésico de dupla frequência da marca ASHTECH Z-XII, um rádio transmissor RMF96 de 35W *Pacific Crest Corporation* e os demais acessórios. O receptor ASHTECH Z-XII ficou responsável pela recepção dos sinais dos satélites GPS e pelo cálculo das correções diferenciais. Neste caso, as correções diferenciais são determinadas a partir de um algoritmo de suavização (do tipo daquele apresentado na seção 2.1.3.2), aplicando apenas os dados referentes a portadora  $L_1$ . A função do rádio transmissor foi a de enviar e de disponibilizar estas correções diferenciais no formato RTCM V2.0 (seção 2.1.4.3.3) através de uma onda de rádio. Para tentar minimizar principalmente os efeitos provocados pela latência, o enlace de comunicação operou na faixa VHF/UHF (seção 2.1.4.3.3).

A estrutura instalada nas estações teste é praticamente a mesma daquela empregada na estação de referência. Foi utilizado também um receptor da marca ASHTECH Z-XII para a recepção dos sinais dos satélites GPS, para o cálculo das pseudodistâncias e para a adição das correções diferenciais calculadas na estação de referência para estas pseudodistâncias. O enlace de comunicação consistirá agora de um rádio receptor RMF96 de 2W capaz de receber as correções diferenciais e a de convertê-las novamente a uma forma digital, seguindo o padrão RTCM V2.0.

Deste processo resultará um arquivo texto (ASCII) contendo a mensagem "GPGGA" formatada no padrão NMEA (seção 2.1.5). Cada sentença da mensagem "GPGGA" foi descarregada, em tempo real, em um *notebook* via porta serial. Apesar do receptor ASHTECH Z-XII ter a opção de dezessete mensagens no padrão NMEA, apenas a mensagem "GPGGA" foi empregada neste trabalho. A escolha por este

tipo de mensagem esta associada ao fato de que a mesma possibilita a posição planimétrica da estação para um dado instante de referência e de disponibilizar indicadores referentes a geometria dos satélites e a latência. A estrutura desta mensagem é descrita em ASHTECH *Inc* (1994, p.157), a saber:

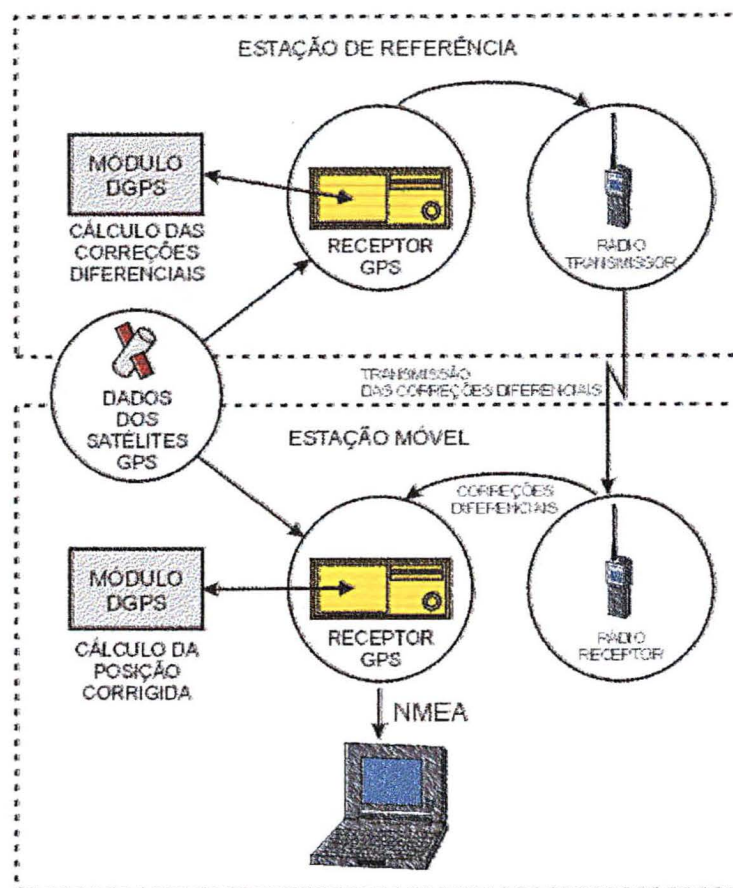
```
$GPGGA,hhmmss.ss,xxxx.xxxxx,S,xxxx.xxxxx,W,x,xx,xx.x,±xxxxx,M,±xxxx.x,M,xxx,xxxx <CR> <LF>
OU
$GPGGA,<1>,<2>,<3>,<4>,<5>,<6>,<7>,<8>,<9>,<10>,<11>,<12>,<13>,<14>
```

na qual:

- \$: início da mensagem NMEA;
- GPGGA: identificação do tipo de mensagem;
- <1>: horário da observação em horas, minutos, segundos e centésimos de segundos (p.ex. 124026.35 = 12h 40min 26.35seg);
- <2>: latitude em graus, minutos e décimos de minuto (p.ex. 2525.52360 = 25° 25.52360’);
- <3>: hemisfério com respeito ao plano do equador (“N” para Norte e “S” para Sul);
- <4>: longitude em graus, minutos e décimos de minuto (p.ex. 4949.52360 = 49° 49.52360’);
- <5>: hemisfério com respeito ao meridiano de Greenwich (“W” para Oeste e “E” para Leste);
- <6>: indicador de tipo de posicionamento (“1” para Absoluto e “2” para DGPS);
- <7>: número de satélites;
- <8>: valor do HDOP;
- <9> e <10>: altitude elipsoidal em metros “M”;
- <11> e <12>: altitude ortométrica em metros “M”;
- <13>: fator IOD (latência);
- <14>: identificador da estação de referência; e
- <CR> e <LF>: indicadores de término da mensagem.

O relacionamento entre os diversos componentes que constituíram os levantamentos DGPS é mostrado na Figura 13.

FIGURA 13 – LEVANTAMENTOS DGPS



Conforme descrito anteriormente, a altitude elipsoidal disponível na mensagem "GPGGA" é dada ao nível do metro. Tal restrição torna pouco consistente a análise altimétrica das soluções DGPS. Para contornar este inconveniente passou-se a anotar a cada 10seg a altitude elipsoidal, ao nível do centímetro, diretamente da tela "2" da próprio receptor. Para o primeiro levantamento DGPS a mensagem "GPGGA" foi coletada a cada 10seg, mantendo-se assim uma consistência entre as informações planimétricas e as altimétricas. Para o segundo levantamento DGPS a aquisição da mensagem "GPGGA" foi realizada a cada 1seg e sendo mantida a cada 10seg a captura da altitude elipsoidal da tela do receptor. Com a mudança da taxa de aquisição da mensagem "GPGGA" para 1seg no segundo levantamento visou-se a coleta de um número maior de dados



(informações bidimensionais DGPS). Na tabela 14 resume-se os procedimentos adotados em campo durante os levantamentos DGPS.

TABELA 14 – LEVANTAMENTOS DGPS

Rastreio	Data	Período de Ocupação das Estações Teste	Intervalo de Coleta da Mensagem GPGGA	Intervalo da Coleta Altimétrica
Primeiro	1ª Quinzena de Março de 2001	15 min	10 seg	10 seg
Segundo	2ª Quinzena de Março de 2001	15 min	1 seg	10 seg

### 3.4 LEVANTAMENTOS RTK

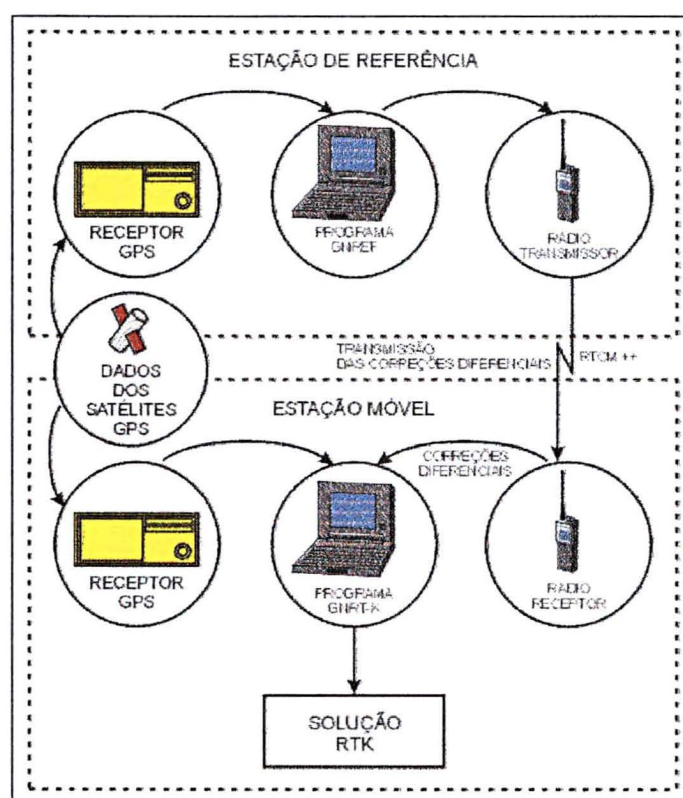
A estratégia de ocupação das estações “teste” no levantamento RTK foi semelhante aquela aplicada nos levantamentos DGPS, ou seja, manteve-se uma antena GPS estacionária, por um intervalo de tempo de 15 min a 30 min, sobre estas estações. A estação RM03 (SIRGAS) foi também adotada como estação de referência. A única variante diz respeito a coleta dos dados. Nos levantamentos DGPS, os dados NMEA foram coletados sem interrupção, enquanto nos levantamentos RTK as soluções eram sempre “reinicializadas” após a resolução das ambigüidades inteiras (N). Ao se proceder a esta “reinicialização” a solução passará inicialmente a ser compatível com os padrões obtidos pelo método absoluto (seção 2.1.4.1) e em seguida com as fornecidas por uma solução *float* (seção.2.1.4.3.3), até que as ambigüidades sejam fixadas novamente (solução fixa). Tal sistematização permitiu também uma análise mais aprimorada do tempo de fixação das ambigüidades inteiras (TTFA) a medida que a distância entre as estações de referência e móvel (linha de base) aumentou.

Uma das diferenças marcantes entre os levantamentos DGPS e RTK, além logicamente do tipo de observável empregada (seção 2.1.4.3), refere-se ao cálculo das correções diferenciais. Nos levantamentos DGPS, as correções diferenciais, no formato RTCM V2.0, eram computadas diretamente por um módulo interno do receptor geodésico ASHTECH Z-XII (Figura 13), empregando um algoritmo de suavização. Já para os levantamentos RTK foi empregado o programa GNRT (seção

2.1.6) para o cálculo das correções diferenciais da fase da portadora. Neste caso, estas correções diferenciais seguem a formatação RTCM++ (seção 2.1.4.3.3). De uma forma geral, o levantamento RTK realizado neste trabalho conta com uma componente a mais com relação aos levantamentos DGPS, o programa GNREF/GNRT-K. Ele possibilita a determinação precisa da posição de um receptor móvel, em tempo real, através da combinação dos dados brutos da estação móvel com as correções diferenciais transmitidas pela estação de referência. Neste levantamento RTK, a função dos receptores GPS de dupla frequência ASHTECH Z-XII era exclusivamente de captar os sinais dos satélites. Deve ser salientado que atualmente os módulos RTK (responsáveis pelo cálculo das correções diferenciais da fase da portadora) já vem incorporados aos novos receptores geodésicos, o que torna a operacionalização de tais sistemas um pouco mais simples. Com relação aos rádios RMF96, eles possuíam a mesma finalidade que as prestadas aos levantamentos DGPS, isto é, a transmissão e a recepção das correções diferenciais.

O relacionamento entre os diversos componentes que constituíram os levantamentos RTK é mostrado pela Figura 14.

FIGURA 14 – LEVANTAMENTOS RTK



Deste processo resultará um arquivo texto (ASCII - \*.RTK) contendo as coordenadas geodésicas da estação ocupada no referencial WGS-84 e um “*flag*” de tempo, o qual será útil para a determinação do TTFA (tempo de fixação das ambigüidades inteiras). Tais informações foram coletadas em um *notebook*, sendo que a gravação dos dados foi realizada a cada 1 seg. Tal característica permitiu uma maximização do volume de dados, tornando mais consistente a análise dos resultados para esta solução.

## 4 ANÁLISES DOS RESULTADOS OBTIDOS COM OS LEVANTAMENTOS DGPS E RTK

A determinação da correlação espacial nas técnicas DGPS e RTK foi realizada a partir da comparação destas soluções com as fornecidas pelos levantamentos estáticos. Conforme descrito nas seções 3.3 e 3.4, os dados coletados durante os levantamentos DGPS seguiram o padrão NMEA (mensagem GPGGA), enquanto que os dados do levantamento RTK encontram-se disponíveis em um arquivo de texto (\*.RTK), cujo formato pode ser estabelecido pelo próprio usuário. Optou-se pela utilização das planilhas *Excel* com vistas à uma manipulação eficiente destes dados, na realização de cálculos matemáticos e na confecção de gráficos.

### 4.1 ANÁLISES DOS RESULTADOS DGPS

Conforme apresentado na seção 3.3, foram realizados dois levantamentos DGPS sobre as estações teste, sendo o valor da taxa de gravação da mensagem GPGGA a única variante entre eles. Na primeira ocupação os dados planimétricos (mensagem GPGGA) foram gravados a cada 10 seg, enquanto que na segunda ocupação foram gravados a cada 1 seg. Já os dados altimétricos, nas duas ocupações, foram capturados diretamente da tela "2" do receptor ASHTECH Z-XII a cada 10 seg. De uma forma geral, manteve-se uma antena GPS estacionária sobre as estações teste por um período aproximado de 15 min, sendo aplicadas as correções diferenciais oriundas da estação de referência RM03 (SIRGAS). O produto final destes levantamentos são arquivos ASCII, no padrão NMEA (mensagem GPGGA).

Em uma seqüência lógica, a primeira atividade a ser executada em escritório deveria ser a importação destes arquivos ASCII no ambiente *Excel*. Contudo, a importação direta não é aconselhável pois normalmente as primeiras linhas destes arquivos contêm erros, ou seja, não apresentam certos elementos (Figura 15). Outro motivo que torna inexequível tal importação diz respeito ao fato de que os elementos (graus e minutos) que definem as latitudes e as longitudes estão inclusos em um mesmo bloco de informação (não existe nenhum delimitador – p.ex. *vírgulas*),

aspecto este que dificulta a realização dos cálculos matemáticos no ambiente *Excel*. Para contornar estes problemas foi desenvolvido um programa, em linguagem Pascal (anexo 1), responsável pela eliminação destas linhas com problemas e pelo cálculo da latitude e da longitude em fração de grau. Este programa permite ainda a seleção dos elementos a serem importados, agrupando-os em arquivos específicos (p.ex. as latências encontram-se reunidas no arquivo \*.AGE). Dentre estes arquivos específicos foram aplicados neste trabalho aqueles referentes ao tempo (\*.HOR), a latitude (\*.LAT), a longitude (\*.LON), ao número de satélites disponíveis no instante da ocupação (\*.SAT), a geometria dos satélites (\*.DOP) e a latência (\*.AGE).

FIGURA 15 – TRECHO INICIAL DE UM ARQUIVO NMEA (MENSAGEM GPGGA)

,01.7,+00929,M,,M,003,0000*4F	1ª linha: com problema
,01.3,+00930,M,,M,003,0000*4F	2ª linha: com problema
\$GPGGA,202917.00,2526.80195,S,04913.90014,W,2,06,01.3,+00929,M,,M,003,0000*44	3ª linha: NORMAL
\$GPGGA,202927.00,2526.80203,S,04913.89980,W,2,07,01.1,+00927,M,,M,004,0000*4D	4ª linha: NORMAL

Nota: trecho do arquivo bruto AZMT.TXT – DGPS – 1ª ocupação

Após efetuar o processo de adequação dos dados brutos DGPS, separando cada informação em um arquivo específico, foi realizada a importação, propriamente dita, destes dados no ambiente *Excel*. Com respeito a altitude elipsoidal capturada diretamente da tela do receptor GPS, a mesma foi inserida manualmente nas planilhas de trabalho, tomando como referência as informações de tempo. Por fim, procedeu-se a inserção das coordenadas de referência das estações teste (tabela 13) nas planilhas de trabalho, com a finalidade da mensuração dos erros planimétricos ( $E_P$ ) e altimétricos ( $E_{ALT}$ ) na técnica DGPS. Por fim, o erro planimétrico resultante ( $E_P$ ) é definido matematicamente pela fórmula (4.2), a saber:

$$E_P = \left( \sqrt{(\varphi_{DGPS} - \varphi_{REF})^2 + (\lambda_{DGPS} - \lambda_{REF})^2} \right) \quad (4.1)$$

na qual:

$\varphi_{DGPS}$  = latitude obtida nos levantamentos DGPS;

$\varphi_{REF}$  = latitude obtida nos levantamentos estáticos;

$\lambda_{DGPS}$  = longitude obtida nos levantamentos DGPS; e

$\lambda_{REF}$  = longitude obtida nos levantamentos estáticos.

Para a determinação do erro planimétrico ( $E_P$ ), em unidades métricas, teve-se que estabelecer primeiramente o valor do comprimento dos arcos de 1" sobre o elipsóide, tanto em latitude quanto em longitude. Considerou-se nestes cálculos uma latitude média da região em estudo ( $\varphi_M = -25^\circ 26' 36,480674''$ ), aja vista que as estações aplicadas neste trabalho encontram-se praticamente alinhadas sobre um mesmo paralelo. A equação para o cálculo do comprimento infinitesimal ( $ds$ ) sobre o elipsóide é dado por (RICHARDUS, 1972, p.41 apud BRIONES, 1999, p.49):

$$ds^2 = (M^2 \cdot d\varphi^2 + N^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot d\lambda^2) \quad (4.2)$$

na qual:

$ds$  = arco de comprimento infinitesimal;

$M$  = raio de curvatura meridiana;

$N$  = raio de curvatura do 1° vertical;

$\varphi$  = latitude;

$d\varphi$  = arco de comprimento infinitesimal em latitude (radianos); e

$d\lambda$  = arco de comprimento infinitesimal em longitude (radianos).

Aplicando os parâmetros definidores do elipsóide WGS84 ( $a = 6.378.137$  m e  $f^1 = 298,257222101$ ) e o valor da latitude média da região chega-se ao comprimento ( $ds$ ) de um arco de 1" em latitude igual a 30,772 m e de um arco de 1" em longitude igual a 27,940 m.

O erro altimétrico ( $E_{ALT}$ ) é facilmente determinado através da subtração entre a altitude elipsoidal obtida nos levantamentos DGPS ( $h_{DGPS}$ ) e a altitude elipsoidal obtida nos levantamentos estáticos ( $h_{REF}$ ). Tal relação é expressa pela fórmula (4.3), a saber:

$$E_{ALT} = (h_{DGPS} - h_{REF}) \quad (4.3)$$

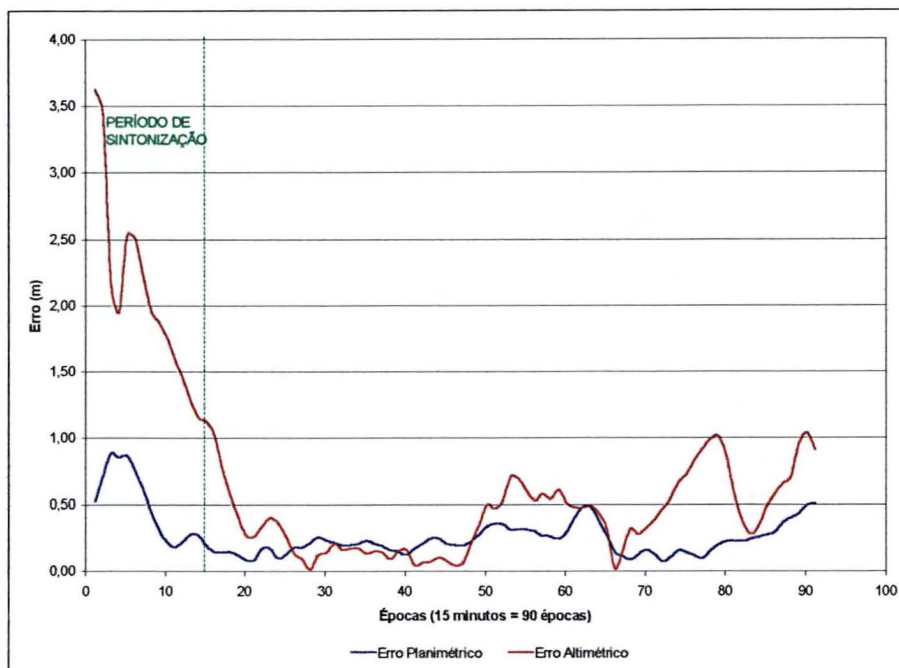
Na seqüência, serão apresentados através de gráficos e tabelas os resultados obtidos nas duas ocupações DGPS.

#### 4.1.1 PRIMEIRA OCUPAÇÃO DGPS

Conforme apresentado na tabela 14, no primeiro levantamento DGPS, a coleta das informações planimétricas e altimétricas foram efetuadas a cada 10 seg. Com relação a estratégia de rastreamento, instalou-se a antena do receptor GPS sobre as estações teste, realizando uma ocupação aproximada de 15 minutos. Ao final de cada coleta dispunha-se de um arquivo no padrão NMEA (mensagem GPGGA). Logo, ao término do primeiro levantamento DGPS detinha-se 10 arquivos, sendo um arquivo para cada uma das estações teste.

Após a importação destes arquivos pelo programa *Excel*, procedeu-se ao cálculo dos erros planimétricos e altimétricos para cada época (10 seg), sendo confeccionado em seguida, com estes valores, o gráfico correspondente. O gráfico 1 é um exemplo característico. Ele se refere aos erros planimétricos e altimétricos obtidos para a estação teste "AZMT". Este gráfico apresenta o eixo das abscissas graduado em épocas, contemplando por inteiro o período de ocupação de 15 min (ou 90 épocas), e o eixo das ordenadas graduado em metros, para a representação em conjunto dos erros planimétricos (seqüência em azul) e altimétricos (seqüência em vermelho). Os gráficos 02, 06, 09, 13, 17, 21, 25, 29, 33 do anexo 2 referem-se aos gráficos das demais estações teste.

GRÁFICO 1 – ERRO PLANIMÉTRICO E ALTIMÉTRICO – 1ª OCUPAÇÃO ESTAÇÃO “AZMT”



A partir da observação do gráfico 1, pode-se tecer certos comentários e realizar algumas análises. Primeiramente, ao se realizar uma análise visual dele verifica-se que o comportamento do erro planimétrico ( $E_P$ ) ao longo do tempo é muito mais estável do que o apresentado pelo erro altimétrico ( $E_{ALT}$ ), ou seja, a variação temporal do erro planimétrico é mais suave do que a do erro altimétrico. Este comportamento não é característico apenas para a estação teste “AZMT”, tal evidência pode ser confirmada ao se observar os demais gráficos das outras estações teste (gráficos 02, 06, 09, 13, 17, 21, 25, 29, 33 do anexo 2). Outra questão de relevância, diz respeito ao chamado “período de sintonização”. Ele corresponde ao intervalo de tempo decorrente do início da coleta de informações (época 0) até aproximadamente a época número 15, abrangendo um período total de tempo de 2 min e 30 seg. No gráfico 1, este período é definido pelo intervalo (espaço) compreendido entre o eixo das ordenadas e a linha tracejada na cor verde. Procedendo-se novamente a uma análise visual do gráfico, verifica-se, de uma forma geral, que a magnitude dos erros planimétricos e altimétricos é maior dentro deste “período de sintonização”. Analisando-se os gráficos 12, 16, 19, 23, 27, 31, 35, 39 e 43 do anexo 2 verifica-se que tal afirmação não é válida apenas para o erro altimétrico obtido na ocupação da estação teste “KM03”.



O comportamento do erro planimétrico pode ser avaliado também por gráficos semelhantes aos 2(a) e 2(b). Estes gráficos permitem uma melhor visualização e quantificação da dispersão da solução DGPS com respeito a solução de referência, fornecida pelos levantamentos estáticos (seção 3.2.1). Para a elaboração do gráfico 2(a) foram consideradas todas as informações coletadas durante a ocupação da estação teste “AZMT”, enquanto que, para a confecção do gráfico 2(b) foram desconsideradas as informações referentes as 15 primeiras épocas desta coleta, eliminando conseqüentemente os dados registrados durante o já referido “período de sintonização”.

GRÁFICO 2(a) - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS CONSIDERANDO TODAS AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS – ESTAÇÃO TESTE “AZMT”

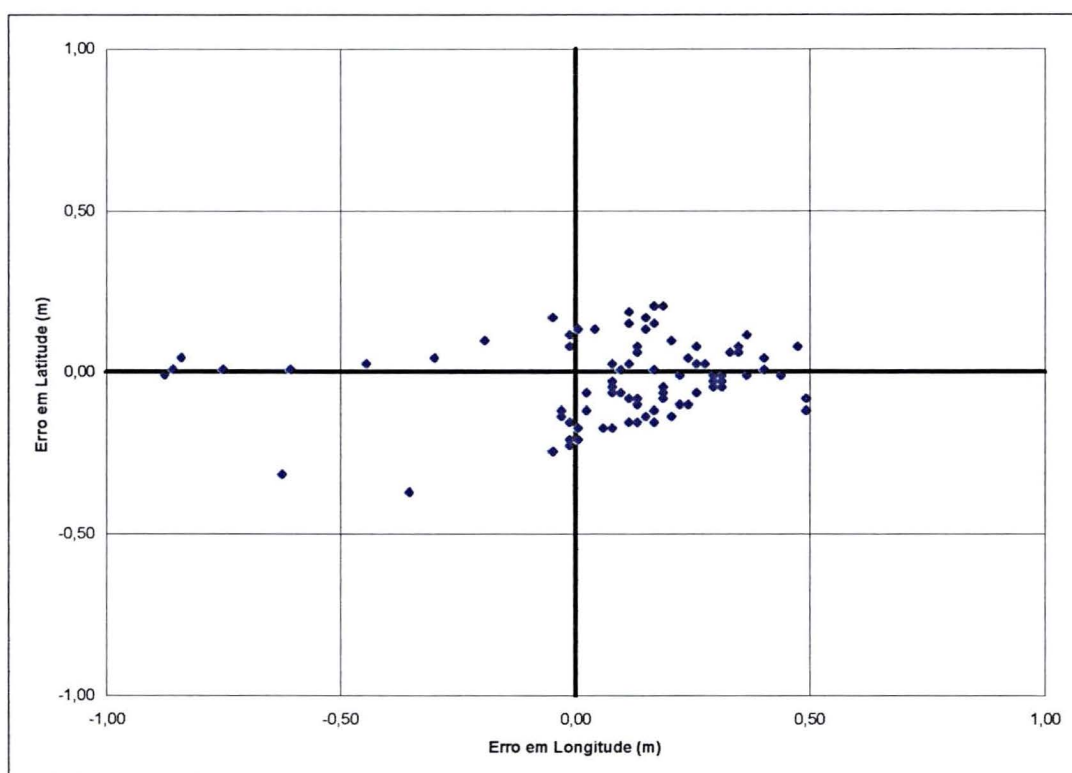
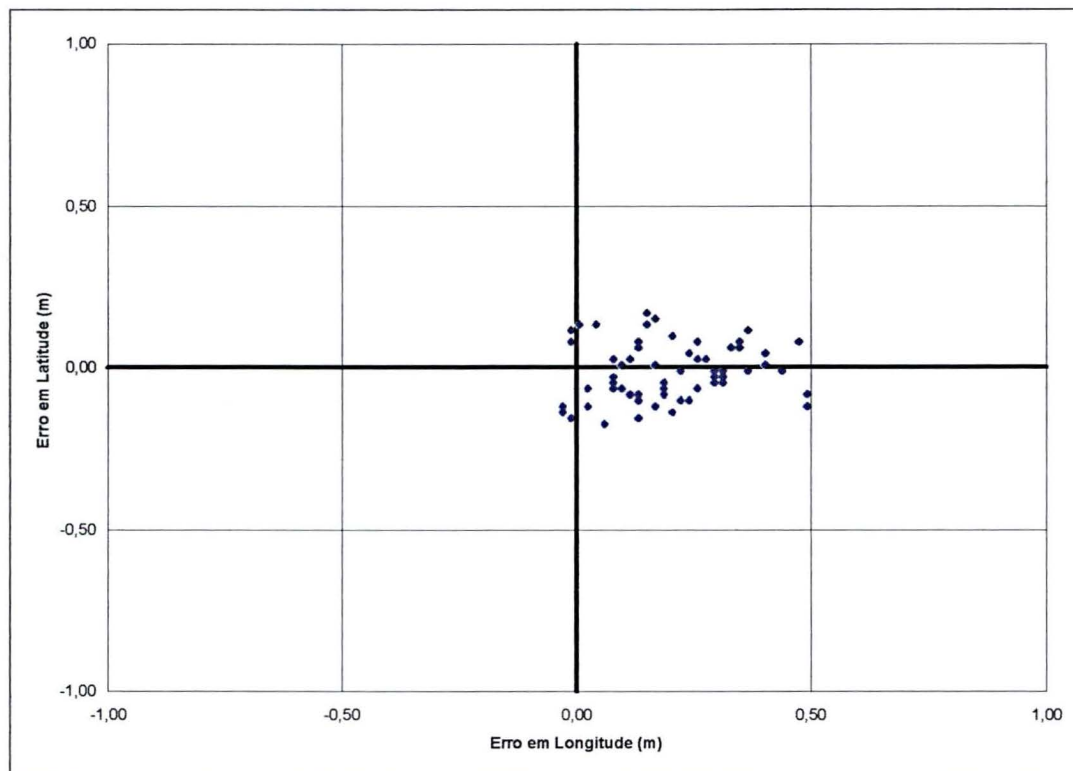


GRÁFICO 2(b) - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS DESCONSIDERANDO AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS DURANTE O PERÍODO DE SINTONIZAÇÃO – ESTAÇÃO TESTE “AZMT”



Como os gráficos 2(a) e 2 (b) foram construídos na mesma escala fica fácil perceber a melhora que ocorre no posicionamento planimétrico ao se eliminar os dados referentes as 15 primeiras épocas do levantamento. Observa-se no gráfico 2(a) que a solução DGPS que mais se afasta da origem, ou simplesmente do resultado obtido com os levantamentos estáticos (clássicos), é da ordem dos 88 cm, ao passo que no gráfico 2(b) esta variação fica em torno dos 50 cm. Este fato também pode ser constatado nos gráficos 3, 4, 7, 8, 10, 11, 14, 15, 18, 19, 22, 23, 26, 27, 30, 31, 34 e 35 apresentados no anexo 2.

Para fundamentar numericamente as análises visuais realizadas anteriormente foram construídas as tabelas 15 e 16. Na primeira, estão apresentados os valores da média aritmética ( $\bar{x}$ ) dos erros planimétricos e os seus respectivos desvios padrão ( $\sigma$ ). Nesta mesma tabela observa-se a presença de duas colunas que se reportam as médias aritméticas e duas colunas que se referem

aos desvios padrão. Tal formatação foi escolhida para ressaltar a degradação posicional que ocorre ao se aplicar os dados registrados durante o “período de sintonização”. Com respeito a formatação da tabela 16, ela segue os mesmos padrões apresentados pela tabela 15, porém referindo-se agora aos erros altimétricos.

TABELA 15 – LEVANTAMENTO DGPS – 1ª OCUPAÇÃO – MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO ERRO PLANIMÉTRICO

ESTAÇÃO TESTE	MÉDIA (T)	MÉDIA (S15)	DESVIO PADRÃO (T)	DESVIO PADRÃO (S15)
AZMT	0,267	0,223	0,173	0,104
PIL2	0,302	0,292	0,213	0,172
PIL3	0,325	0,267	0,213	0,136
JBOT	0,348	0,295	0,234	0,159
FOOT	1,344	1,077	0,829	0,463
TECS	0,361	0,269	0,265	0,101
KM03	0,218	0,179	0,137	0,090
EDIT	0,409	0,330	0,233	0,160
ROND	0,056	0,052	0,049	0,049
CHRI	0,577	0,571	0,173	0,143

Nota: o índice (T) se refere ao conjunto inteiro de observações; enquanto o índice (S15) refere-se ao conjunto de observações desconsiderando aquelas pertencentes ao “período de sintonização”.

Nota: valores em metros.

TABELA 16 – LEVANTAMENTO DGPS – 1ª OCUPAÇÃO – MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO ERRO ALTIMÉTRICO

ESTAÇÃO TESTE	MÉDIA (T)	MÉDIA (S15)	DESVIO PADRÃO (T)	DESVIO PADRÃO (S15)
AZMT	0,679	0,420	0,722	0,291
PIL2	1,907	1,655	1,288	1,194
PIL3	0,599	0,424	0,715	0,307
JBOT	0,739	0,507	0,998	0,345
FOOT	1,378	0,800	1,711	0,569
TECS	0,869	0,779	0,669	0,542
KM03	1,423	1,497	0,739	0,765
EDIT	0,623	0,604	0,438	0,419
ROND	0,861	0,713	0,611	0,544
CHRI	0,556	0,494	0,369	0,331

Nota: o índice (T) se refere ao conjunto inteiro de observações; enquanto o índice (S15) refere-se ao conjunto de observações desconsiderando aquelas pertencentes ao “período de sintonização”.

Nota: valores em metros.

De uma forma geral, verifica-se uma melhora no posicionamento planimétrico de aproximadamente 23,8% e na componente altimétrica de 30,1% ao se desconsiderar os dados compreendidos no “período de sintonização”.

Baseando-se nos resultados apresentados nas tabelas 15 e 16, e por conseguinte na premissa que a qualidade posicional DGPS é melhorada após o “período de sintonização” decidiu-se pelo cômputo do limite superior (LS) dos intervalos de confiança de 68,26% ( $\bar{x} + \sigma$ ), de 95,45% ( $\bar{x} + 2\sigma$ ) e de 99,73% ( $\bar{x} + 3\sigma$ ) para estas observações, ou seja, desconsiderou-se as 15 primeiras épocas de cada levantamento. Tais resultados encontram-se representados na tabela 17 e ilustrados nos gráficos 3 e 4.

TABELA 17 – LEVANTAMENTO DGPS – 1ª OCUPAÇÃO – LIMITE SUPERIOR DOS INTERVALOS DE CONFIANÇA - ERROS PLANIMÉTRICOS E ALTIMÉTRICOS

ESTAÇÃO TESTE	ERRO PLANIMÉTRICO			ERRO ALTIMÉTRICO		
	LS (68,26%)	LS (95,45%)	LS (99,73%)	LS (68,26%)	LS (95,45%)	LS (99,73%)
AZMT	0,327	0,431	0,535	0,711	1,002	1,293
PIL2	0,464	0,636	0,808	2,849	4,043	5,237
PIL3	0,403	0,539	0,675	0,731	1,038	1,345
JBOT	0,454	0,613	0,772	0,852	1,197	1,542
FOOT	1,540	2,003	2,466	1,369	1,938	2,507
TECS	0,370	0,471	0,572	1,321	1,863	2,405
KM03	0,269	0,359	0,449	2,262	3,027	3,792
EDIT	0,490	0,650	0,810	1,023	1,442	1,861
ROND	0,101	0,150	0,199	1,257	1,801	2,345
CHRI	0,714	0,857	1,000	0,825	1,156	1,487

Nota: valores em metros.

GRÁFICO 3 - LEVANTAMENTO DGPS – 1ª OCUPAÇÃO – LIMITE SUPERIOR DOS INTERVALOS DE CONFIANÇA – ERRO PLANIMÉTRICO

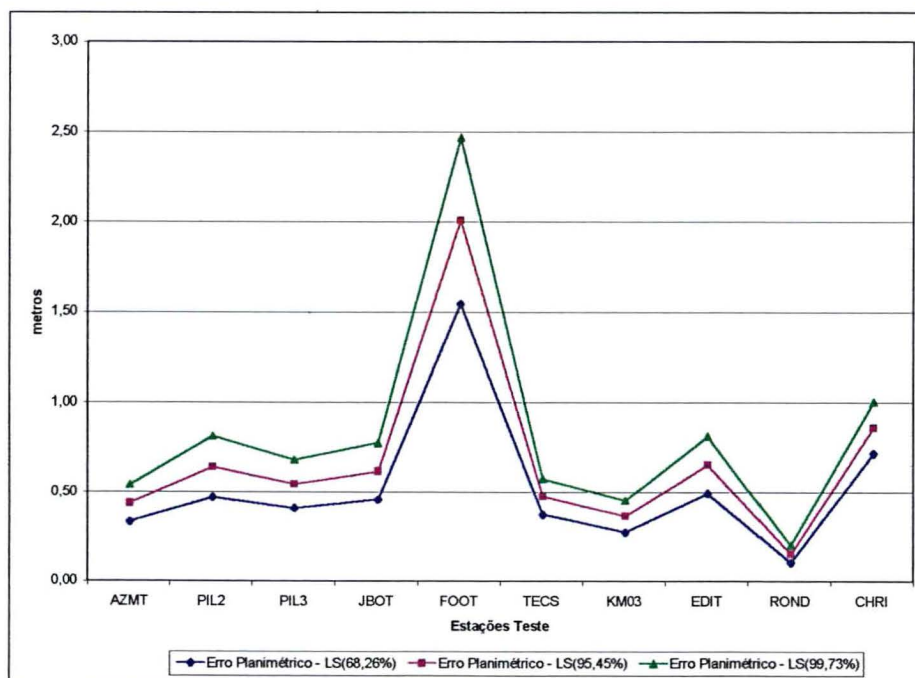
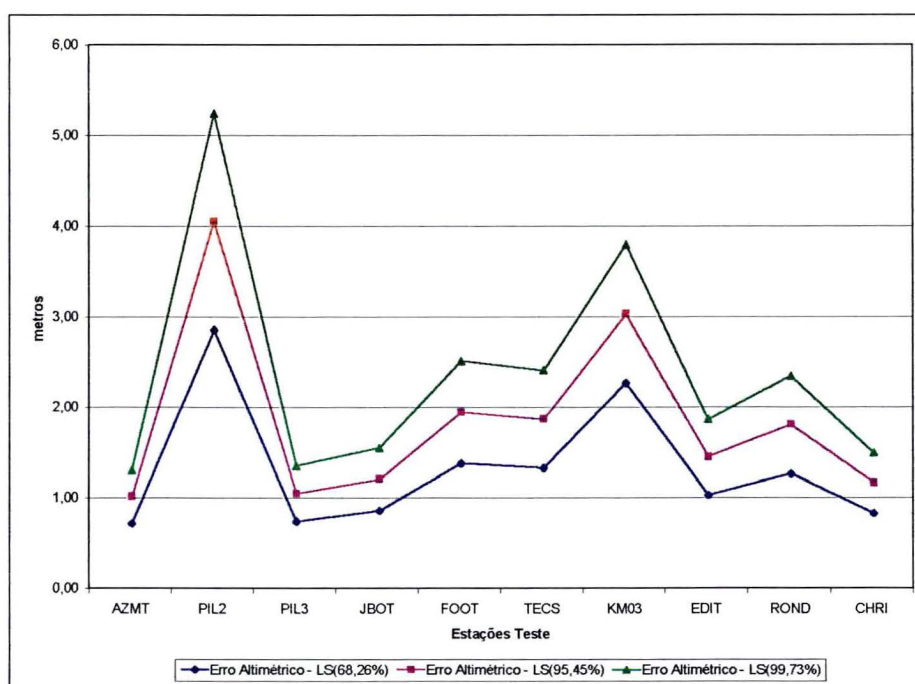


GRÁFICO 4 - LEVANTAMENTO DGPS – 1ª OCUPAÇÃO – LIMITE SUPERIOR DOS INTERVALOS DE CONFIANÇA – ERRO ALTIMÉTRICO



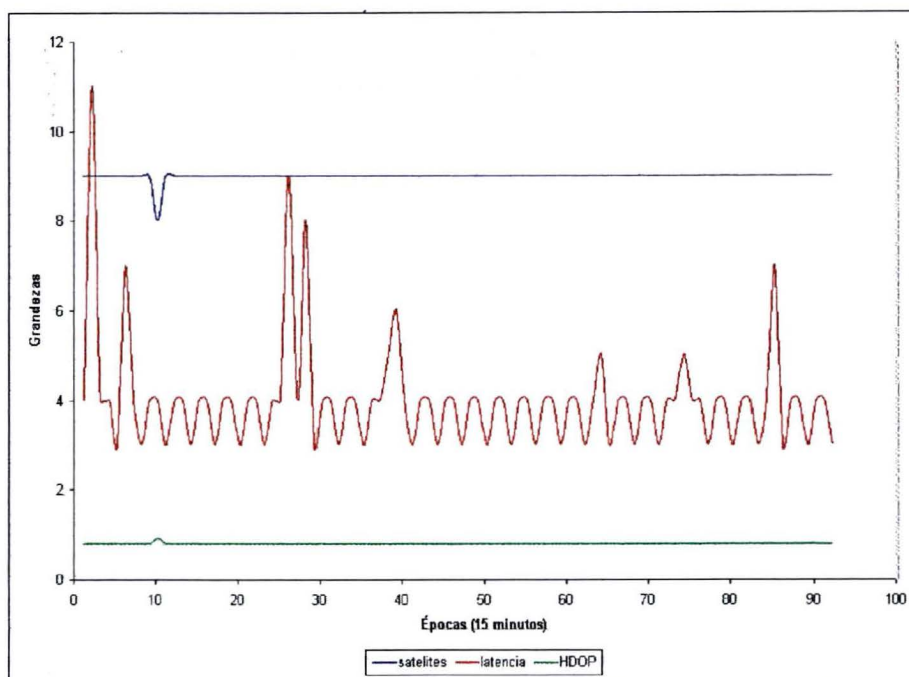
Com respeito ao erro planimétrico, observa-se no gráfico 3, a existência de resultados anômalos para duas estações teste, a “FOOT” e a “ROND”. Dentre todas as estações teste, a “FOOT” é a que mais possui obstáculos ao seu redor, descartando problemas de comunicação (recepção das correções diferenciais) e de possíveis ocorrências das perdas de sinal. Ela encontra-se a 4,25 Km da estação de referência, conforme indica-se na tabela 13. O gráfico 16 do anexo 2 mostra a ocorrência de picos de HDOP (*Horizontal Dilution of Precision*) de até 2,4 para a estação “FOOT”, sendo que o valor médio encontrado para as demais estações teste foi igual a 1. Com relação aos resultados obtidos na estação teste “ROND”, os mesmos não eram esperados visto que a comprimento da linha de base, para este caso, é de aproximadamente 25 Km. Ao contrário da estação teste “FOOT”, a ROND encontra-se em um lugar alto e aberto, livre de qualquer tipo de interferência. De uma maneira geral, salvo algumas exceções, o erro planimétrico na 1ª ocupação DGPS variou de 40 cm à 1 m. Contudo, mesmo considerando-se estas exceções, o erro cometido foi inferior a 2,5 m, valor este admissível para os posicionamentos DGPS.

Com relação aos resultados da componente altimétrica, verifica-se através do gráfico 4, que para 80% das estações teste o erro altimétrico foi inferior a 2 m. Infelizmente, a mensagem NMEA GPGGA não disponibiliza o valor do VDOP (*Vertical Dilution of Precision*), tornando assim mais difícil uma análise sobre o comportamento das soluções altimétricas nos levantamentos DGPS.

A partir das informações disponibilizadas pela mensagem NMEA GPGGA é possível construir também um gráfico contendo alguns parâmetros do rastreo, dentre eles tem-se: o HDOP, o número de satélites disponível no instante da ocupação e a latência. Um exemplo característico é o gráfico 5, o qual foi gerado a partir de dados coletados na estação teste "PIL3". Os gráficos para as demais estações teste encontram-se no anexo 2 (gráficos 01, 05, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36).

Segundo BRIONES (1999, p.81) assim como o fator distância degrada a qualidade dos posicionamentos em tempo real, o fator latência, também o faz. Porém, com os levantamentos DGPS realizados neste trabalho, não foi possível correlacionar o aumento da latência com a degradação em posição. Tal fato pode ser evidenciado ao se combinar os resultados apresentados nos gráficos 5 e 06 (do anexo2). Por exemplo, durante o período de tempo compreendido entre as épocas 62 e 65 existiu uma leve tendência no acréscimo da latência, contudo o erro planimétrico neste mesmo período encontra-se numa tendência de queda (ou decréscimo). Neste mesmo exemplo, é possível observar que o erro altimétrico entre as épocas 23 e 27 sofre uma ligeira redução, porém neste intervalo ocorre um aumento na latência. Deve-se esclarecer que em muitos casos a recíproca também é verdadeira. Tal situação indica a necessidade de estudos mais aprofundados com respeito a integridade do fator RRC ao longo do tempo.

GRÁFICO 5 – PARÂMETROS DO RASTREIO – 1ª OCUPAÇÃO  
ESTAÇÃO TESTE “PIL3”



#### 4.1.2 SEGUNDA OCUPAÇÃO DGPS

Para assegurar a integridade das soluções obtidas no primeiro levantamento DGPS (seção 4.1.1), realizou-se uma nova ocupação das estações teste. Neste caso, conforme apresentado na seção 3.3, a mensagem “GPGGA” foi coletada a cada 1 seg e as informações altimétricas a cada 10 seg.

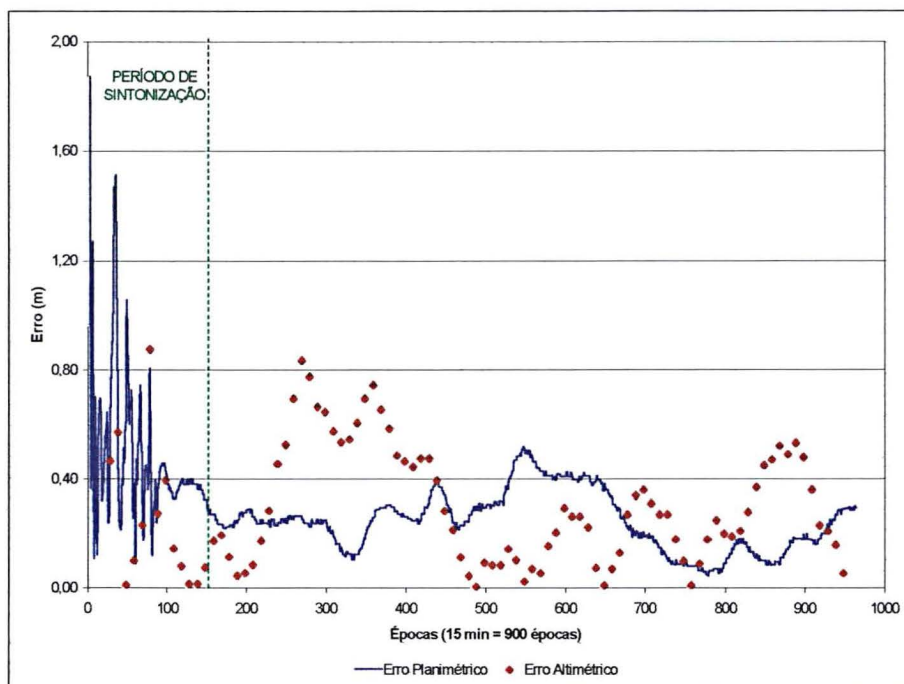
A apresentação dos resultados obtidos nesta ocupação seguem a mesma formatação exposta na seção 4.1.1, ou seja, foram construídas tabelas contendo informações referentes a variação dos erros planimétricos e altimétricos ao longo do tempo para as diferentes estações teste, e foram confeccionados os seus respectivos gráficos.

Observou-se na seção 4.1.1, que as soluções DGPS, da 1ª ocupação, eram instáveis nos instantes iniciais do rastreo. Conseqüentemente, o primeiro aspecto que foi analisado nesta etapa, refere-se a confirmação da existência ou não deste “período de sintonização” para os dados coletados durante a 2ª ocupação DGPS. Elaborou-se novamente os gráficos que exprimem o comportamento dos erros



planimétricos e altimétricos ao longo do tempo. O gráfico 6 apresenta estes erros referentes a ocupação da estação teste “AZMT”. Os gráficos dos erros planimétricos e altimétricos para as demais estações teste encontram-se no anexo 3 (gráficos 04, 08, 12, 16, 20, 24, 28, 32).

GRÁFICO 6 – ERRO PLANIMÉTRICO E ALTIMÉTRICO – 2ª OCUPAÇÃO ESTAÇÃO “AZMT”



Ao se proceder uma análise visual do gráfico 6 verifica-se que o comportamento dos erros planimétricos e altimétricos também é instável no início do rastreo. Com a análise dos resultados das demais estações teste (tabelas 23 e 24 do anexo 3), verificou-se que em apenas 20% das investigações realizadas foram observadas um decréscimo na qualidade posicional ao se eliminar os dados referentes ao “período de sintonização”. De uma forma geral, verifica-se uma melhora no posicionamento planimétrico de aproximadamente 31,6% e na componente altimétrica de 16,4% ao se eliminar as 150 primeiras épocas de dados. Tais análises vem comprovar a ocorrência de um “período de sintonização” nos levantamentos DGPS. Pode-se reafirmar também, que o comportamento dos erros planimétricos ao longo do tempo é mais suave do que dos erros altimétricos.

Na seqüência, partindo-se da proposição de que as melhores soluções DGPS encontram-se após a conclusão do “período de sintonização”, foi realizado o cálculo do limite superior (LS) desta solução para os intervalos de confiança de 68,26% ( $\bar{x} + \sigma$ ), de 95,45% ( $\bar{x} + 2\sigma$ ) e de 99,73% ( $\bar{x} + 3\sigma$ ), eliminando-se neste cômputo as primeiras 150 épocas de cada uma das seqüências de dados. Tais resultados encontram-se indicados na tabela 18 e ilustrados nos gráficos 7 e 8.

TABELA 18 – LEVANTAMENTO DGPS – 2ª OCUPAÇÃO – LIMITE SUPERIOR DOS INTERVALOS DE CONFIANÇA - ERROS PLANIMÉTRICOS E ALTIMÉTRICOS

ESTAÇÃO TESTE	ERRO PLANIMÉTRICO			ERRO ALTIMÉTRICO		
	LS (68,26%)	LS (95,45%)	LS (99,73%)	LS (68,26%)	LS (95,45%)	LS (99,73%)
AZMT	0,350	0,456	0,562	0,515	0,729	0,943
PIL2	0,828	1,088	1,348	1,308	1,873	2,438
PIL3	0,310	0,414	0,518	1,389	2,004	2,619
JBOT	0,368	0,463	0,558	1,699	2,437	3,175
FOOT	0,891	1,176	1,461	2,464	3,480	4,496
TECS	1,269	1,781	2,293	1,450	2,031	2,612
KM03	0,788	1,032	1,276	1,437	1,965	2,493
EDIT	2,396	3,403	4,410	3,138	4,464	5,790
ROND	0,496	0,598	0,700	1,230	1,617	2,004
CHRI	0,433	0,527	0,621	0,760	1,068	1,376

Nota: valores em metros.

GRÁFICO 7 - LEVANTAMENTO DGPS – 2ª OCUPAÇÃO – LIMITE SUPERIOR DOS INTERVALOS DE CONFIANÇA – ERRO PLANIMÉTRICO

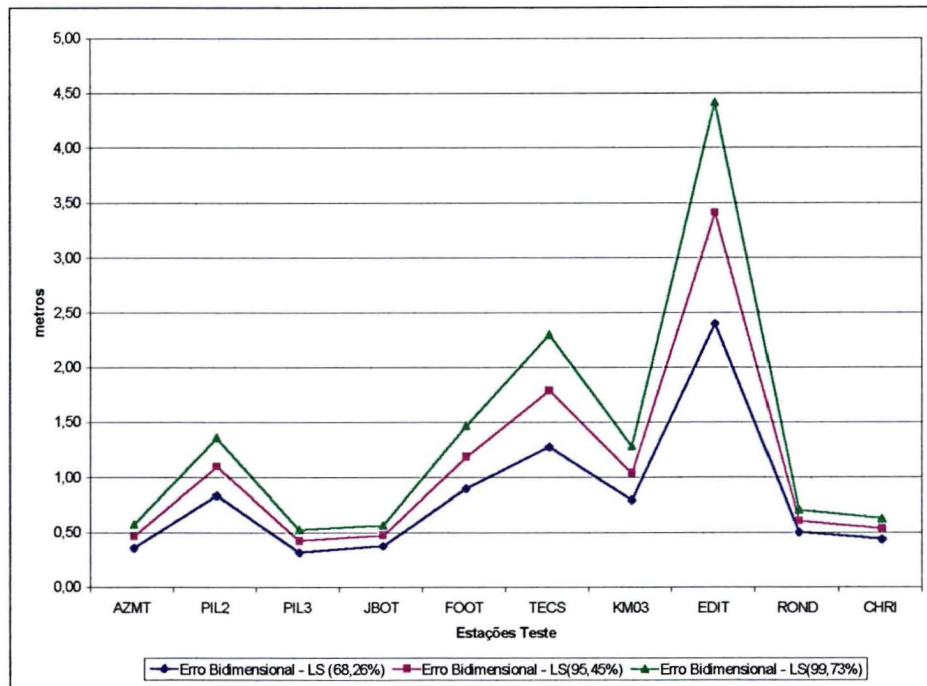
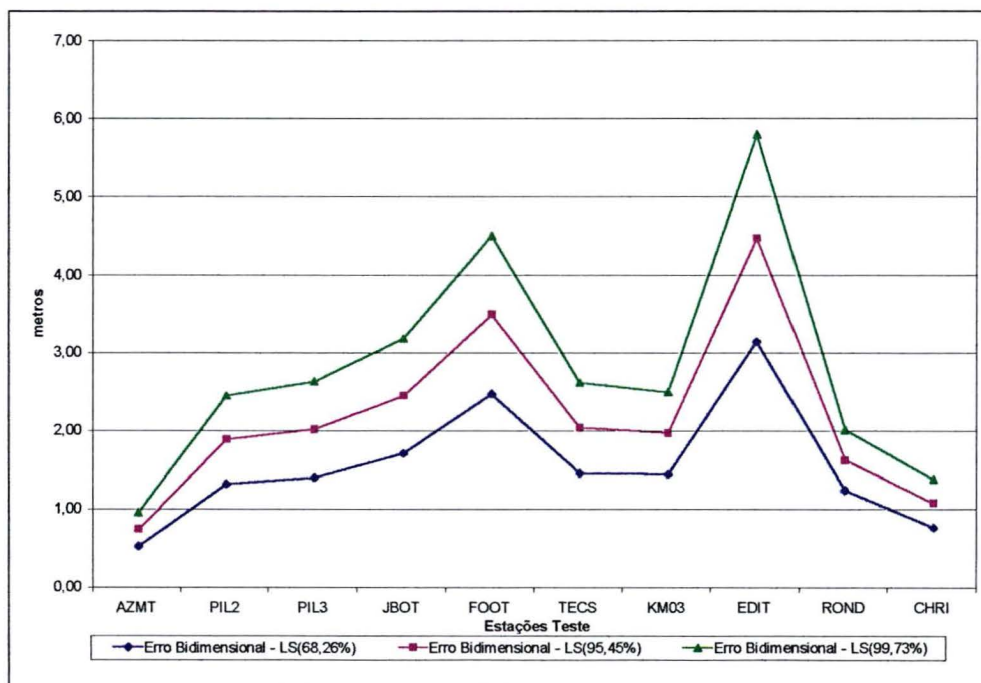


GRÁFICO 8 - LEVANTAMENTO DGPS – 2ª OCUPAÇÃO – LIMITE SUPERIOR DOS INTERVALOS DE CONFIANÇA – ERRO ALTIMÉTRICO



Analisando-se os gráficos 07 e 08, verifica-se a ocorrência de uma anormalidade nos resultados apresentados pela estação teste "EDIT". Nela, os erros

planimétricos e altimétricos, dentro de uma confiabilidade de 99%, ficaram em torno de 4,4 m e 5,8 m, respectivamente. Ao se analisar os resultados obtidos nas outras estações teste, considerando-se este mesmo padrão de confiabilidade, observa-se que em 80% das investigações os erros planimétricos e altimétricos não ultrapassaram a 1,5 m e 3,2 m, respectivamente. Durante a segunda ocupação da estação teste "EDIT" houveram inúmeros problemas referentes a recepção das correções diferenciais, o que possivelmente prejudicou a qualidade posicional. Mediante uma análise do gráfico 5 (do corpo do texto), dos gráficos 1, 5, 12, 16, 20, 24, 28 e 32 (presentes no anexo 2), e dos gráficos 3, 7, 11, 15, 19, 23, 27, 31 e 35 (presentes no anexo 3) observa-se que na 1ª ocupação DGPS ocorreram menores variações no número de satélites e de latência do que na 2ª ocupação. Tal fato, indica que o enlace de comunicação na 2ª ocupação não funcionou tão bem quanto na 1ª ocupação. Esta citação comprova a necessidade de se realizar novas investigações e estudos com respeito aos enlaces de comunicação.

#### **4.1.3 ANÁLISE CONJUNTA DAS OCUPAÇÕES DGPS**

A partir de uma análise conjunta dos resultados obtidos nas duas ocupações DGPS (seções 4.1.1 e 4.1.2) elaborou-se a tabela 19. Os elementos que a compõem referem-se aos maiores valores, considerando um intervalo de confiabilidade de 99,73%, dos erros planimétricos e altimétricos encontrados nas duas ocupações DGPS.

Ao se analisar os valores apresentados na tabela 19, verifica-se que o erro planimétrico variou de 0,562 m (estação teste "AZMT") à 4,41 m (estação teste "EDIT"), ao passo que erro altimétrico de 1,293 m (estação teste "AZMT") e 5,790 m (estação teste "EDIT"). Agora, ao se retirar da solução final DGPS os resultados anômalos obtidos pelas estações "problemáticas"<sup>16</sup>, percebe-se que para linhas de base cujo comprimento não excedam os 30 Km, o erro planimétrico deve variar de 0,6 m à 2,5m, enquanto o erro altimétrico deve oscilar entre 1,3 m até 4,5 m. Porém, deve-se salientar que para linhas de base de comprimento até 2 Km, os erros planimétricos e altimétricos devem ser inferiores a 0,8 m e 3,2 m, respectivamente.

TABELA 19 – SOLUÇÃO CONJUNTA DAS OCUPAÇÕES DGPS

ESTAÇÃO TESTE	ERRO PLANIMÉTRICO	ERRO ALTIMÉTRICO
AZMT	0,562	1,293
PIL2	1,348	5,237
PIL3	0,675	2,619
JBOT	0,772	3,175
FOOT	2,466	4,496
TECS	2,293	2,612
KM03	1,276	3,792
EDIT	4,410	5,790
ROND	0,700	2,345
CHRI	1,000	1,487

Nota: valores em metros.

Outro aspecto observado nas seções 4.1.1 e 4.1.2 diz respeito a ocorrência do chamado “período de sintonização” nos levantamentos DGPS. Verificou-se na 1ª ocupação uma melhora de 23,8% para o posicionamento planimétrico e de 30,1% para o posicionamento altimétrico, ao se eliminar os dados registrados durante o “período de sintonização”. Tal característica também foi evidenciada na 2ª campanha DGPS, na qual houve uma melhora de 31,6% no posicionamento planimétrico e 16,4% no posicionamento altimétrico. Portanto, é aconselhável que o usuário DGPS usufrua apenas deste tipo de posicionamento após ao término do “período de sintonização”.

## 4.2 RESULTADOS RTK E SUAS ANÁLISES

Conforme mencionado na seção 3.4, a investigação para a definição da correlação espacial na técnica RTK contou com apenas um levantamento. Contudo, em virtude de problemas ocorridos no computador da estação de referência, não foi possível realizar a ocupação das estações teste “EDIT”, “TECS” e “CHRI”. Os dados

<sup>16</sup> As estações teste problemáticas foram: “FOOT” (1ª ocupação), “PIL2” (1ª ocupação) e “EDIT” (2ª ocupação).

coletados para as demais estações teste encontram-se dispostos em arquivos de texto (\*.RTK).

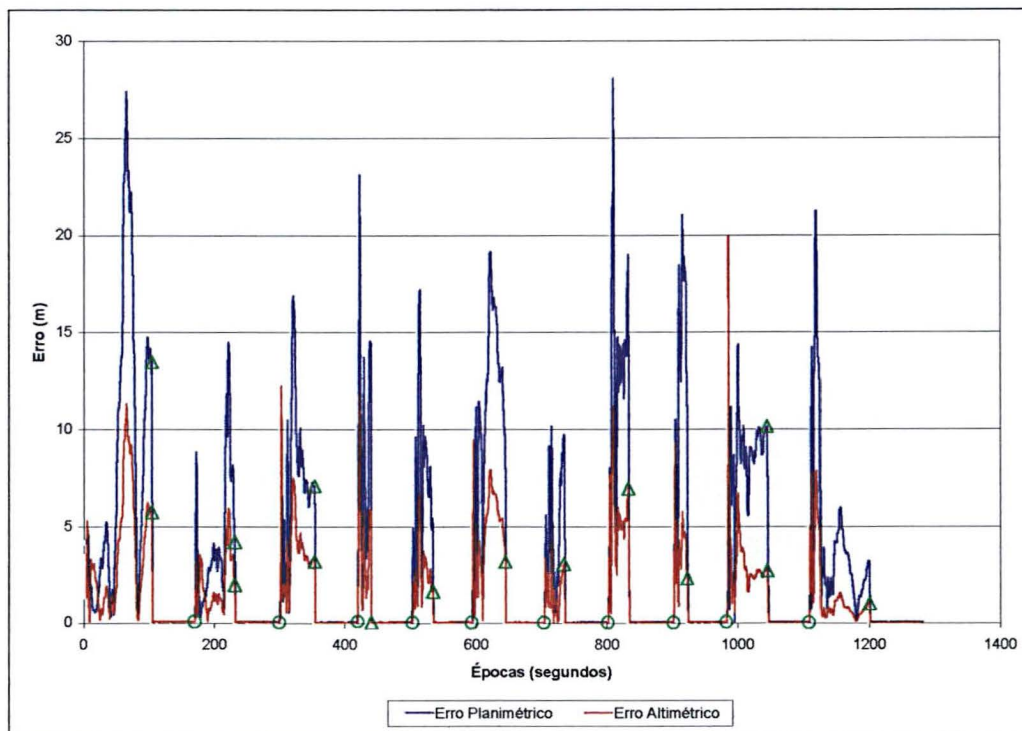
O tratamento dos dados RTK seguiu a mesma seqüência empregada para os dados DGPS, ou seja, foi realizada inicialmente a importação destes dados no ambiente *Excel* e em seguida procedeu-se o cálculo dos erros planimétricos e altimétricos, através das equações 4.1, 4.2 e 4.3, respectivamente. Neste caso, o processo de importação dos dados tornou-se mais simples, visto que os elementos (graus, minutos e segundos) que estabelecem os valores das latitudes e longitudes encontram-se separados por colunas nos arquivos \*.RTK (Figura 16).

FIGURA 16 – TRECHO DE UM ARQUIVO DE EXTENSÃO RTK

495325,000	-25	26	48,05236	-49	13	53,87915	928,0849	linha 1
495326,000	-25	26	47,97736	-49	13	53,95536	924,1205	linha 2
495327,000	-25	26	48,00681	-49	13	53,91308	928,1824	linha 3
.....								
nnnnnn,nnn	-25	26	48,08285	-49	13	53,91070	929,9206	linha n

Outro aspecto enfatizado na seção 3.4 diz respeito aos procedimentos realizados durante a ocupação das estações teste. Uma das características mais marcantes neste tipo de levantamento corresponde ao processo de “reinicialização” da solução RTK após terem sido decorridos aproximadamente 60 seg desde o instante da fixação das ambigüidades inteiras (N). Tal processo pode ser melhor visualizado no gráfico 9. Ele se refere aos dados coletados durante o rastreo da estação teste “AZMT”, sendo que a seqüência azul descreve o comportamento temporal do erro planimétrico e a seqüência vermelha o comportamento temporal do erro altimétrico. Ao se observar este gráfico, percebe-se que em certos intervalos de tempo (aproximadamente de 60 seg) os erros planimétricos e altimétricos estão praticamente sobrepostos ao eixo das abscissas. É dentro deste intervalo de tempo que se encontra as soluções compatíveis com o padrão RTK. Os gráficos das demais estações teste encontram-se no anexo 4 (gráficos 1, 3, 5, 7, 9 e 11).

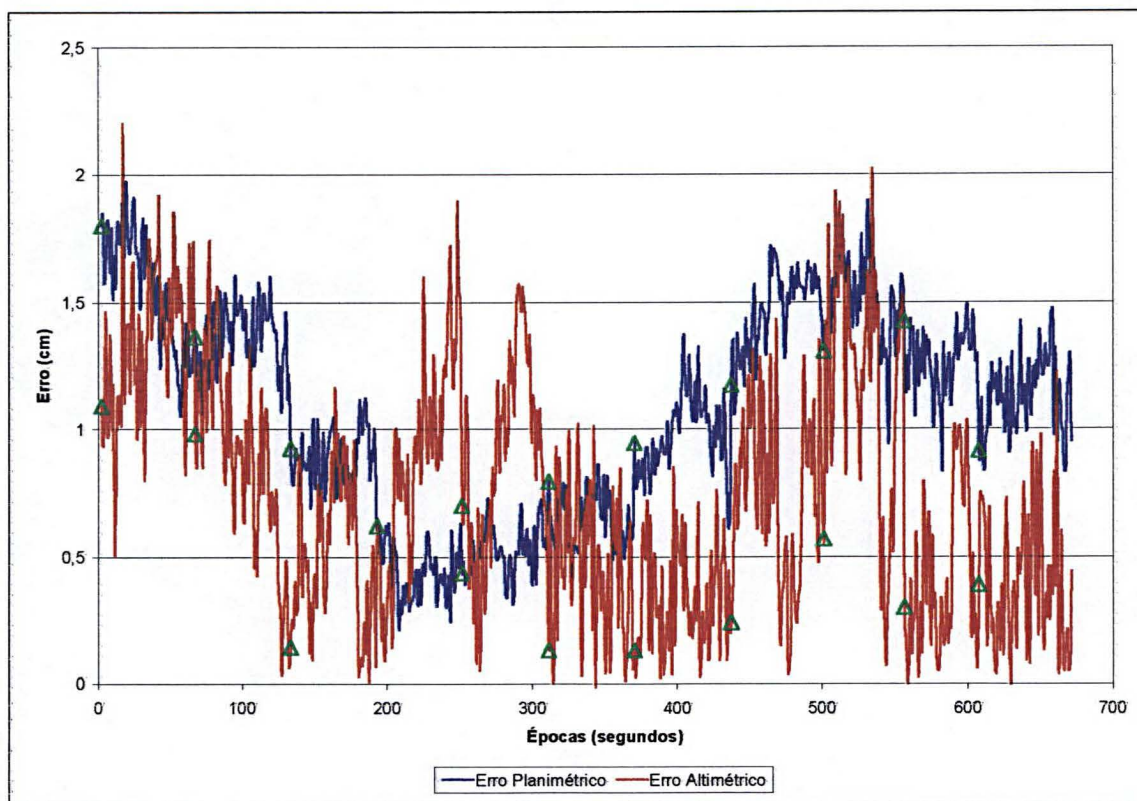
GRÁFICO 9 – PROCESSO DE REINICIALIZAÇÃO DA SOLUÇÃO NA TÉCNICA RTK - ESTAÇÃO TESTE “AZMT”



Nota:  $\Delta$  indica o instante de tempo no qual a ambigüidade inteira é fixada.  
 $\circ$  indica o instante de tempo no qual ocorreu a “reinicialização” da solução.

Portanto, para um estudo mais efetivo da precisão da solução RTK, foram gerados novamente os gráficos referentes aos erros planimétricos e altimétricos, considerando apenas os resultados com as ambigüidades inteiras resolvidas (ou fixadas). Estes gráficos apresentam pequenos trechos de dados com aproximadamente 60 seg cada um. O gráfico 10 é um exemplo característico. Nele, observa-se a existência de pequenos triângulos verdes, os quais foram inseridos manualmente nestes gráficos com a função de indicar os instantes em que ocorreram a fixação das ambigüidades inteiras (N) e conseqüentemente na separação das diversas soluções (ou trechos). O gráfico 10 foi constituído por dados coletados na estação teste “AZMT”.

GRÁFICO 10 – ERROS PLANIMÉTRICOS E ALTIMÉTRICOS NA SOLUÇÃO RTK - ESTAÇÃO TESTE “AZMT”



Ao se proceder uma análise visual do gráfico 10, observa-se que a magnitude dos erros altimétricos é menor do que a apresentada para os erros planimétricos. Tal situação também foi verificada nas estações teste “PIL3”, “JBOT” e “FOOT” (gráficos 4, 6 e 8, respectivamente, no anexo 4) . Contudo, verifica-se que a variação temporal dos erros planimétricos é mais suave com relação a variação temporal dos erros altimétricos. No tocante ao erro altimétrico da estação teste “ROND” (gráfico 12 do anexo 4) , observou-se que os resultados das 4 soluções RTK não são homogêneos entre si (ocorre “saltos” entre uma solução e a outra), no entanto o comportamento dentro de cada solução é estável.

Nas tabelas 20 e 21 estão representadas as médias aritméticas dos erros planimétricos e altimétricos para cada estação teste, os desvios padrão correspondentes e os limites superiores destas soluções para os intervalos de confiança de 68,26% ( $\bar{x} + \sigma$ ), de 95,45% ( $\bar{x} + 2\sigma$ ) e 99,73% ( $\bar{x} + 3\sigma$ ).



TABELA 20 – ERRO PLANIMÉTRICO NA TÉCNICA RTK

ESTAÇÃO TESTE	ERRO PLANIMÉTRICO				
	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	LS (68,26%)	LS (95,45%)	LS (99,73%)
AZMT	1,077	0,410	1,487	1,897	2,307
PIL2	0,982	0,403	1,385	1,788	2,191
PIL3	1,727	0,405	2,132	2,537	2,942
JBOT	1,509	0,492	2,001	2,493	2,985
FOOT	2,485	0,884	3,369	4,253	5,137
KM03	2,929	1,188	4,117	5,305	6,493
ROND	2,295	1,027	3,322	4,349	5,376

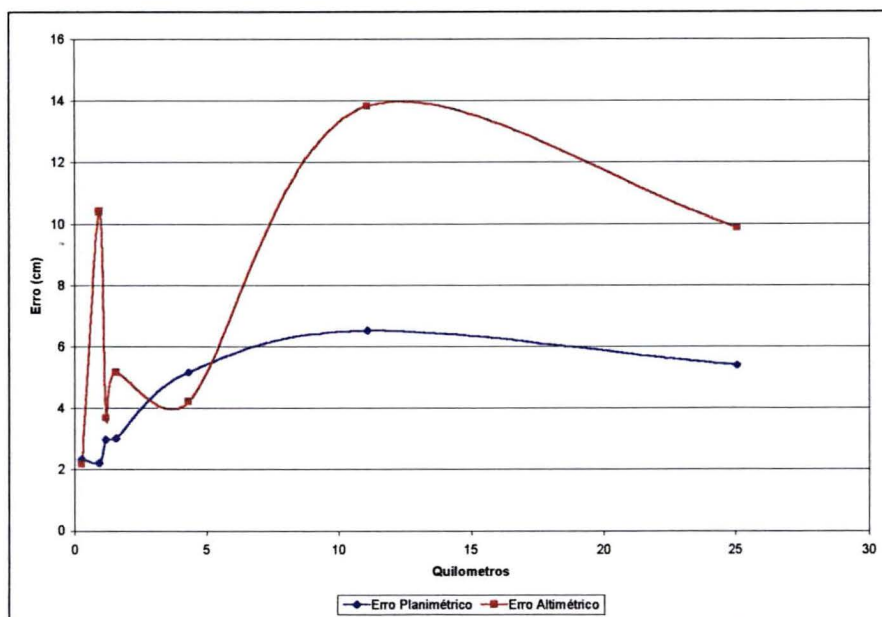
Nota: valores em centímetros.

TABELA 21 – ERRO ALTIMÉTRICO NA TÉCNICA RTK

ESTAÇÃO TESTE	ERRO ALTIMÉTRICO				
	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	LS (68,26%)	LS (95,45%)	LS (99,73%)
AZMT	0,737	0,467	1,204	1,671	2,138
PIL2	4,638	1,913	6,551	8,464	10,377
PIL3	1,502	0,715	2,217	2,932	3,647
JBOT	1,393	1,244	2,637	3,881	5,125
FOOT	1,398	0,929	2,327	3,256	4,185
KM03	9,205	1,533	10,738	12,271	13,804
ROND	2,610	2,418	5,028	7,446	9,864

Nota: valores em centímetros.

GRÁFICO 11 – LIMITES SUPERIORES (99,73%) DAS SOLUÇÕES RTK



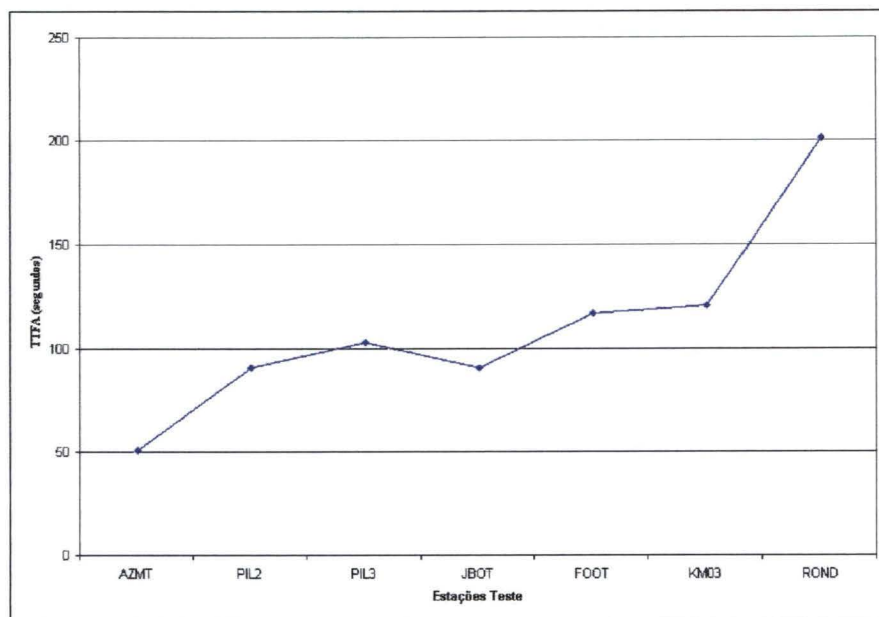
No gráfico 11 estão ilustrados os valores dos limites superiores das soluções RTK, considerando apenas o intervalo de confiança de 99,73%. Ao se analisar este gráfico, verifica-se um leve acréscimo na magnitude do erro planimétrico, conforme a estação teste distância-se da estação de referência (RM03). Tal efeito denomina-se correlação espacial. Verifica-se que para as estações teste próximas a estação de referência esta correlação espacial é pequena e que a medida que a estação teste se afasta dela, esta correlação aumenta, salvo algumas exceções. Elaborou-se também os chamados intervalos de confiança. Com estes, o usuário de um sistema RTK poderá saber *a priori* o valor aproximado do seu erro planimétrico, em função do seu afastamento com relação a estação de referência. De uma maneira geral, para linhas de base de comprimento inferior a 1,5 Km, o erro planimétrico será menor que 3 cm; ao passo que para linhas de base superiores a este comprimento (neste caso até 25 Km), o erro planimétrico ficará entre 3 e 7 cm.

Com respeito aos erros altimétricos, observa-se no gráfico 11, a ocorrência de resultados anômalos para duas estações teste, a “PIL2” e a “KM03”. Para a estação teste “PIL2” a diferença entre a solução RTK e a fornecida pelo levantamento estático foi da ordem de 10,4 cm, enquanto para a estação teste

“KM03” esta diferença foi de 13,8 cm. Tomando como base estas diferenças, levantou-se a hipótese de que a componente altimétrica destas estações teste tinham sido processadas erroneamente na seção 3.2.1. Porém, esta hipótese foi de pronto recusada em face de que em trabalhos anteriores o desnível geométrico entre as estações teste “PIL3” e “PIL2” é da ordem de  $-1$  cm, ao passo que o desnível geométrico determinado na seção 3.2.1, para estas mesmas estações teste, foi de  $-1,2$  cm. Contudo, visando estabelecer parâmetros para o usuário de um sistema RTK, pode-se dizer que o erro altimétrico, para linhas de base de até 25 Km, varia de aproximadamente 2 a 15 cm. Cabe resaltar que o erro altimétrico é de uma forma geral de 1,5 a 2 vezes o valor do erro planimétrico (seção 2.1.4.3), desta forma os erros obtidos mostram-se praticamente dentro do estabelecido para o sistema GPS.

Outro estudo realizado com os dados provenientes do levantamento RTK foi a determinação da correlação entre o aumento do comprimento da linha de base e o tempo necessário para que as ambigüidades inteiras (TTFA) fossem resolvidas (ou fixadas). Tomando por base o gráfico 12, o TTFA corresponde ao período de tempo despendido entre uma “reinicialização” da solução (○) e a próxima fixação das ambigüidades (Δ). No gráfico 12 encontram-se representados os valores médios dos tempos necessários para a fixação das ambigüidades inteiras, em cada estação teste. Ressalta-se que nestas ocupações o número de satélites variou de 7 a 9. Analisando o gráfico 12, percebe-se que a medida que a estação móvel distancia-se da estação de referência (RM03) há um aumento no tempo de fixação das ambigüidades inteiras (TTFA). Constata-se que a estação teste “AZMT” necessitou em média 50 seg para a realização deste processo, enquanto que a estação teste “ROND” necessitou em média de 201 seg.

GRÁFICO 12 – TEMPO DE FIXAÇÃO DAS AMBIGÜIDADES INTEIRAS (TTFA)



### 4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DGPS E RTK

Mediante os resultados apresentados nas seções 4.1 e 4.2 pode-se constatar que, para um intervalo de confiabilidade de 99,73%, o DGPS possibilitou erros planimétricos inferiores a 4,5 m, ao passo que na técnica RTK estes erros não ultrapassaram a 7 cm. Com respeito aos erros altimétricos, verificou-se que os mesmos são inferiores a 4,5 m na técnica DGPS e a 15 cm na técnica RTK. Cabe salientar que tais valores apresentam-se dentro dos padrões preconizados na literatura (seção 2.1.4.3). Fica evidenciado então que a solução RTK, por empregar nos seus cálculos as correções diferenciais da fase das portadoras, é mais precisa com relação a DGPS (código suavizado pela portadora).

Outro aspecto destacado nas seções 4.1 e 4.2 refere-se ao tempo necessário que o usuário DGPS ou RTK tem que aguardar para usufruir da máxima potencialidade destes sistemas, ou simplesmente, das melhores soluções. Na técnica DGPS este tempo foi designado de “período de sintonização”, ao passo que na técnica RTK o mesmo reporta-se ao período necessário para a fixação das ambigüidades inteiras (TTFA). Verificou-se que o “período de sintonização” corresponde a um intervalo de tempo de aproximadamente 150 seg. Com relação ao

tempo de fixação das ambigüidades inteiras (TTFA) constatou-se que o seu valor aumenta progressivamente, a medida que a estação móvel se afasta da estação de referência. Neste caso, observou-se que para linhas de base de até 1,5 Km de comprimento, a magnitude do TTFA deve variar de 50 a 100 seg; e que para linhas de base de 1,5 a 11 Km este valor não deve superar os 120 seg.

Verificou-se que, para linhas de base de até 11 Km, a técnica RTK permitiu soluções mais precisas do que as DGPS, e ainda em um menor tempo de ocupação. Para a linha de base de 25 Km (estação teste "ROND") foram necessários 201 seg em média para que as ambigüidades inteiras fossem resolvidas, tempo este superior ao "período de sintonização" do DGPS. Contudo, houve um ganho substancial em acurácia, ou seja, 7 cm para a técnica RTK e 4,5 m para o DGPS (posicionamento planimétrico).

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Uma das características marcantes na área tecnológica diz respeito a busca incessante por novos métodos e técnicas com vistas a otimização de tarefas e ao barateamento de custos. Na área referente a Engenharia Cartográfica isto não é diferente. Procura-se, cada vez mais, que os processos de aquisição das informações e de geração dos resultados sejam realizados praticamente em tempo real. É dentro deste contexto, que a aplicação das técnicas DGPS e RTK nos levantamentos de campo têm se mostrado bastante eficiente.

O objetivo principal dessa dissertação consistiu na investigação da acurácia e da correlação espacial nas técnicas DGPS e RTK, ou seja, tentou-se definir parâmetros que relacionassem a degradação em posição com o aumento progressivo do comprimento da linha de base.

Para a técnica DGPS, verificou-se que a solução, para linhas de base de até 30 Km, não possui um comportamento uniforme. Foi observado na 1ª ocupação que a estação teste "ROND", apesar de se encontrar a 25 Km da estação de referência (RM03), apresentou melhores resultados que a estação teste "AZMT" distante apenas 200m da estação de referência. Tais circunstâncias dificultaram num estabelecimento fiel da correlação espacial para esta técnica. Contudo, constatou-se que, para estas linhas de base, o erro planimétrico não deve ser superior a 4,5 m ou 2,5 m ao se desconsiderar os resultados das estações "problemáticas", enquanto que o erro altimétrico não deve ultrapassar os 6 m.

Outro aspecto observado na técnica DGPS refere-se a ocorrência do "período de sintonização". Verificou-se uma melhora na qualidade do posicionamento de um torno de 20% a 30% ao se eliminar do cômputo final os dados coletados durante este período. Recomenda-se portanto que o usuário DGPS torne operacional o seu sistema (comece a coletar as informações em campo) após ao término do "período de sintonização", o que corresponde aproximadamente a 150 seg contados a partir do início do rastreo.

A relação entre a degradação posicional e o aumento do comprimento da linha de base ficou mais evidente na técnica RTK (gráfico 11). Contudo, devido a ocorrência de pequenas flutuações na solução final, optou-se apenas pela definição

dos chamados intervalos de confiança. De uma maneira geral, para linhas de base de comprimento inferior a 1,5 Km, o erro planimétrico será menor que 3 cm; ao passo que para linhas de base superiores a este comprimento (neste caso até 25 Km), o erro planimétrico ficará entre 3 e 7 cm.

Conforme apresentado na seção 2.1.4.3.3, o princípio da técnica RTK fundamenta-se na transmissão/recepção das correções da fase das portadoras e por conseguinte na resolução rápida das ambigüidades inteiras (OTF). Aproveitando-se das informações de tempo disponíveis nos arquivos \*.RTK calculou-se o período necessário para a fixação das ambigüidades inteiras (TTFA). Observou-se um aumento progressivo na magnitude do TTFA a medida que a estação móvel se afasta da estação de referência, sendo este valor variante entre aproximadamente 50 e 200 seg, para uma linha de base de até 25 Km.

Recomenda-se também a realização das seguintes investigações, a saber:

- (a) realizar a ocupação de outras estações teste (em várias direções), com vistas a uma melhor quantificação do comportamento dos erros planimétricos e altimétricos a medida que as estações de referência e a móvel se afastam;
- (b) ocupação das estações teste por um período de algumas horas, de forma a que se possa correlacionar, com maior eficácia, a mudança da geometria dos satélites com o erro posicional;
- (c) coletar as informações de temperatura e pressão tanto na estação de referência quanto na estação teste, com a finalidade de estabelecer o relacionamento entre o comportamento do erro posicional e as condições atmosféricas locais;
- (d) realizar estudo semelhante ao aplicado neste trabalho, porém variando a posição geográfica da estação de referência, colocando-a preferencialmente em um ponto mais elevado e conseqüentemente livre de obstruções;

- (e) aplicar outro tipo de enlace de comunicação no processo de transmissão e recepção das correções diferenciais (p.ex. ondas portadoras das rádios FM ou telefonia celular) para quantificar a influência destes no posicionamento em tempo real;
- (f) aplicar a técnica PDGPS em um estudo semelhante ao realizado neste trabalho;
- (g) realizar um estudo mais efetivo sobre a influência da latência no erro posicional, tendo em vista que a SA encontra-se desligada;
- (h) aplicar as técnicas DGLONASS e RTKGLONASS no posicionamento em tempo real, tendo em vista que o sistema GLONASS tem sido muito empregado por parte da comunidade cartográfica; e
- (i) realizar a integração da técnica RTK com os programas computacionais tipo CAD, visando um projeto de atualização cartográfica em tempo real.



# ANEXO 1

## Programa para leitura dos arquivos no padrão NMEA-GPGGA

```

Program GPGGA;
Uses Crt;
Var
{***** declaração das variáveis do arquivo BASE *****}
código : String[6];   { código }
v1  : Char;          { virgula 1 }
hors : String[2];    { hora em string }
mins : String[2];    { minuto em string }
segs : String[2];    { segundo em string }
dseg : String[3];    { decimo de segundo em string }
v2  : Char;          { virgula 2 }
glats: String[2];    { grau da latitude em string }
mlats: String[8];    { minuto e decimo da latitude em string }
v3  : Char;          { virgula 3 }
slat : Char;         { sinal da latitude }
v4  : Char;          { virgula 4 }
glons: String[3];    { grau da longitude em string }
mlons: String[8];    { minuto e decimo da longitude em string }
v5  : Char;          { virgula 5 }
slon : Char;         { sinal da longitude }
v6  : Char;          { virgula 6 }
ind  : Char;         { indicador 1-GPS 2-DGPS }
v7  : Char;          { virgula 7 }
nsat : String [2];   { numero de satelites }
v8  : Char;          { virgula 8 }
hdop : String [4];   { HDOP }
v9  : Char;          { virgula 9 }
hant : String [6];   { altura da antena string}
v10 : Char;          { virgula 10 }
unia : Char;         { unidade de medida da altura da antena M-metro }
v11 : Char;          { virgula 11 }
hgeó : String[6];    { altura geoidal }
v12 : Char;          { virgula 12 }
unig : Char;         { unidade de medida da altura geoidal ? M-metro }
v13 : Char;          { virgula 13 }
age  : String[3];    { idade dos dados }
v14 : Char;          { virgula 14 }
ret  : String[3];    { retorno de carro }

{***** declaração das variáveis do programa *****}
nome : String[8];
nomecomp : String[12];
etxt : String[4];
ehor : String[4];
elat : String[4];
elon : String[4];
esat : String[4];
edop : String[4];
ealt : String[4];
eage : String[4];

{***** declaração das variáveis tipo real *****}
glatr : Real;
mlatr : Real;
glonr : Real;
mlonr : Real;
latr  : Real;
lonr  : Real;
inteiro : Integer;

{***** declaração das variáveis tipo arquivos *****}
fxt : Text;          { arquivo original  ??????.TXT }
fhor : Text;         { arquivo de hora    ??????.HOR }
flat : Text;         { arquivo de latitude  ??????.LAT }
flon : Text;         { arquivo de longitude  ??????.LON }
fsat : Text;         { arquivo de nsatelites  ??????.SAT }

```

```

fdop : Text;      { arquivo de hdop      ????????.DOP }
falt : Text;      { arquivo de altura ant ????????.ALT }
fage : Text;      { arquivo de idade dados ????????.AGE }

```

```

begin
If ParamSTR(1)=" then
begin
Write(#7);
WriteLn('Falta de parametros. ');
WriteLn('O arquivo deve ser .TXT');
WriteLn('Digite o nome do arquivo sem a extens#o .TXT');
WriteLn('EXPLO: C:\>GPGGA JBOT');
Halt(1);
end;
ClrScr;
nome:=ParamStr(1);
etxt:='.TXT';
nomecomp:=nome+etxt;
Assign(ftxt, nomecomp);
{$I-} Reset(ftxt); {$I+}
If IOResult <> 0 Then
begin
Write(#7);
Write('Erro na abertura do arquivo ',nomecomp,' !!!');
Repeat Until Keypressed;
Halt(1);
end;

ehor:='.HOR';
elat:='.LAT';
elon:='.LON';
esat:='.SAT';
edop:='.DOP';
ealt:='.ALT';
eage:='.AGE';

Assign(ftxt, nome+etxt);
{$I-} Reset(ftxt); {$I+}
Assign(fhor, nome+ehor);
{$I-} Rewrite(fhor); {$I+}
Assign(flat, nome+elat);
{$I-} Rewrite(flat); {$I+}
Assign(flon, nome+elon);
{$I-} Rewrite(flon); {$I+}
Assign(fsat, nome+esat);
{$I-} Rewrite(fsat); {$I+}
Assign(fdop, nome+edop);
{$I-} Rewrite(fdop); {$I+}
Assign(falt, nome+ealt);
{$I-} Rewrite(falt); {$I+}
Assign(fage, nome+eage);
{$I-} Rewrite(fage); {$I+}

WriteLn('Criando os arquivos...');

While Not EOF(ftxt) do
begin
ReadLn(ftxt,codigo,v1,hors,mins,segs,dseg,v2,glats,mplats,v3,slat,v4,
glons,mllons,v5,slon,v6,ind,v7,nsat,v8,hdop,v9,hant,v10,
unia,v11,v12,unig,v13,age,ret);

WriteLn(fhor,hors+mins+segs);

Val(glats,glatr,inteiro);
Val(mplats,mlatr,inteiro);
Val(glons,glonr,inteiro);
Val(mllons,mllonr,inteiro);
If slat = 'S' then
latr := - (glatr+mлатr/60)
Else
latr := (glatr+mлатr/60);
If slon = 'W' then

```

```
lonr := - (glonr+mlonr/60)
Else
lonr := (glonr+mlonr/60);

WriteLn(flat,latr:3:8);
WriteLn(flon,lonr:4:8);
WriteLn(fsat,nsat);
WriteLn(fdop,hdop);
WriteLn(falt,hant);
WriteLn(fage,age);
end;
Close(ftxt);
Close(fhor);
Close(flat);
Close(flon);
Close(fsat);
Close(fdop);
Close(falt);
Close(fage);

Write(#7);
Write(#7);
WriteLn('Pronto.');
```

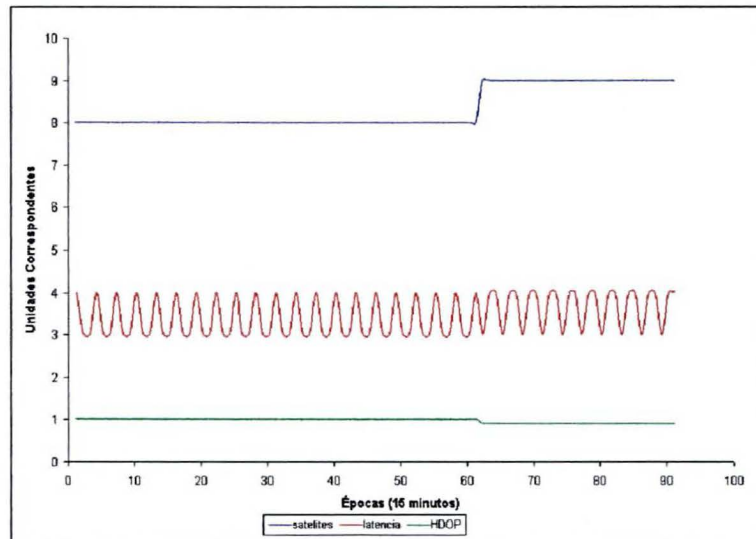
```
end.
```

## ANEXO 2

### LEVANTAMENTO DGPS – 1ª OCUPAÇÃO

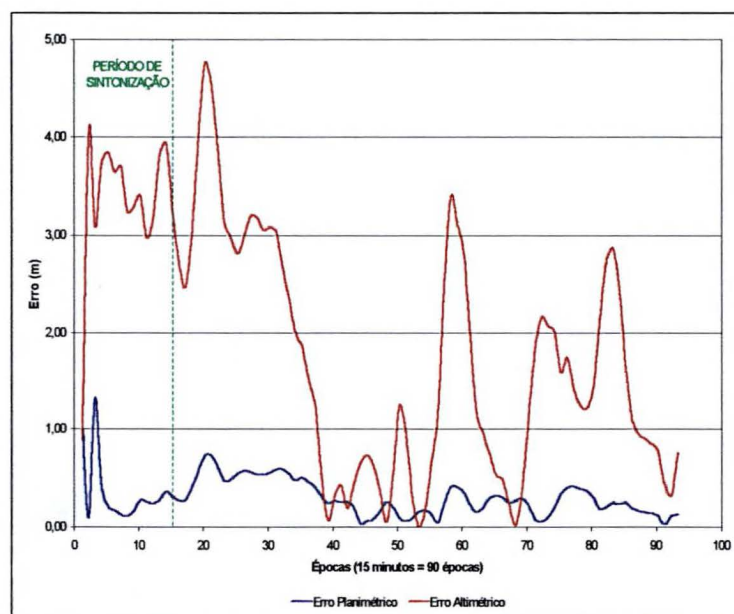
#### (A) Estação Teste “AZMT”

GRÁFICO 01 – PARÂMETROS DO RASTREIO ESTAÇÃO TESTE “AZMT”

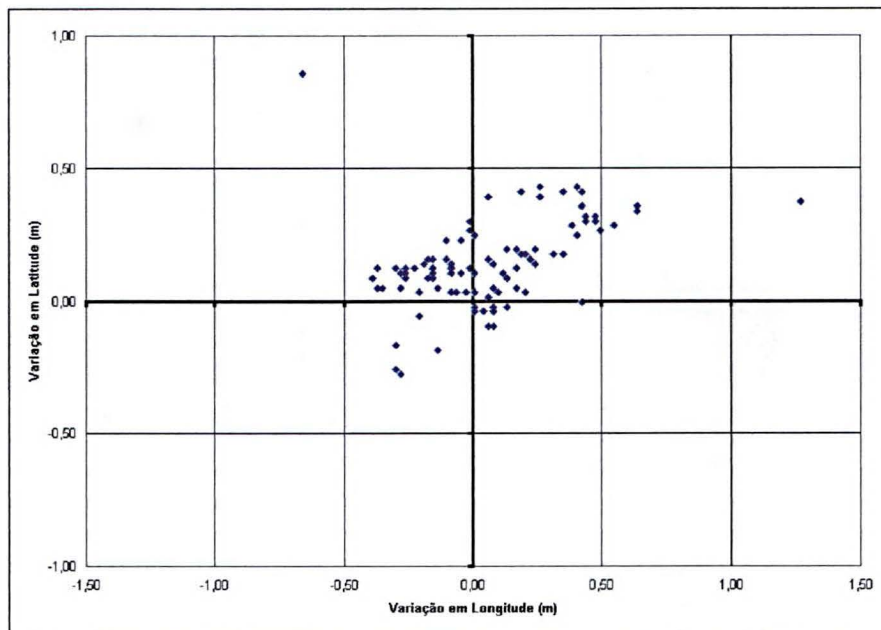


#### (B) Estação Teste “PIL2”

GRÁFICO 02 – ERRO PLANIMÉTRICO E ALTIMÉTRICO ESTAÇÃO TESTE “PIL2”



**GRÁFICO 03 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS CONSIDERANDO TODAS AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS – ESTAÇÃO TESTE “PIL2”**



**GRÁFICO 04 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS DESCONSIDERANDO AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS DURANTE O PERÍODO DE SINTONIZAÇÃO – ESTAÇÃO TESTE “PIL2”**

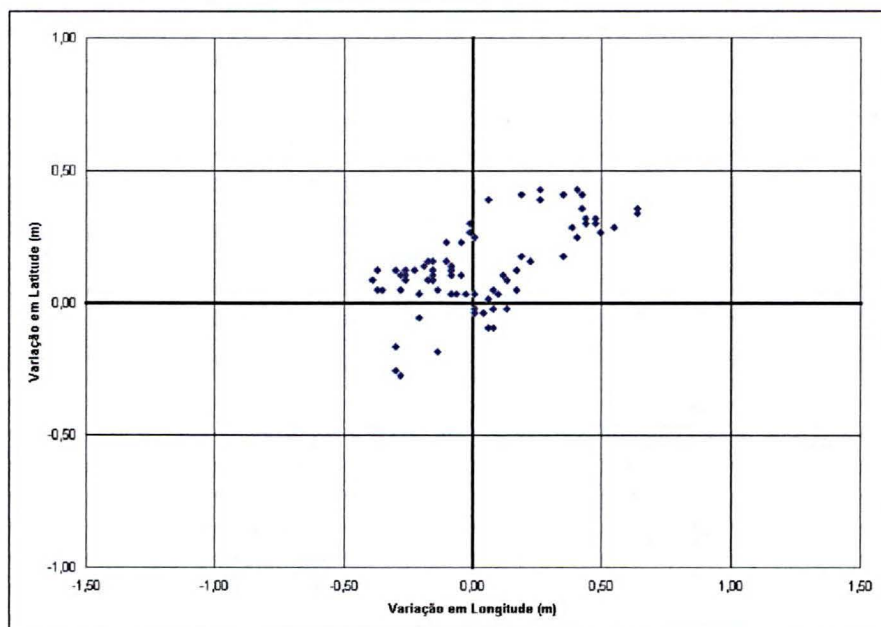


GRÁFICO 05 – PARÂMETROS DO RASTREIO ESTAÇÃO TESTE “PIL2”

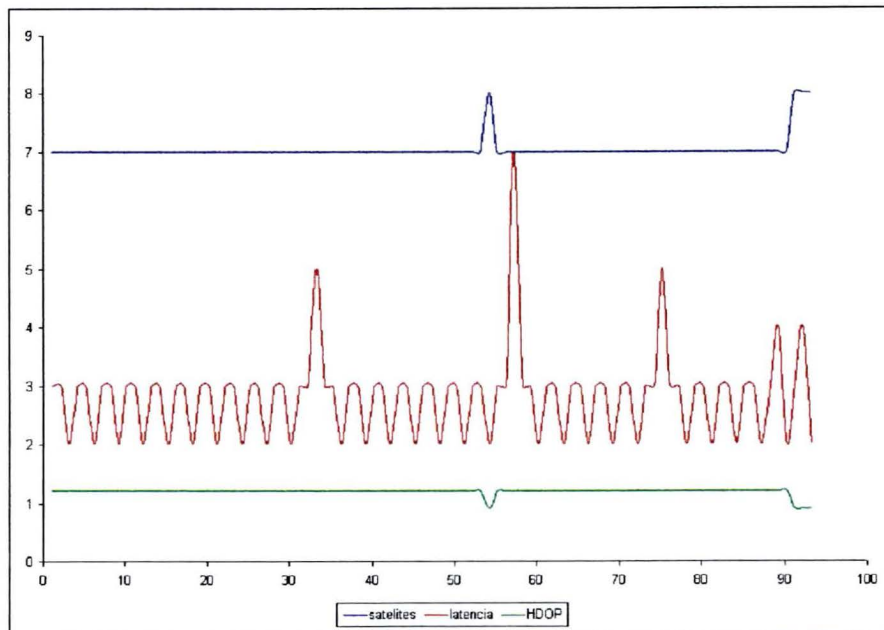
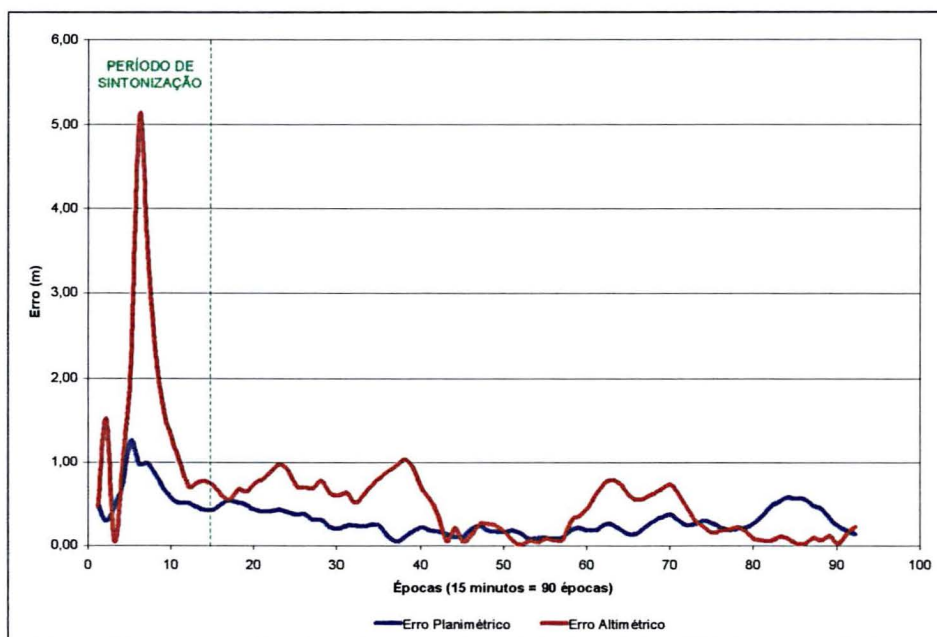
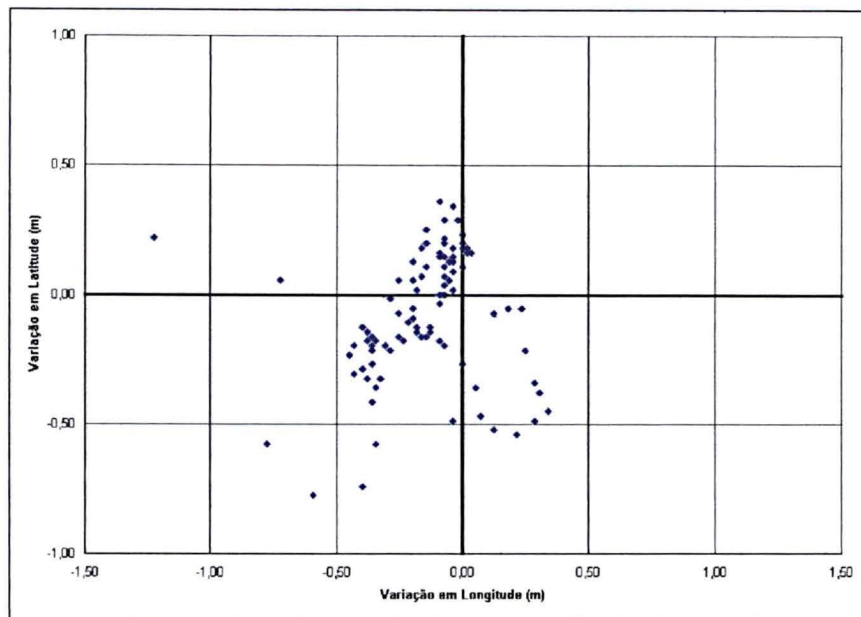
**(C) Estação Teste “PIL3”**

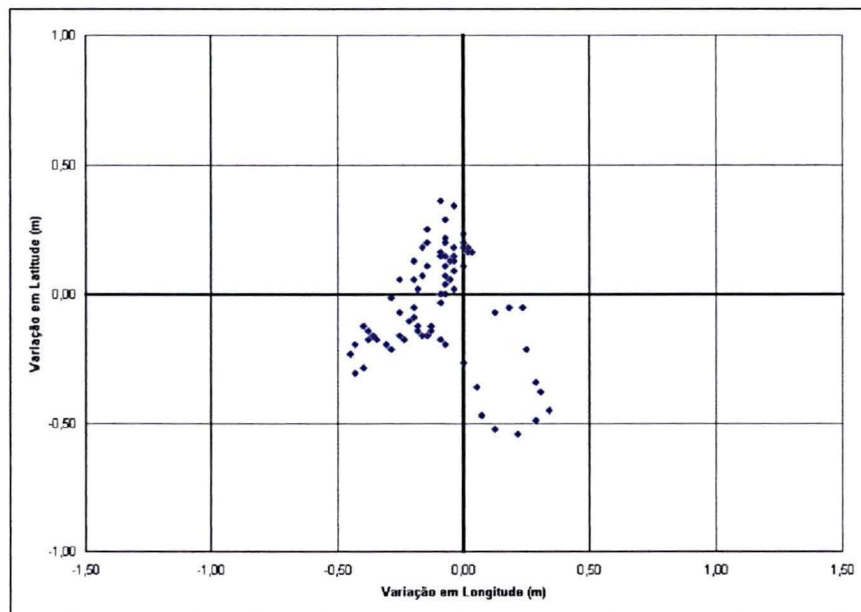
GRÁFICO 06 – ERRO PLANIMÉTRICO E ALTIMÉTRICO ESTAÇÃO TESTE “PIL3”



**GRÁFICO 07 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS CONSIDERANDO TODAS AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS – ESTAÇÃO TESTE “PIL3”**



**GRÁFICO 08 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS DESCONSIDERANDO AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS DURANTE O PERÍODO DE SINTONIZAÇÃO – ESTAÇÃO TESTE “PIL3”**



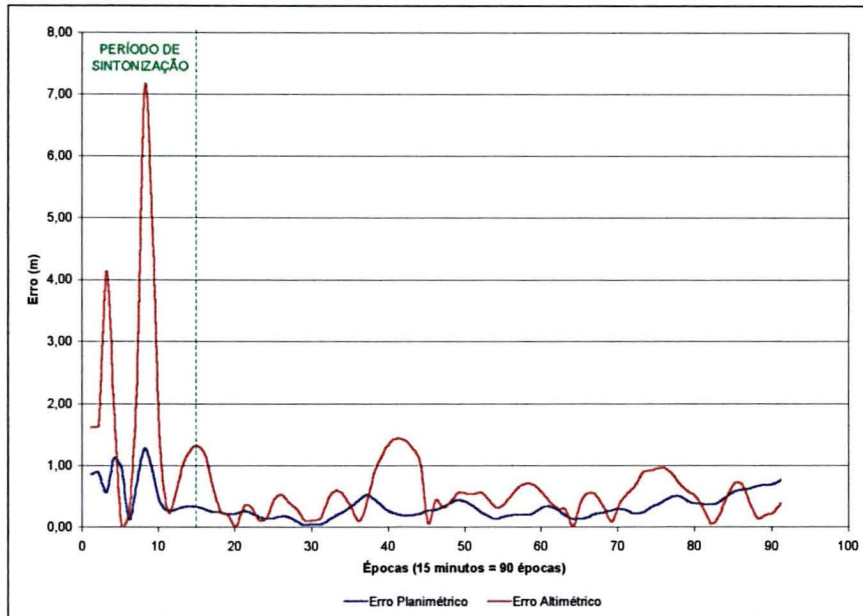
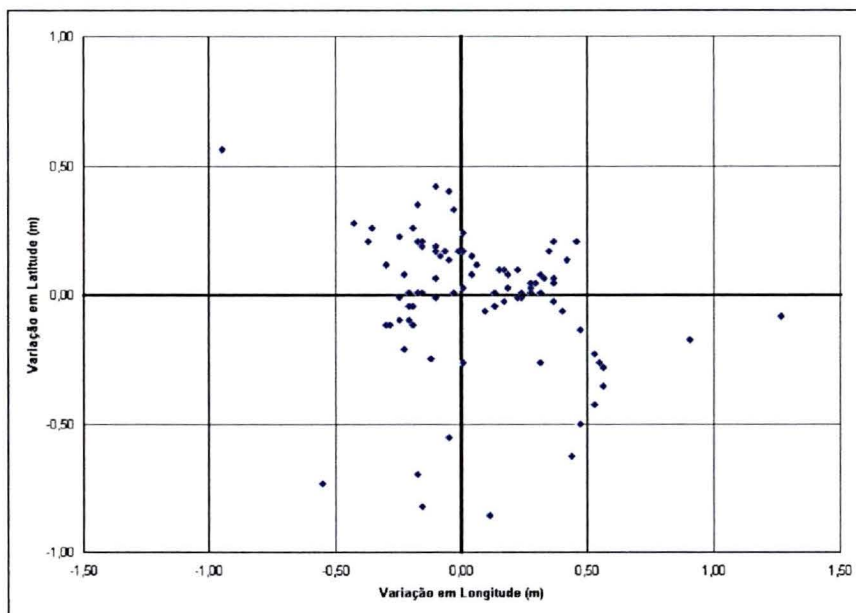
**(D) Estação Teste “JBOT”****GRÁFICO 09 – ERRO PLANIMÉTRICO E ALTIMÉTRICO  
ESTAÇÃO TESTE “JBOT”****GRÁFICO 10 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS CONSIDERANDO TODAS  
AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS – ESTAÇÃO TESTE “JBOT”**



GRÁFICO 11 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS DESCONSIDERANDO AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS DURANTE O PERÍODO DE SINTONIZAÇÃO – ESTAÇÃO TESTE “JBOT”

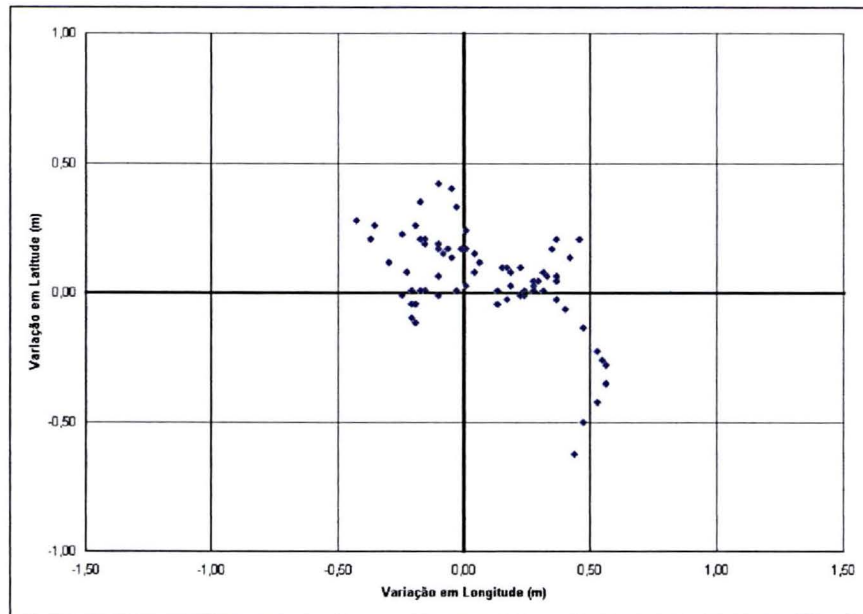
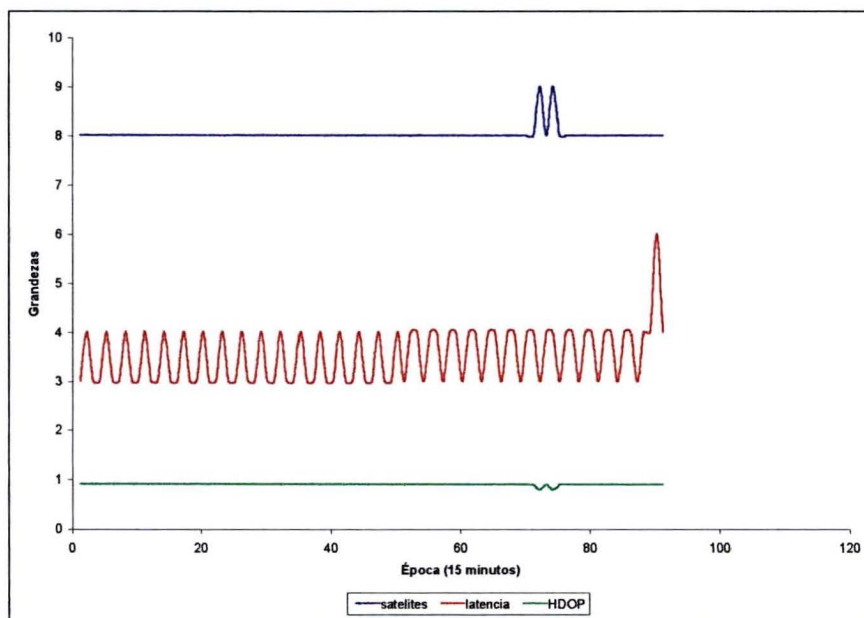


GRÁFICO 12 – PARÂMETROS DO RASTREIO ESTAÇÃO TESTE “JBOT”



### (E) Estação Teste "FOOT"

GRÁFICO 13 – ERRO PLANIMÉTRICO E ALTIMÉTRICO  
ESTAÇÃO TESTE "FOOT"

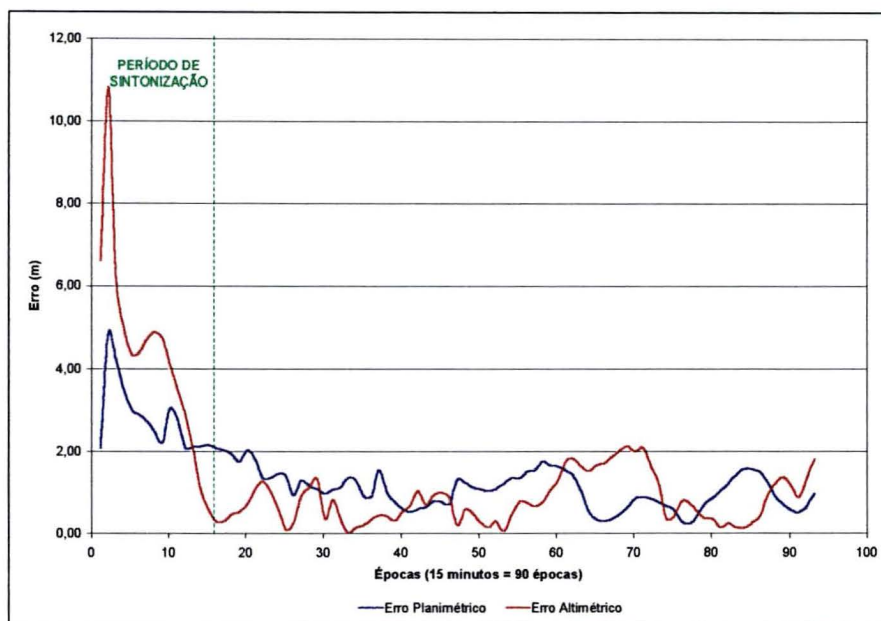


GRÁFICO 14 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS CONSIDERANDO TODAS  
AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS – ESTAÇÃO TESTE "FOOT"

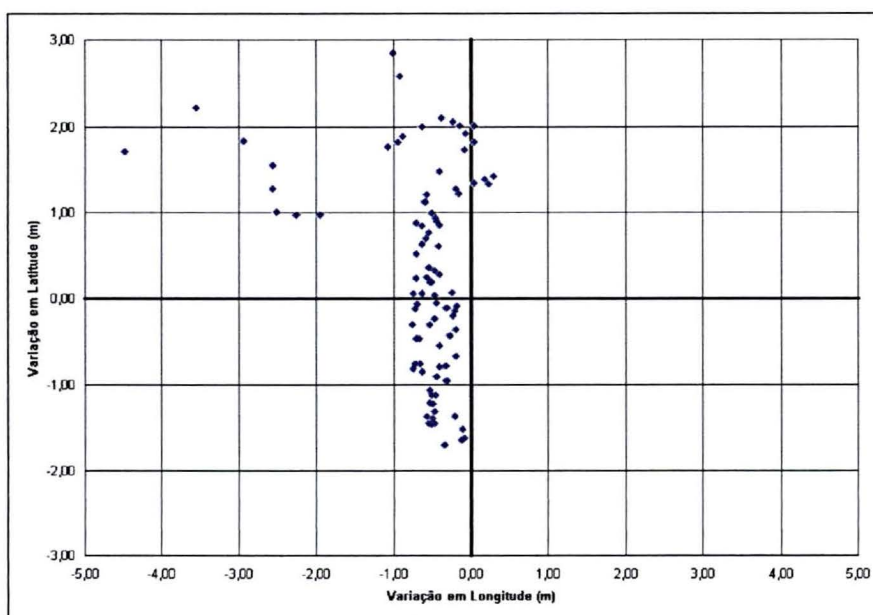


GRÁFICO 15 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS DESCONSIDERANDO AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS DURANTE O PERÍODO DE SINTONIZAÇÃO – ESTAÇÃO TESTE “FOOT”

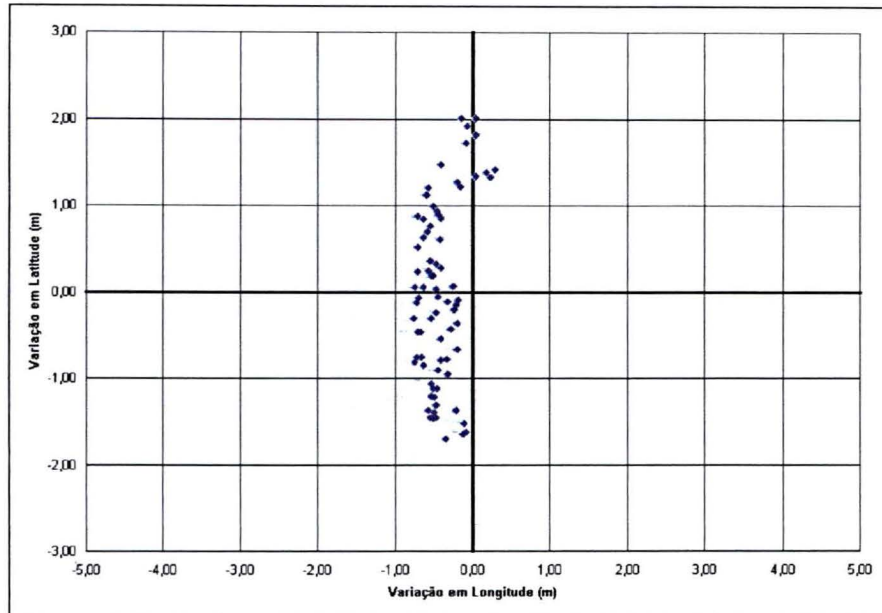
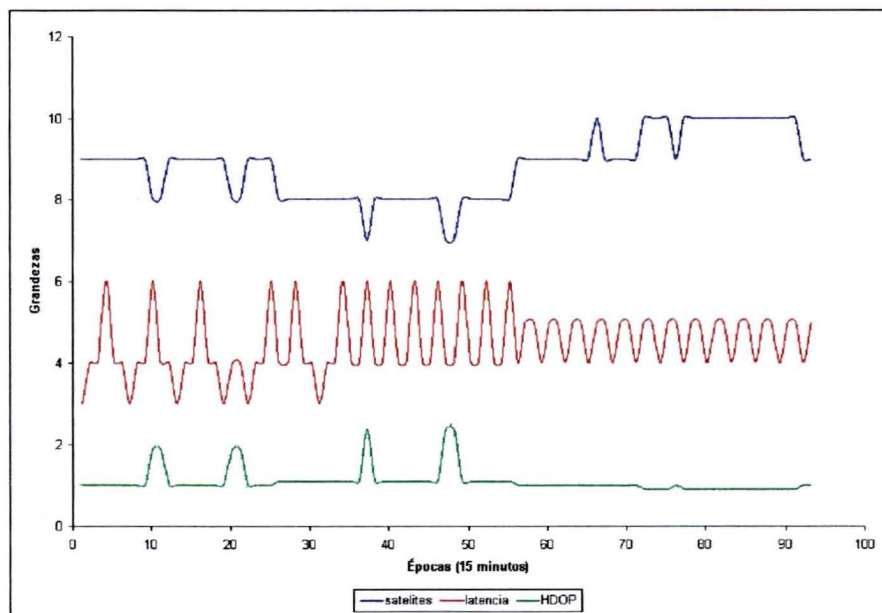


GRÁFICO 16 – PARÂMETROS DO RASTREIO ESTAÇÃO TESTE “FOOT”



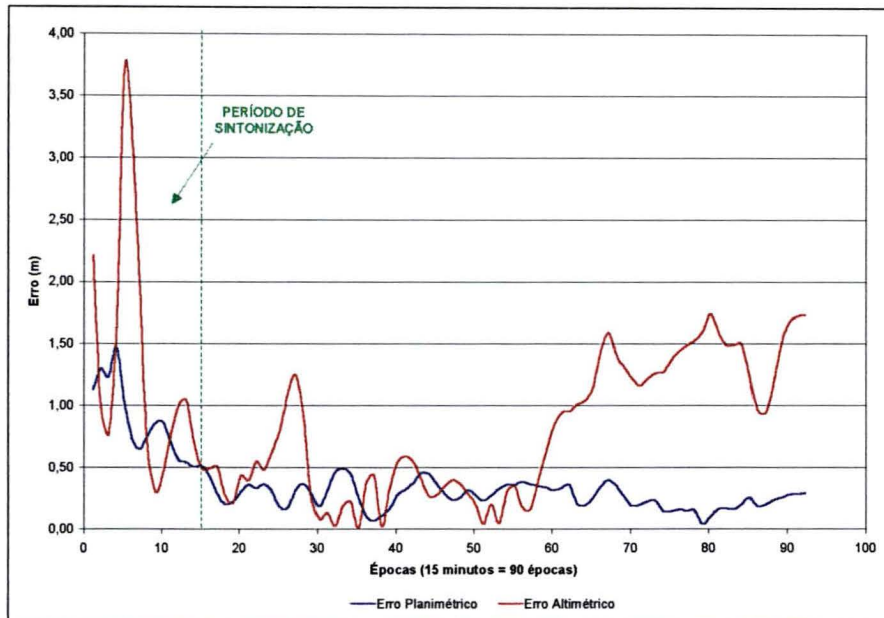
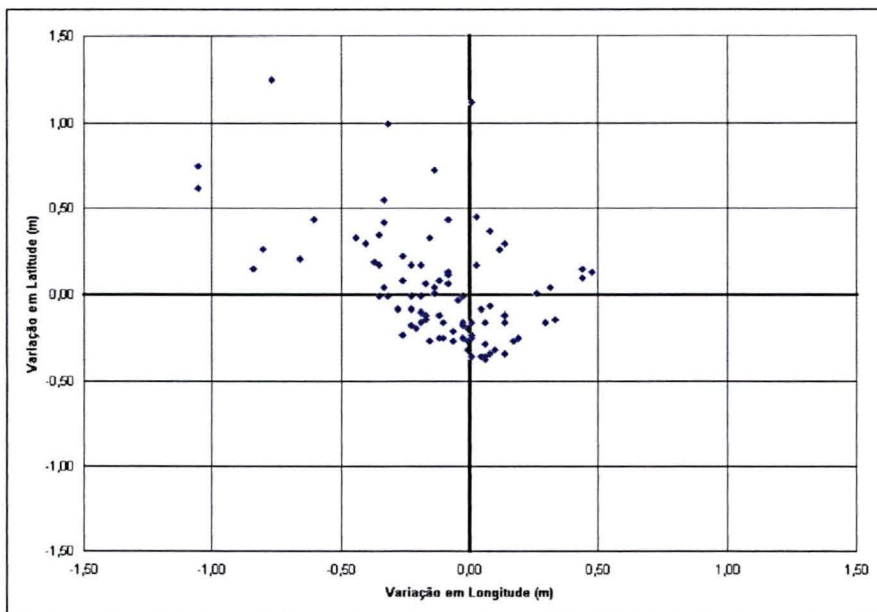
**(F) Estação Teste “TECS”****GRÁFICO 17 – ERRO PLANIMÉTRICO E ALTIMÉTRICO  
ESTAÇÃO TESTE “TECS”****GRÁFICO 18 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS CONSIDERANDO TODAS  
AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS – ESTAÇÃO TESTE “TECS”**

GRÁFICO 19 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS DESCONSIDERANDO AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS DURANTE O PERÍODO DE SINTONIZAÇÃO – ESTAÇÃO TESTE “TECS”

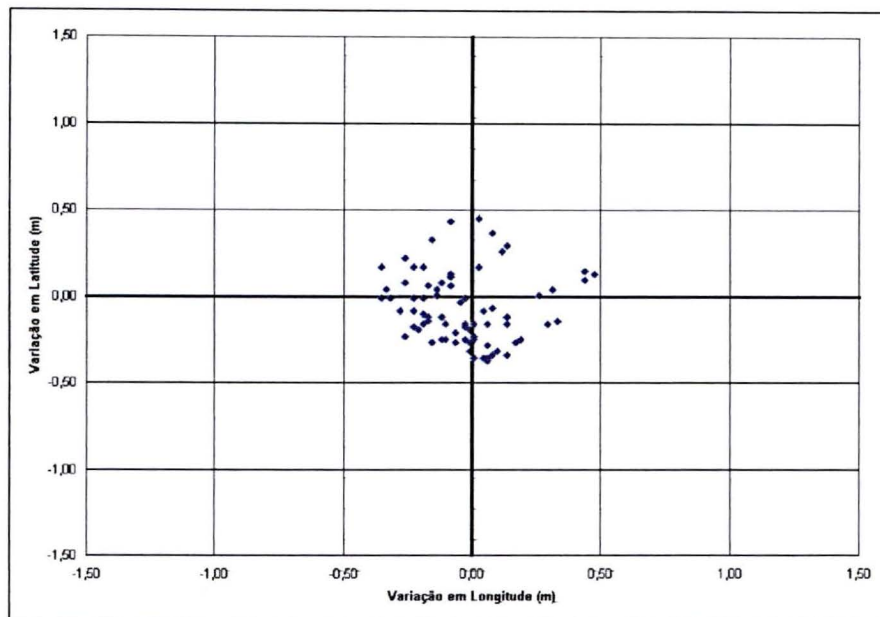
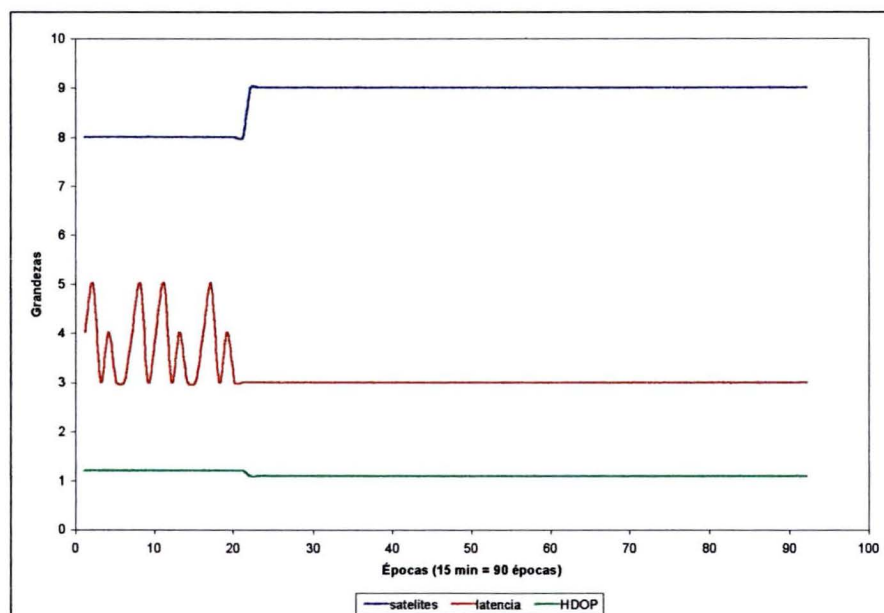


GRÁFICO 20 – PARÂMETROS DO RASTREIO ESTAÇÃO TESTE “TECS”



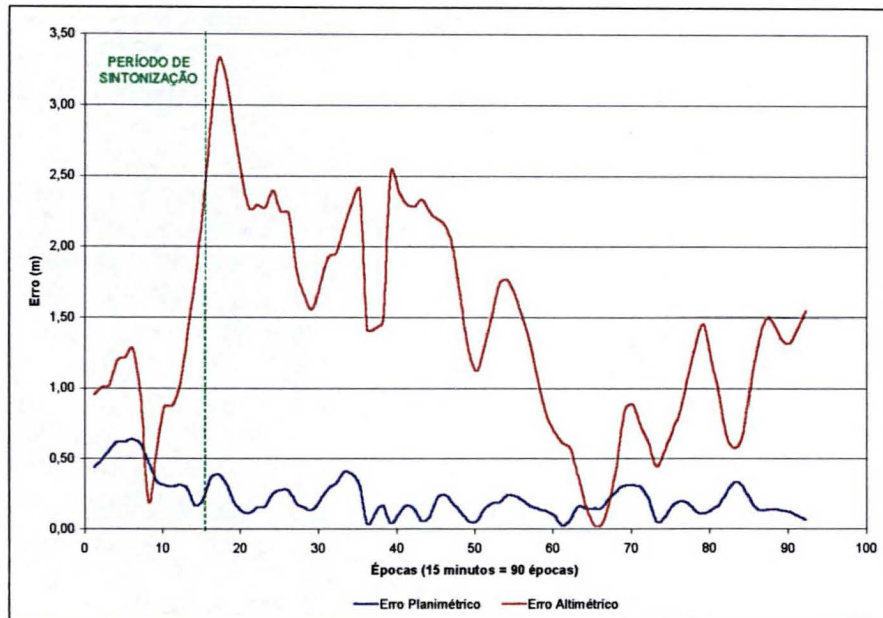
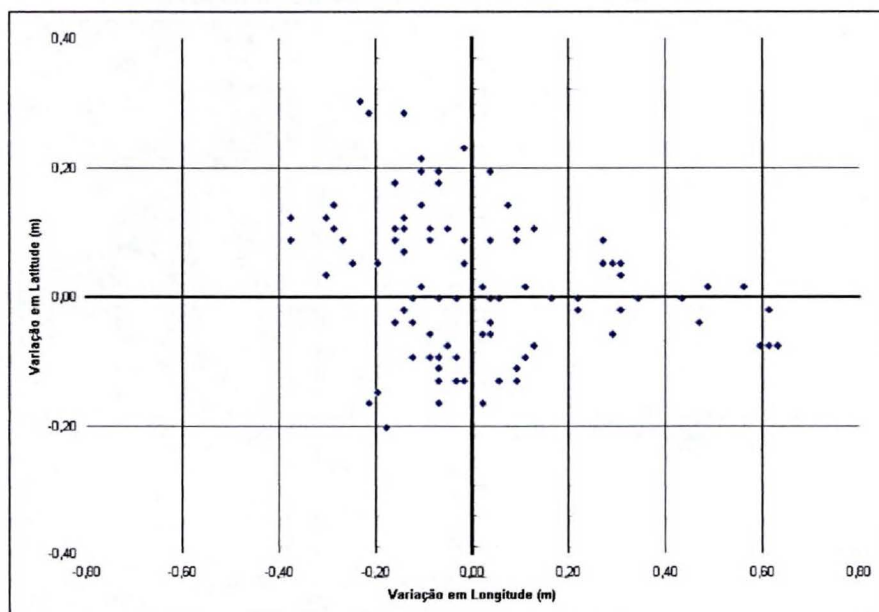
**(G) Estação Teste "KM03"****GRÁFICO 21 – ERRO PLANIMÉTRICO E ALTIMÉTRICO  
ESTAÇÃO TESTE "KM03"****GRÁFICO 22 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS CONSIDERANDO TODAS  
AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS – ESTAÇÃO TESTE "KM03"**

GRÁFICO 23 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS DESCONSIDERANDO AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS DURANTE O PERÍODO DE SINTONIZAÇÃO – ESTAÇÃO TESTE “KM03”

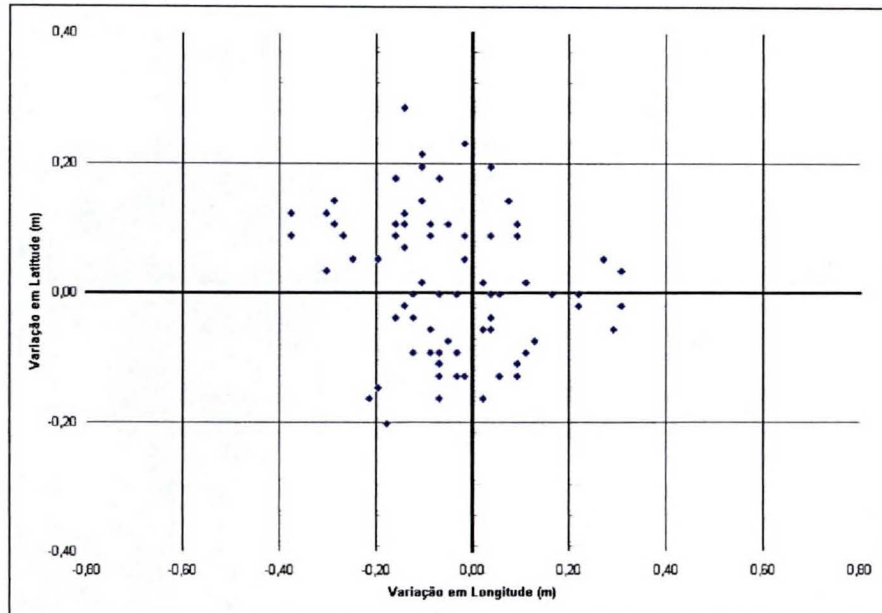
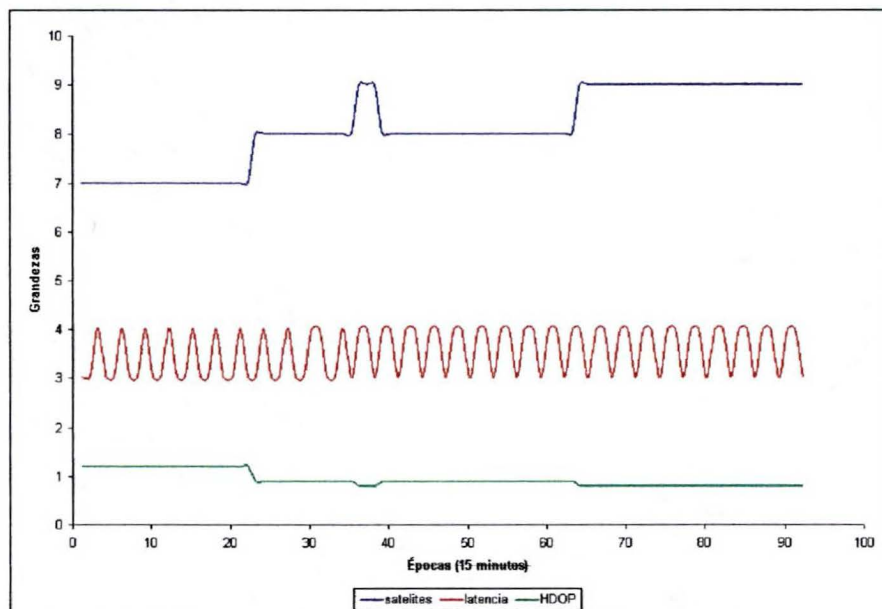


GRÁFICO 24 – PARÂMETROS DO RASTREIO ESTAÇÃO TESTE “KM03”



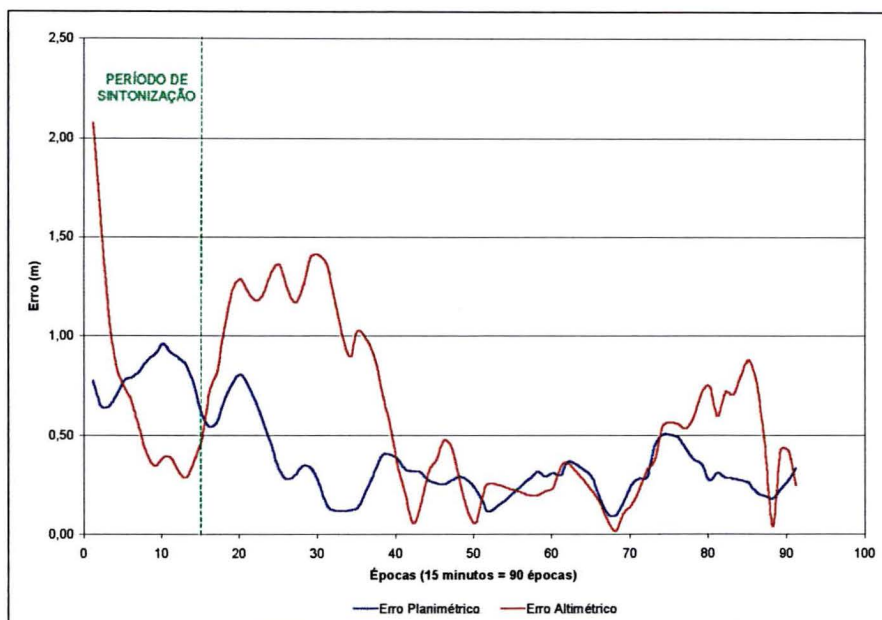
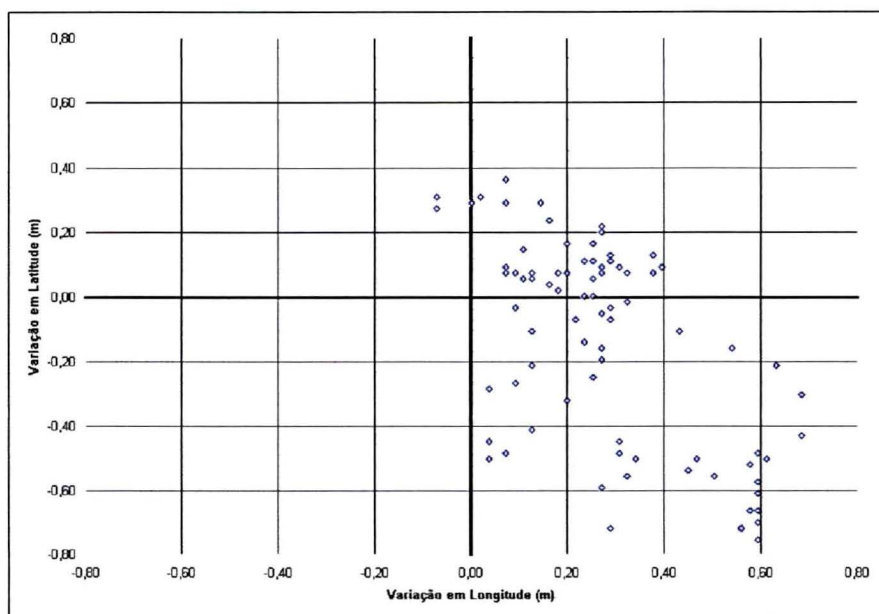
**(H) Estação Teste “EDIT”****GRÁFICO 25 – ERRO PLANIMÉTRICO E ALTIMÉTRICO  
ESTAÇÃO TESTE “EDIT”****GRÁFICO 26 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS CONSIDERANDO TODAS  
AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS – ESTAÇÃO TESTE “EDIT”**



GRÁFICO 27 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS DESCONSIDERANDO AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS DURANTE O PERÍODO DE SINTONIZAÇÃO – ESTAÇÃO TESTE “EDIT”

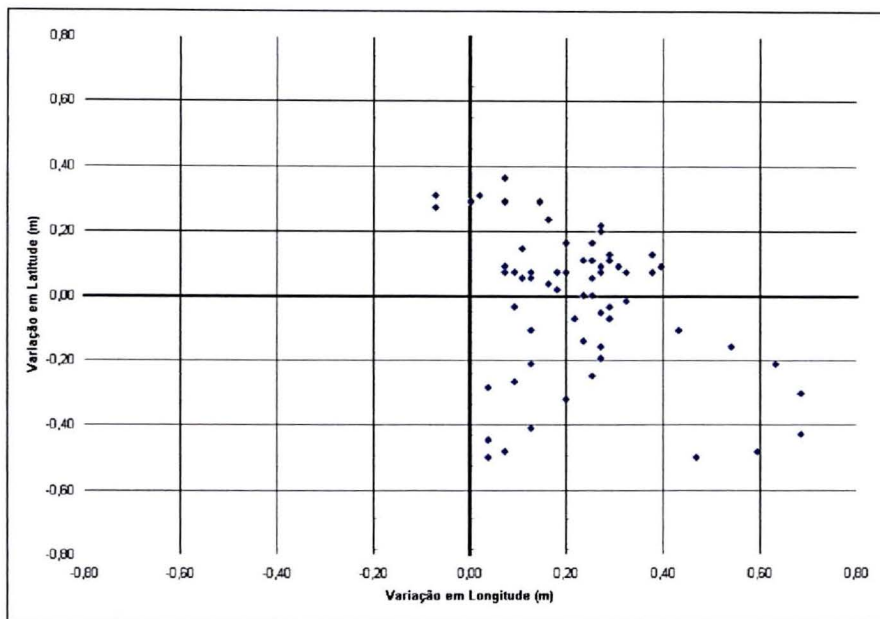
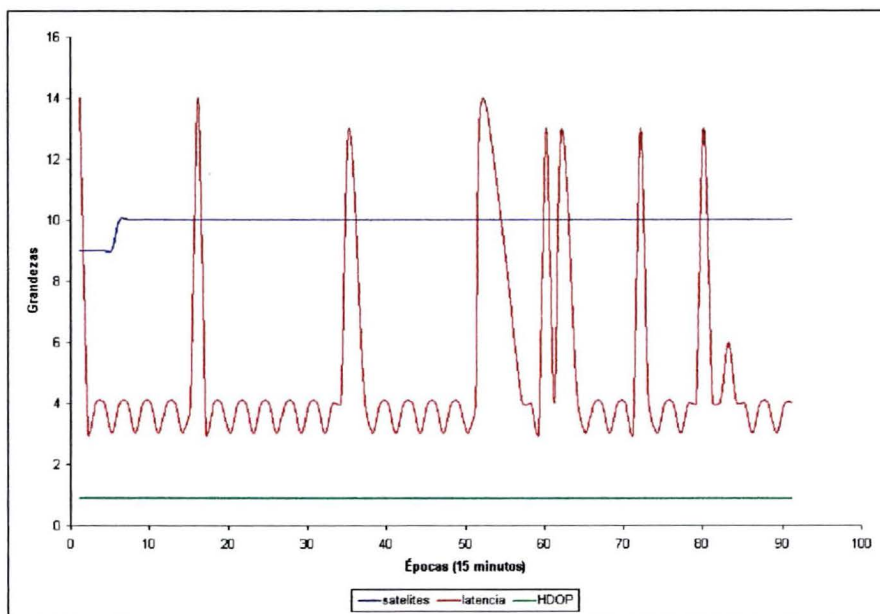


GRÁFICO 28 – PARÂMETROS DO RASTREIO ESTAÇÃO TESTE “EDIT”



## (I) Estação Teste "ROND"

GRÁFICO 29 – ERRO PLANIMÉTRICO E ALTIMÉTRICO  
ESTAÇÃO TESTE "ROND"

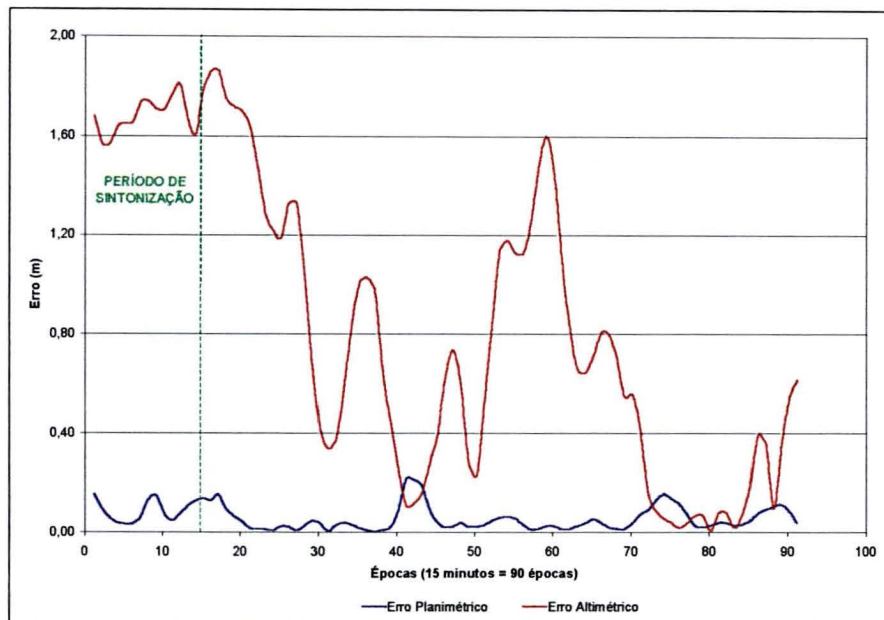


GRÁFICO 30 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS CONSIDERANDO TODAS  
AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS – ESTAÇÃO TESTE "ROND"

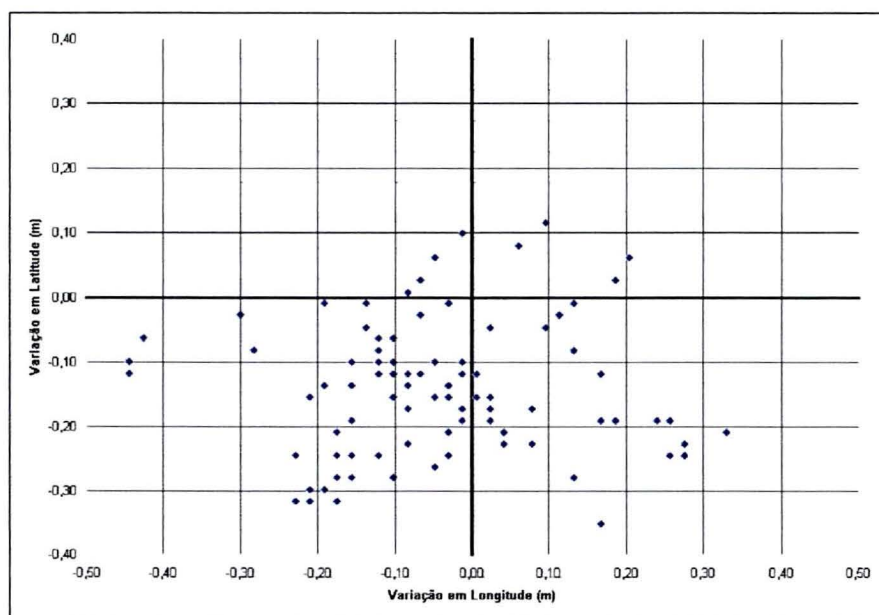


GRÁFICO 31 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS DESCONSIDERANDO AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS DURANTE O PERÍODO DE SINTONIZAÇÃO – ESTAÇÃO TESTE “ROND”

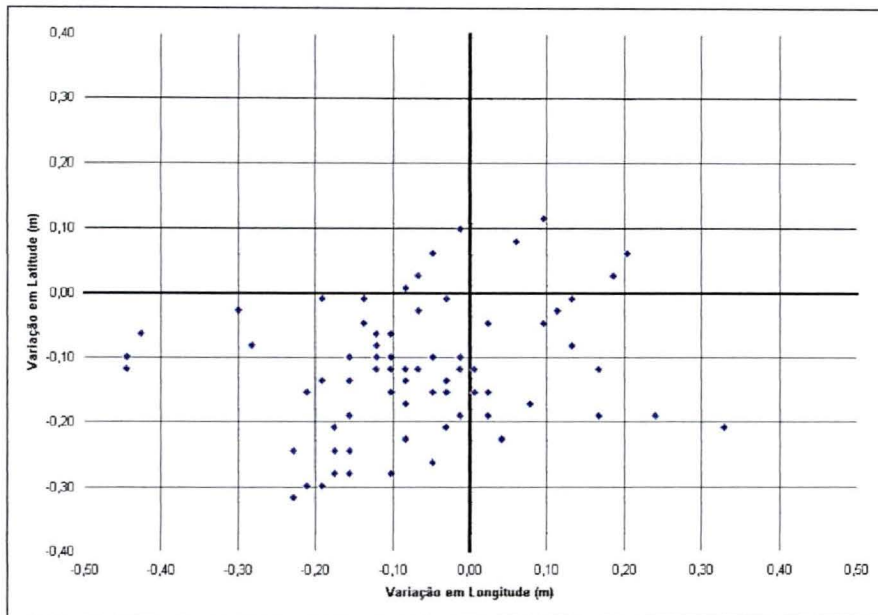
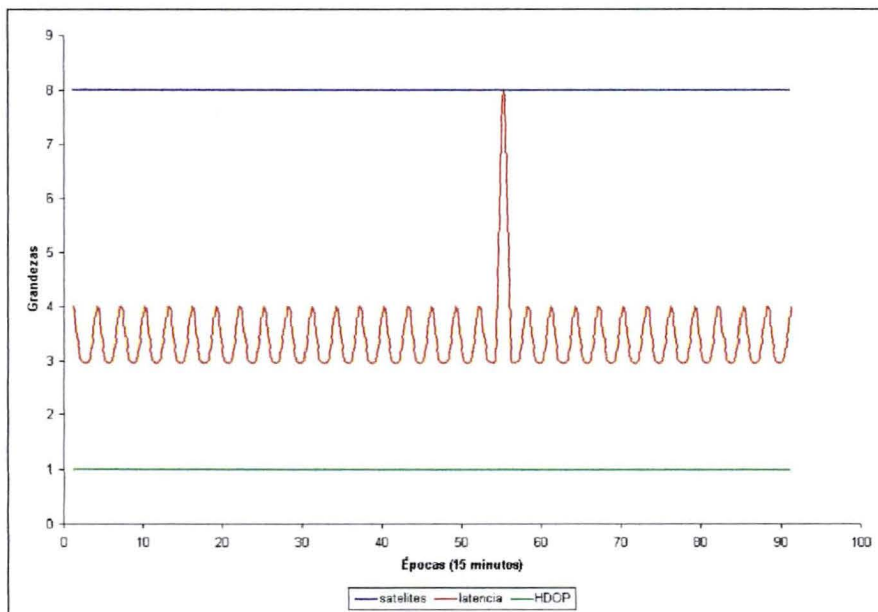


GRÁFICO 32 – PARÂMETROS DO RASTREIO ESTAÇÃO TESTE “ROND”



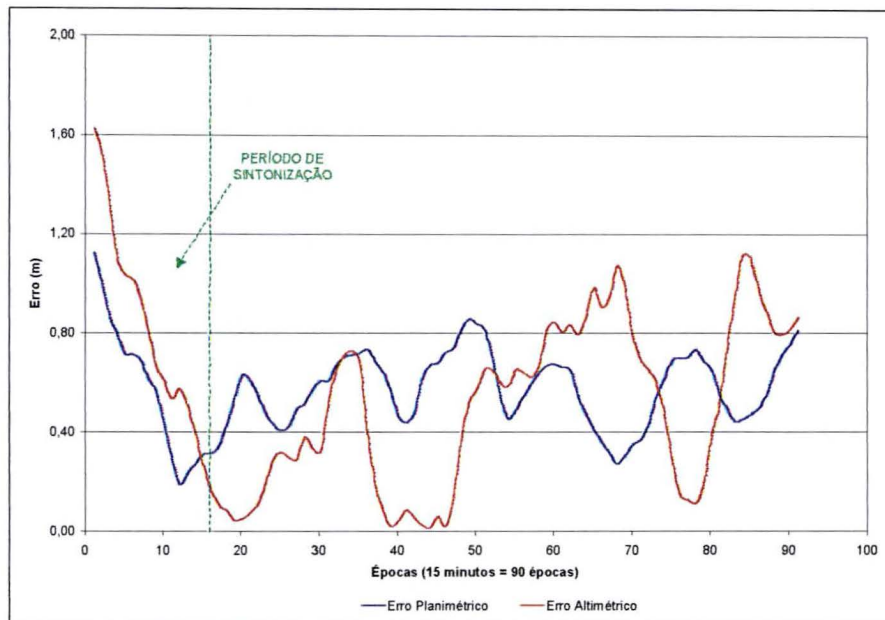
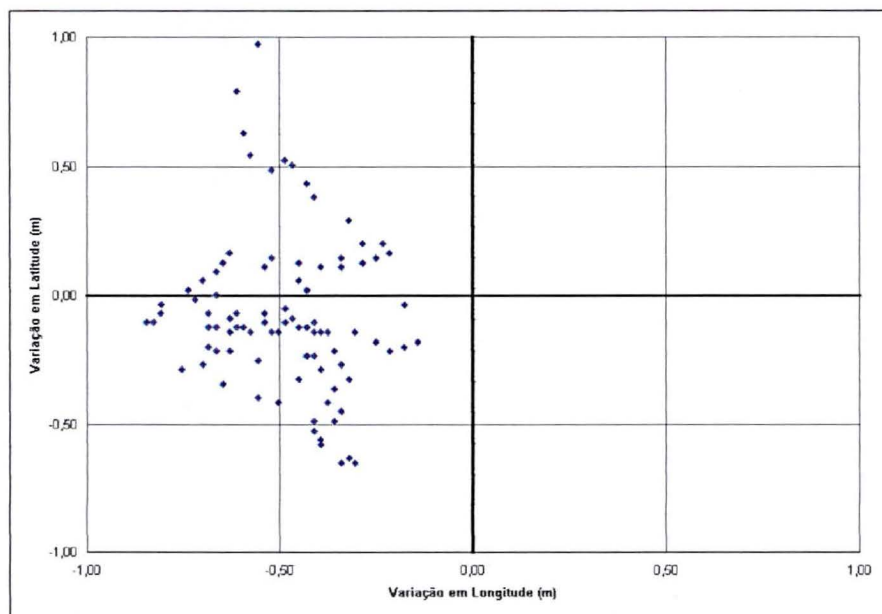
**(J) Estação Teste "CHRI"****GRÁFICO 33 – ERRO PLANIMÉTRICO E ALTIMÉTRICO  
ESTAÇÃO TESTE "CHRI"****GRÁFICO 34 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS CONSIDERANDO TODAS  
AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS – ESTAÇÃO TESTE "CHRI"**

GRÁFICO 35 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS DESCONSIDERANDO AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS DURANTE O PERÍODO DE SINTONIZAÇÃO – ESTAÇÃO TESTE “CHRI”

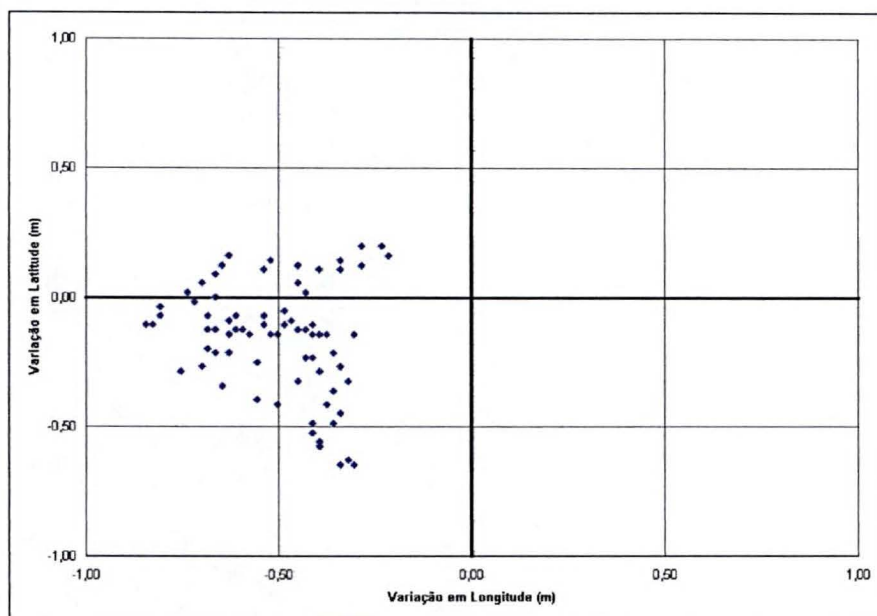
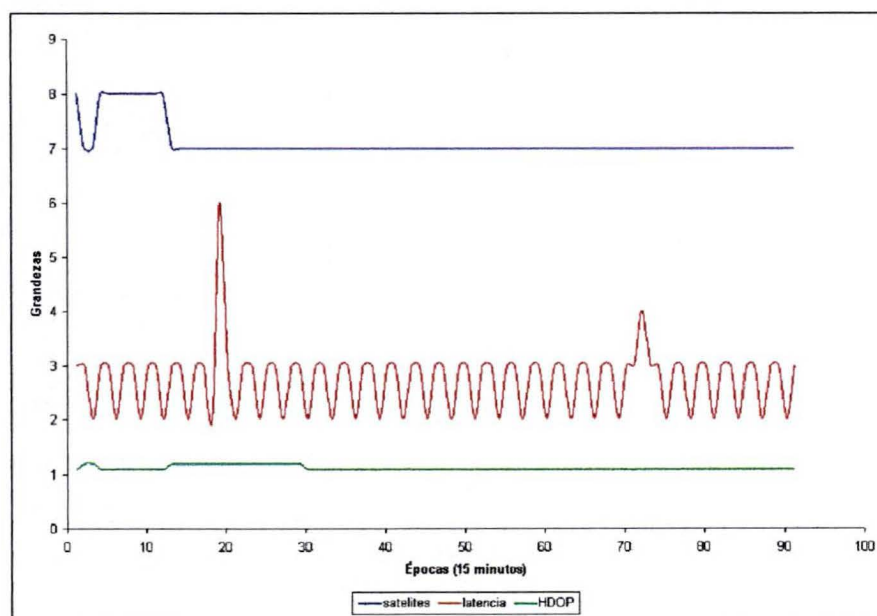


GRÁFICO 36 – PARÂMETROS DO RASTREIO ESTAÇÃO TESTE “CHRI”



## ANEXO 3

### LEVANTAMENTO DGPS – 2ª OCUPAÇÃO

TABELA 23 – LEVANTAMENTO DGPS – 2ª OCUPAÇÃO – MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO ERRO PLANIMÉTRICO

ESTAÇÃO TESTE	MÉDIA (T)	MÉDIA (S15)	DESVIO PADRÃO (T)	DESVIO PADRÃO (S15)
AZMT	0,279	0,244	0,166	0,106
PIL2	0,668	0,568	0,399	0,260
PIL3	0,265	0,206	0,194	0,104
JBOT	0,333	0,273	0,244	0,095
FOOT	0,694	0,606	0,445	0,285
TECS	0,986	0,757	0,830	0,512
KM03	0,574	0,544	0,302	0,244
EDIT	1,324	1,389	0,961	1,007
ROND	0,440	0,394	0,239	0,102
CHRI	0,336	0,339	0,142	0,094

Nota: o índice (T) se refere ao conjunto inteiro de observações; enquanto o índice (S15) refere-se ao conjunto de observações desconsiderando aquelas pertencentes ao "período de sintonização".

Nota: valores em metros.

TABELA 24 – LEVANTAMENTO DGPS – 2ª OCUPAÇÃO – MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO ERRO ALTIMÉTRICO

ESTAÇÃO TESTE	MÉDIA (T)	MÉDIA (S15)	DESVIO PADRÃO (T)	DESVIO PADRÃO (S15)
AZMT	0,293	0,301	0,221	0,214
PIL2	0,858	0,743	0,742	0,565
PIL3	0,967	0,774	0,879	0,615
JBOT	1,172	0,961	1,019	0,738
FOOT	1,512	1,448	1,109	1,016
TECS	1,166	0,869	1,147	0,581
KM03	1,177	0,909	1,058	0,528
EDIT	1,812	1,812	1,341	1,326
ROND	0,921	0,843	0,562	0,387
CHRI	0,580	0,452	0,435	0,308

Nota: o índice (T) se refere ao conjunto inteiro de observações; enquanto o índice (S15) refere-se ao conjunto de observações desconsiderando aquelas pertencentes ao "período de sintonização".

Nota: valores em metros.

### (a) Estação Teste "AZMT"

GRÁFICO 01 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS CONSIDERANDO TODAS AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS – ESTAÇÃO TESTE "AZMT"

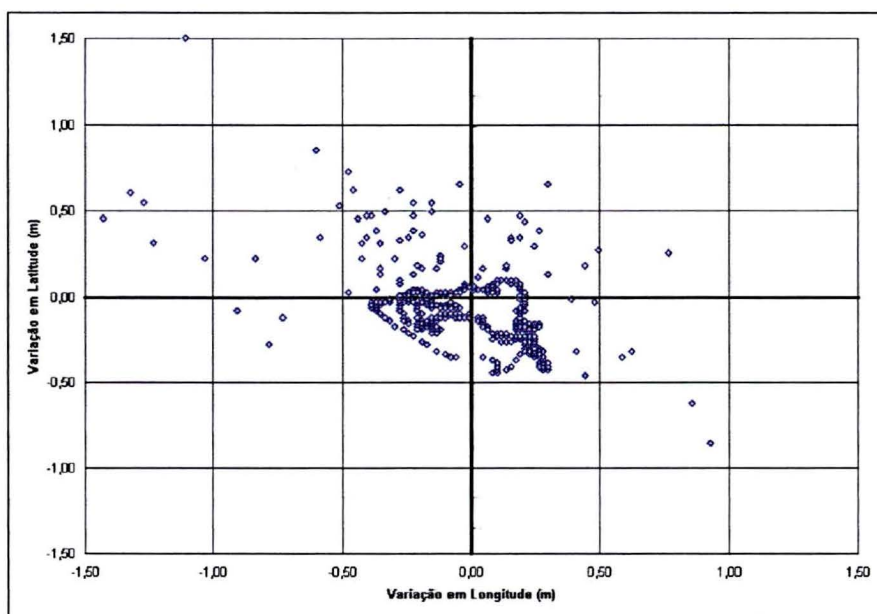


GRÁFICO 02 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS DESCONSIDERANDO AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS DURANTE O PERÍODO DE SINTONIZAÇÃO – ESTAÇÃO TESTE “AZMT”

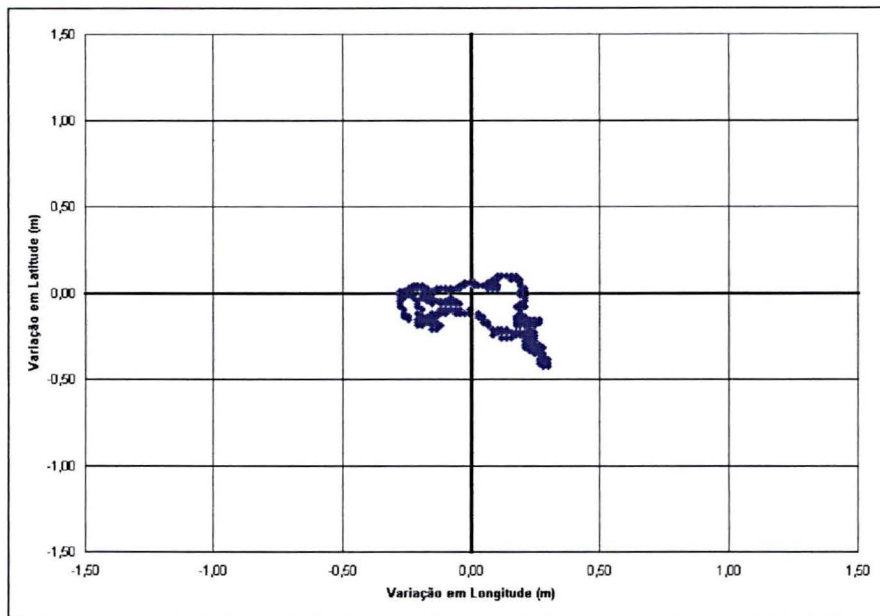
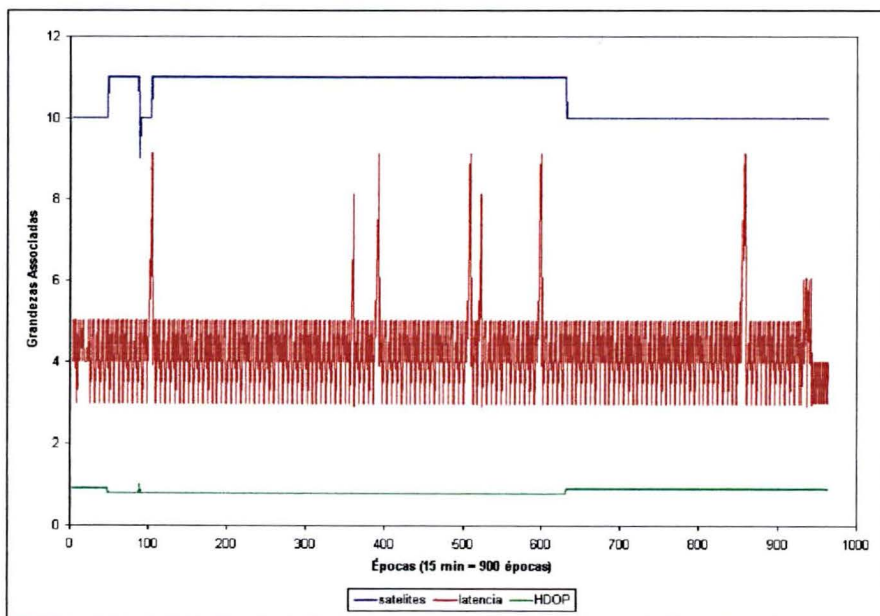


GRÁFICO 03 – PARÂMETROS DO RASTREIO ESTAÇÃO TESTE “AZMT”





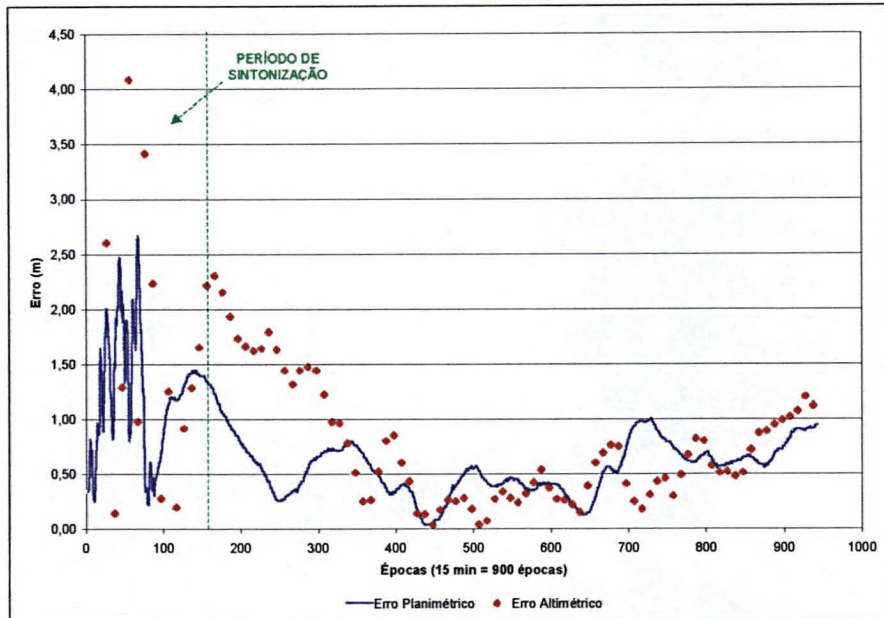
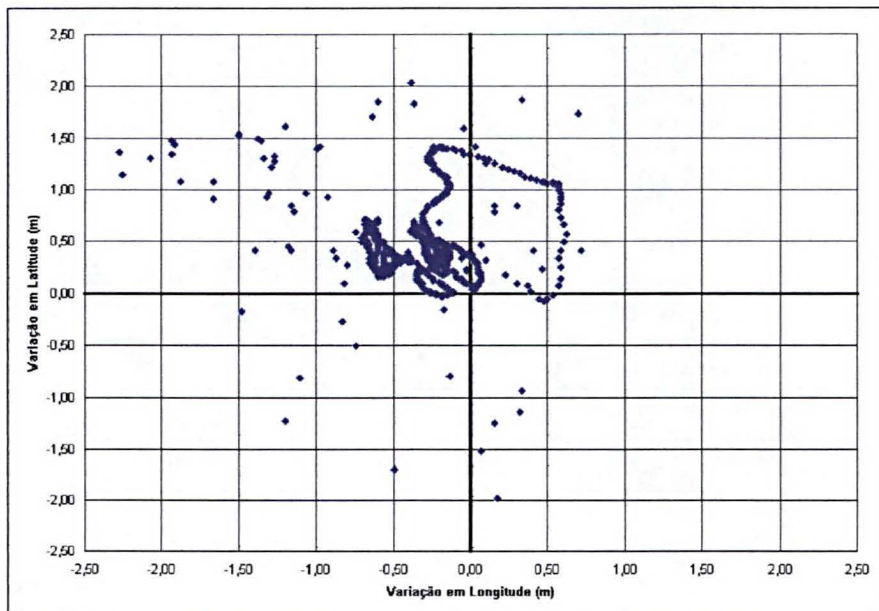
**(b) Estação Teste "PIL2"****GRÁFICO 04 – ERRO PLANIMÉTRICO E ALTIMÉTRICO  
ESTAÇÃO TESTE "PIL2"****GRÁFICO 05 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS CONSIDERANDO TODAS  
AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS – ESTAÇÃO TESTE "PIL2"**

GRÁFICO 06 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS DESCONSIDERANDO AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS DURANTE O PERÍODO DE SINTONIZAÇÃO – ESTAÇÃO TESTE “PIL2”

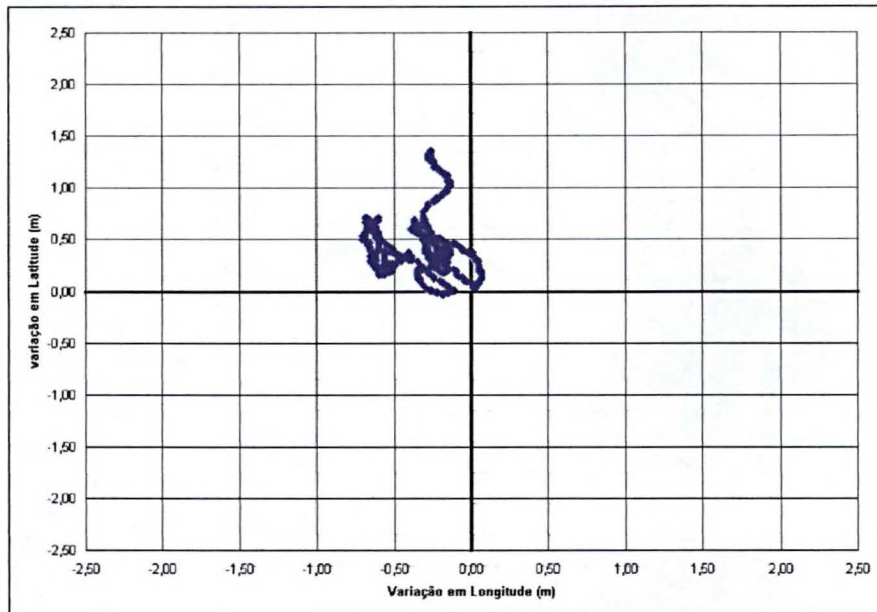
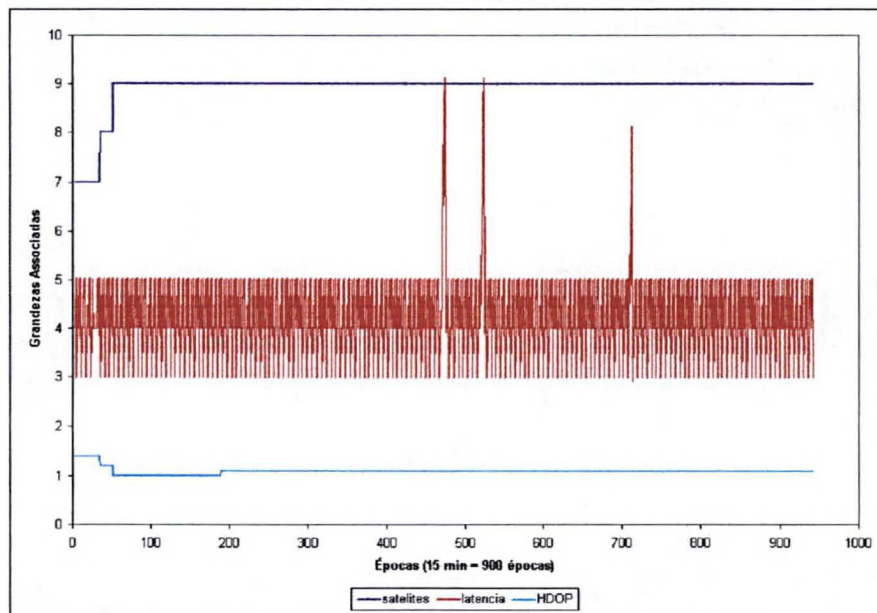


GRÁFICO 07 – PARÂMETROS DO RASTREIO ESTAÇÃO TESTE “PIL2”



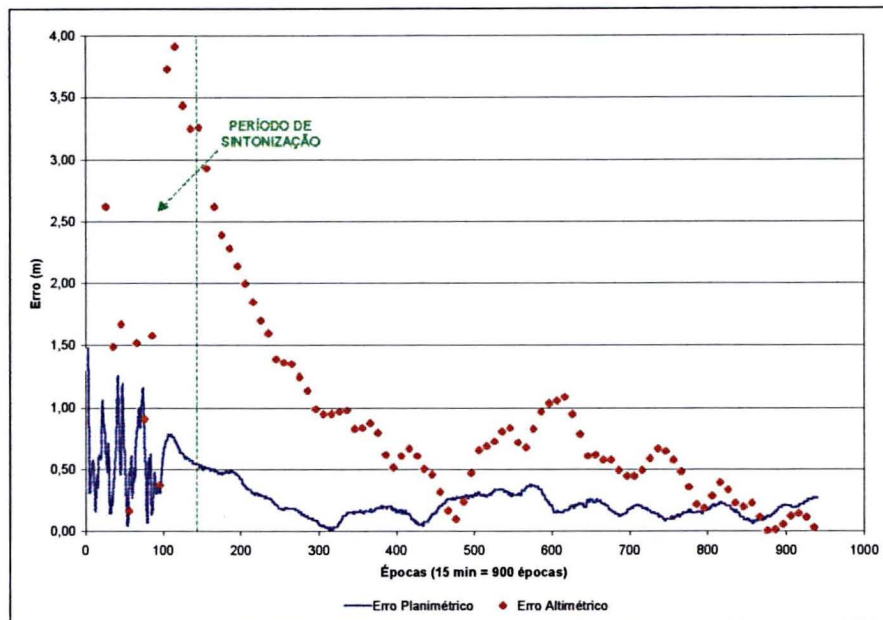
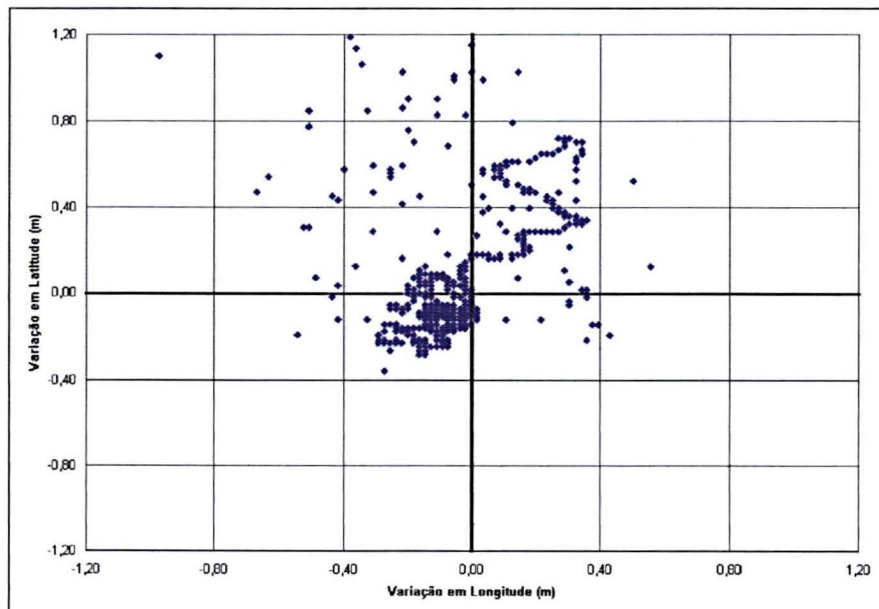
**(c) Estação Teste "PIL3"****GRÁFICO 08 – ERRO PLANIMÉTRICO E ALTIMÉTRICO  
ESTAÇÃO TESTE "PIL3"****GRÁFICO 09 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS CONSIDERANDO TODAS  
AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS – ESTAÇÃO TESTE "PIL3"**

GRÁFICO 10 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS DESCONSIDERANDO AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS DURANTE O PERÍODO DE SINTONIZAÇÃO – ESTAÇÃO TESTE “PIL3”

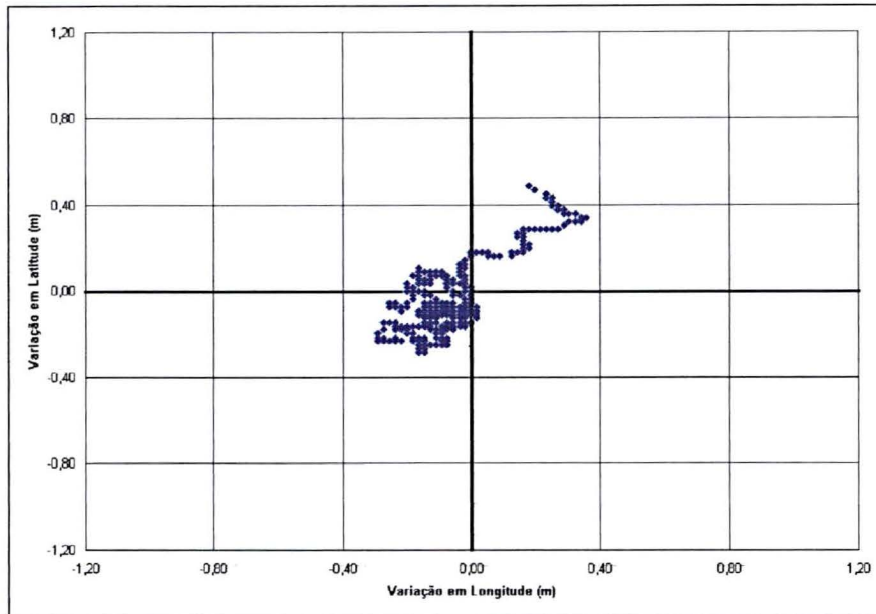
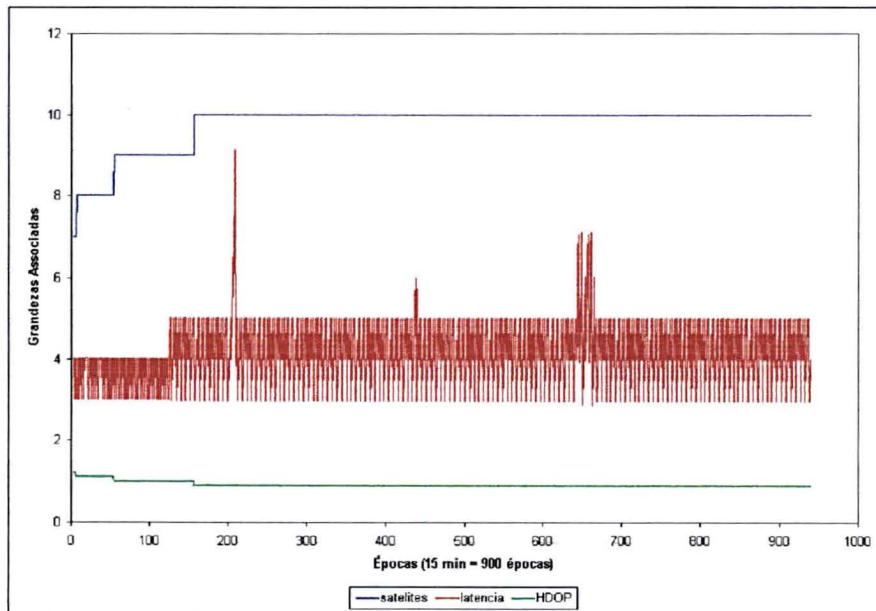


GRÁFICO 11 – PARÂMETROS DO RASTREIO ESTAÇÃO TESTE “PIL3”



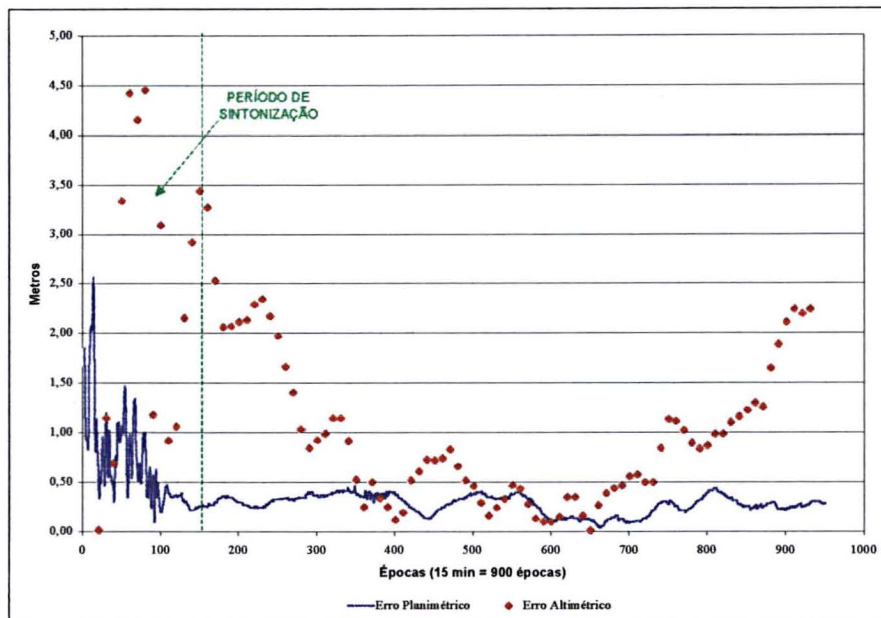
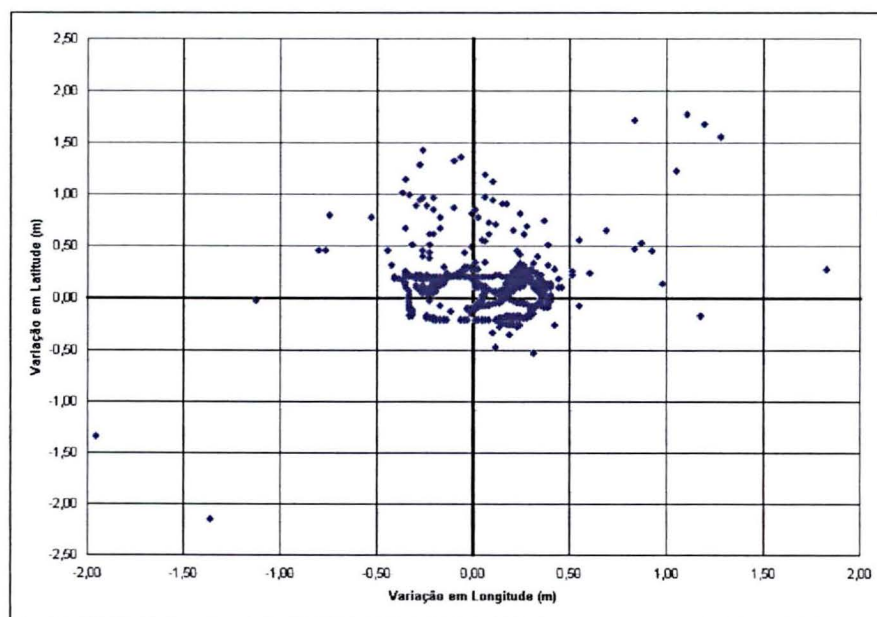
**(d) Estação Teste “JBOT”****GRÁFICO 12 – ERRO PLANIMÉTRICO E ALTIMÉTRICO  
ESTAÇÃO TESTE “JBOT”****GRÁFICO 13 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS CONSIDERANDO TODAS  
AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS – ESTAÇÃO TESTE “JBOT”**

GRÁFICO 14 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS DESCONSIDERANDO AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS DURANTE -O PERÍODO DE SINTONIZAÇÃO – ESTAÇÃO TESTE “JBOT”

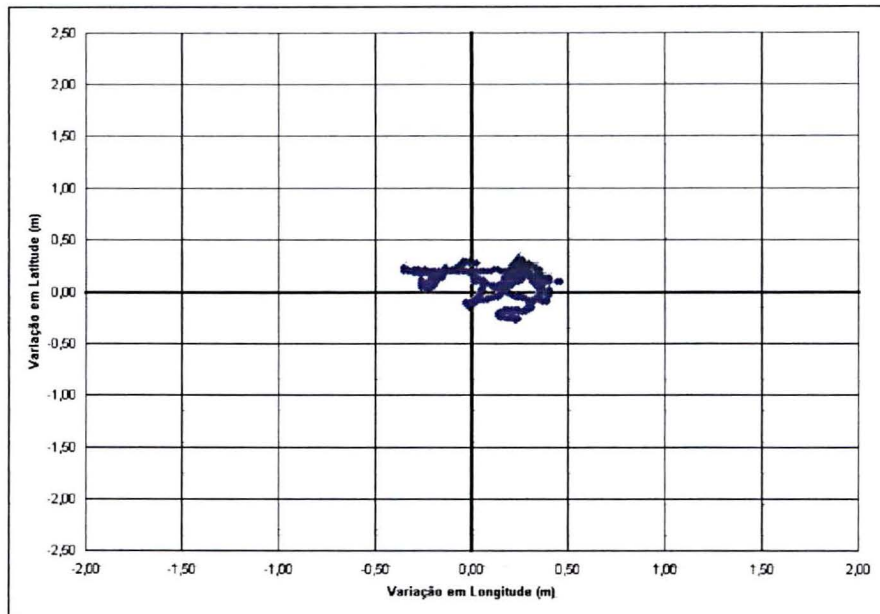
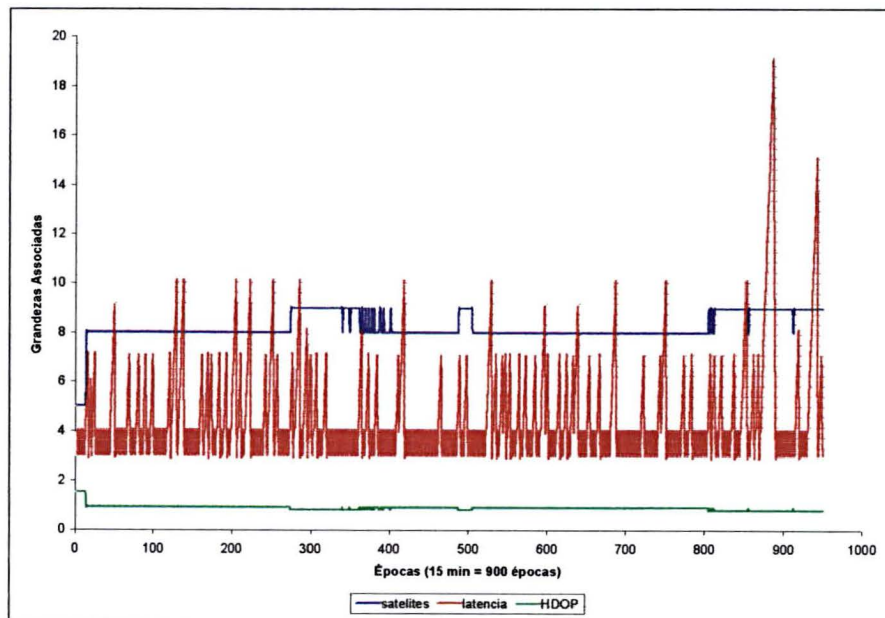


GRÁFICO 15 – PARÂMETROS DO RASTREIO ESTAÇÃO TESTE “JBOT”



### (e) Estação Teste "FOOT"

GRÁFICO 16 – ERRO PLANIMÉTRICO E ALTIMÉTRICO ESTAÇÃO TESTE "FOOT"

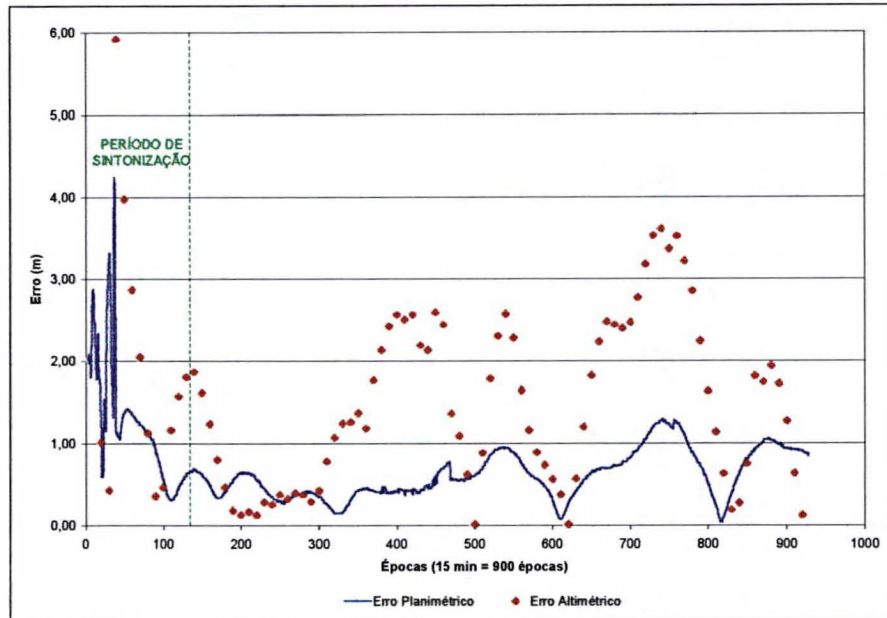


GRÁFICO 17 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS CONSIDERANDO TODAS AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS – ESTAÇÃO TESTE "FOOT"

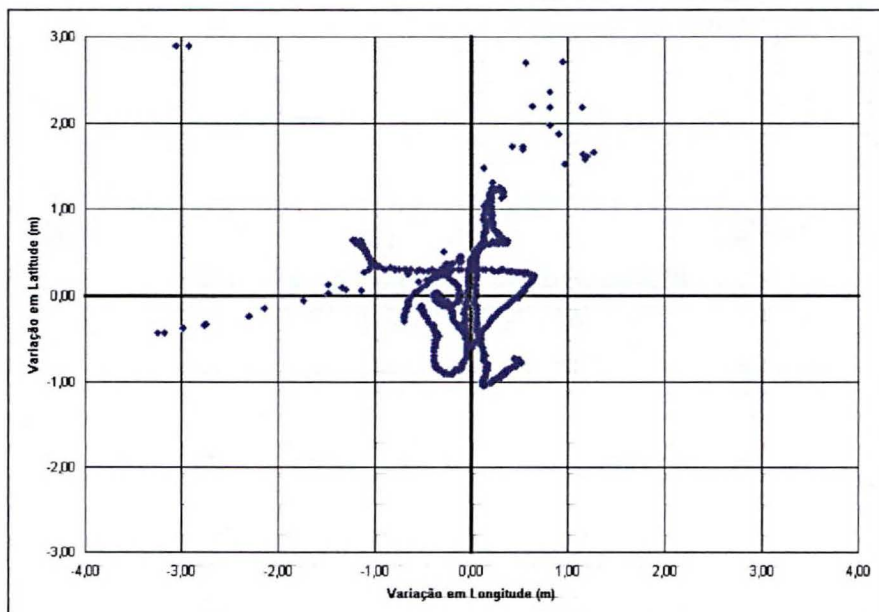


GRÁFICO 18 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS DESCONSIDERANDO AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS DURANTE O PERÍODO DE SINTONIZAÇÃO – ESTAÇÃO TESTE “FOOT”

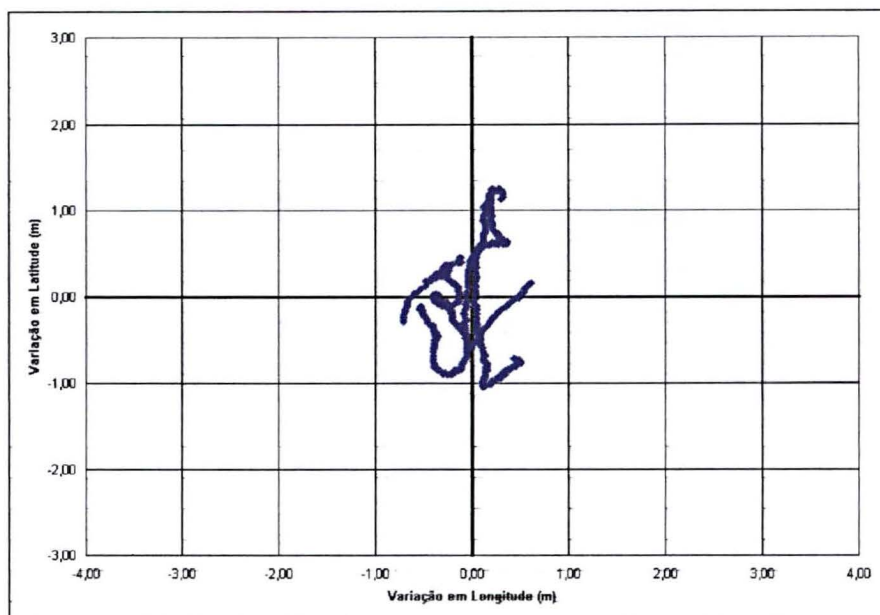
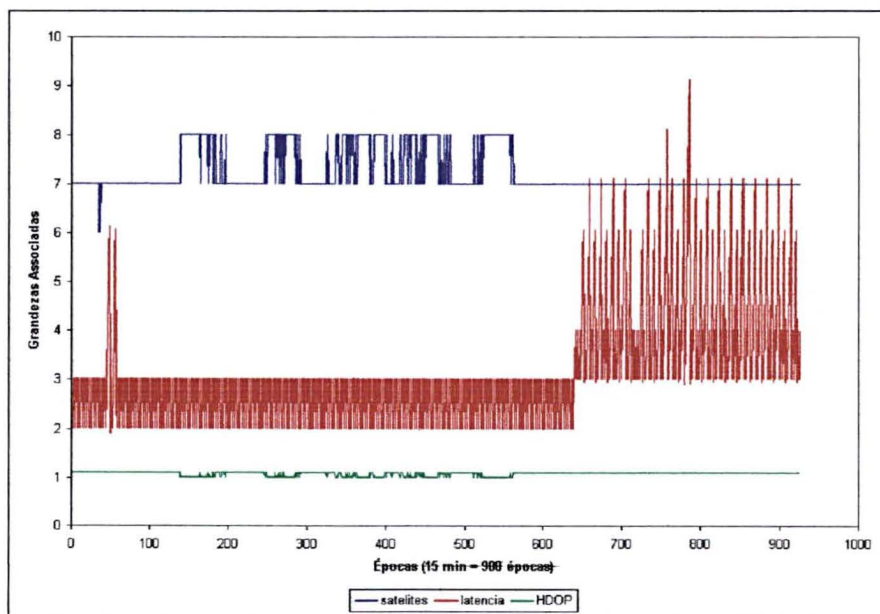


GRÁFICO 19 – PARÂMETROS DO RASTREIO ESTAÇÃO TESTE “FOOT”





## (f) Estação Teste "TECS"

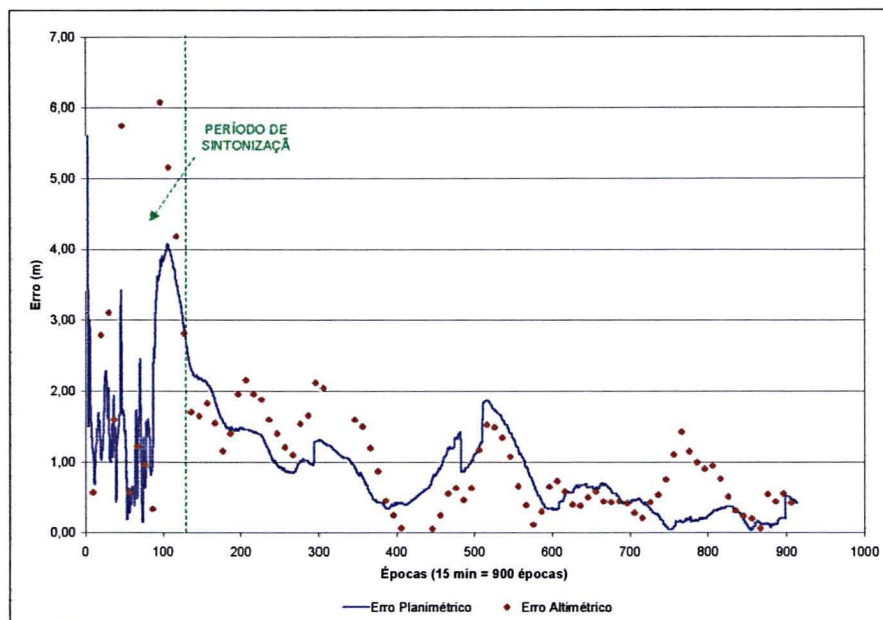
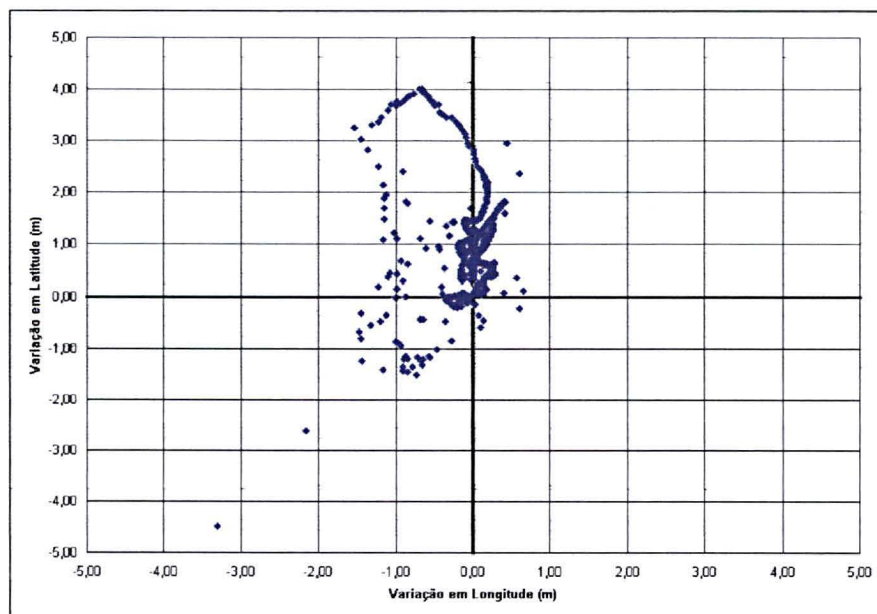
GRÁFICO 20 – ERRO PLANIMÉTRICO E ALTIMÉTRICO  
ESTAÇÃO TESTE "TECS"GRÁFICO 21 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS CONSIDERANDO TODAS  
AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS – ESTAÇÃO TESTE "TECS"

GRÁFICO 22 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS DESCONSIDERANDO AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS DURANTE O PERÍODO DE SINTONIZAÇÃO – ESTAÇÃO TESTE “TECS”

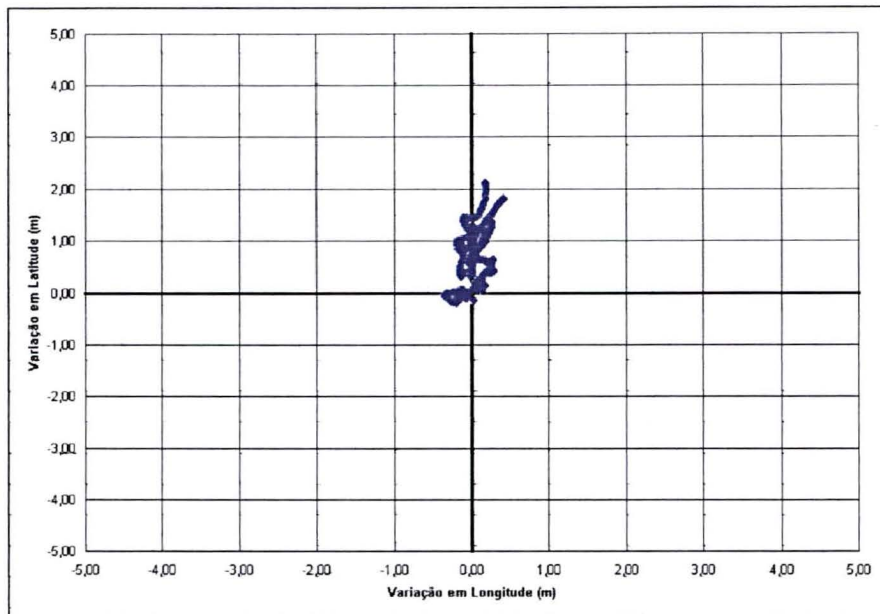
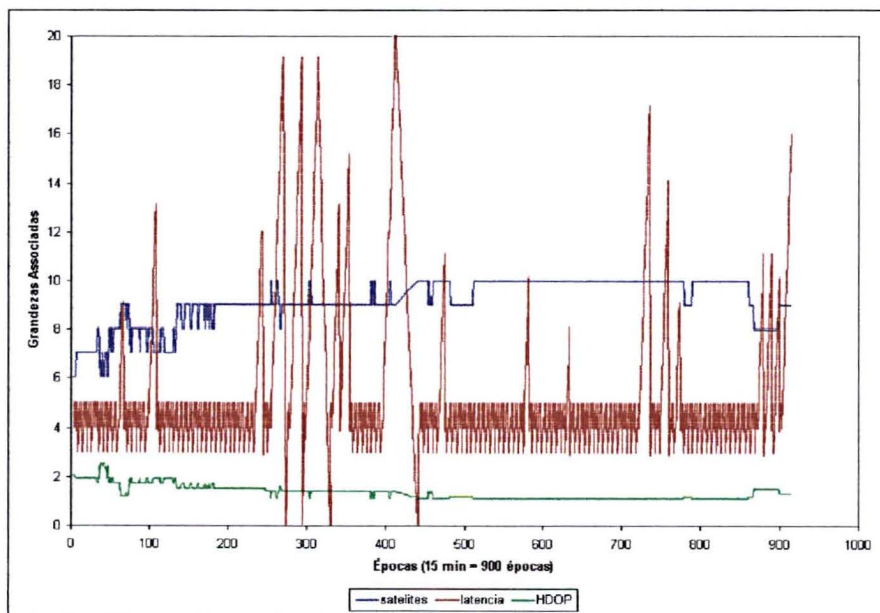


GRÁFICO 23 – PARÂMETROS DO RASTREIO ESTAÇÃO TESTE “TECS”



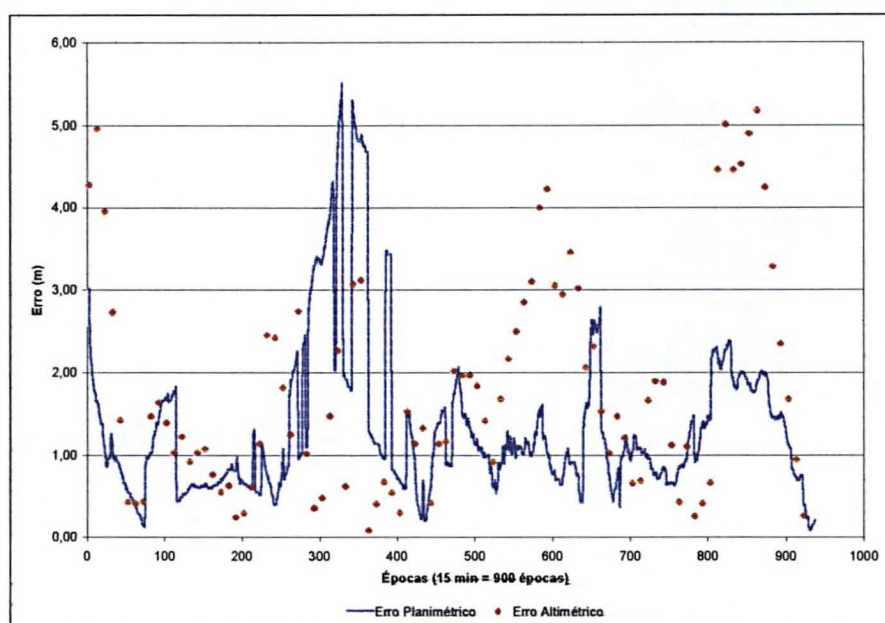
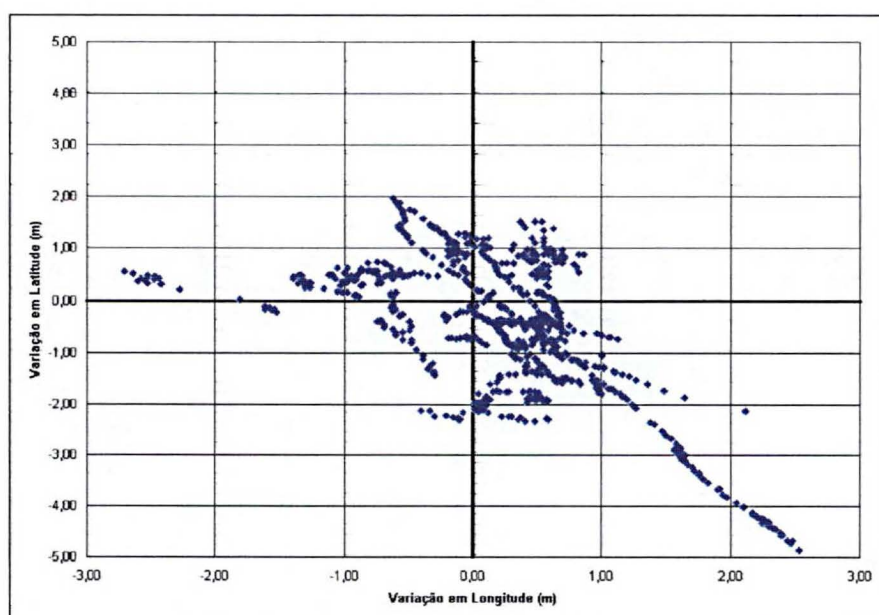
**(g) Estação Teste "EDIT"****GRÁFICO 24 – ERRO PLANIMÉTRICO E ALTIMÉTRICO  
ESTAÇÃO TESTE "EDIT"****GRÁFICO 25 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS CONSIDERANDO TODAS  
AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS – ESTAÇÃO TESTE "EDIT"**

GRÁFICO 26 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS DESCONSIDERANDO AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS DURANTE O PERÍODO DE SINTONIZAÇÃO – ESTAÇÃO TESTE “EDIT”

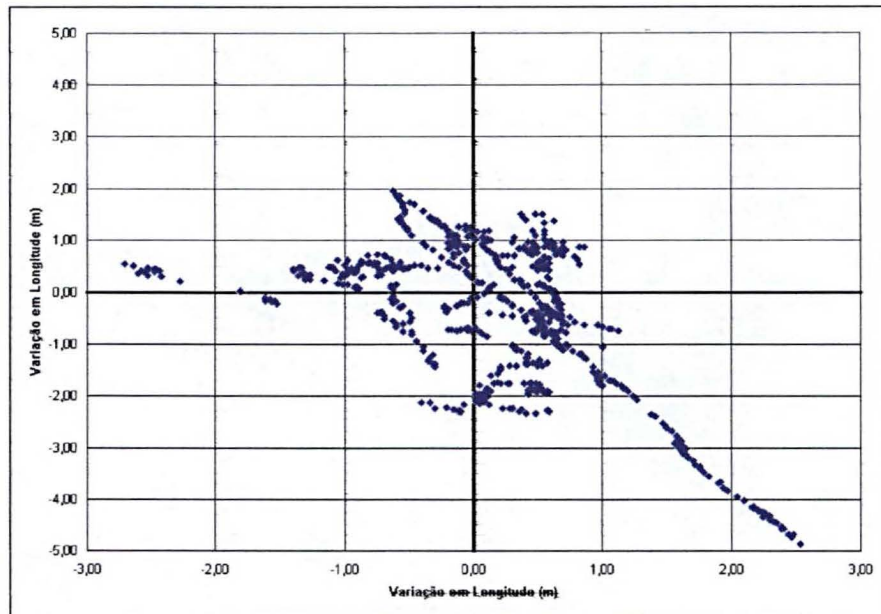
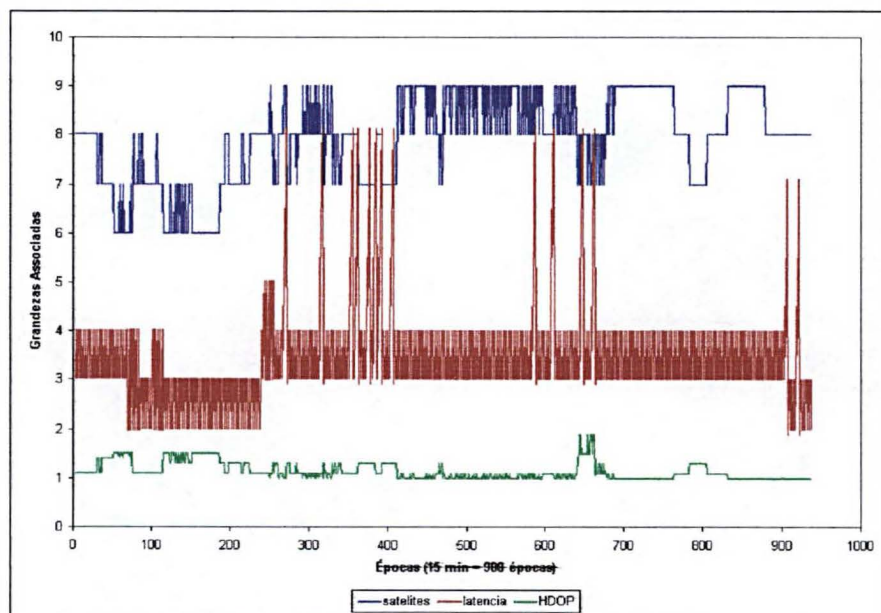


GRÁFICO 27 – PARÂMETROS DO RASTREIO ESTAÇÃO TESTE “EDIT”



### (h) Estação Teste "ROND"

GRÁFICO 28 – ERRO PLANIMÉTRICO E ALTIMÉTRICO  
ESTAÇÃO TESTE "ROND"

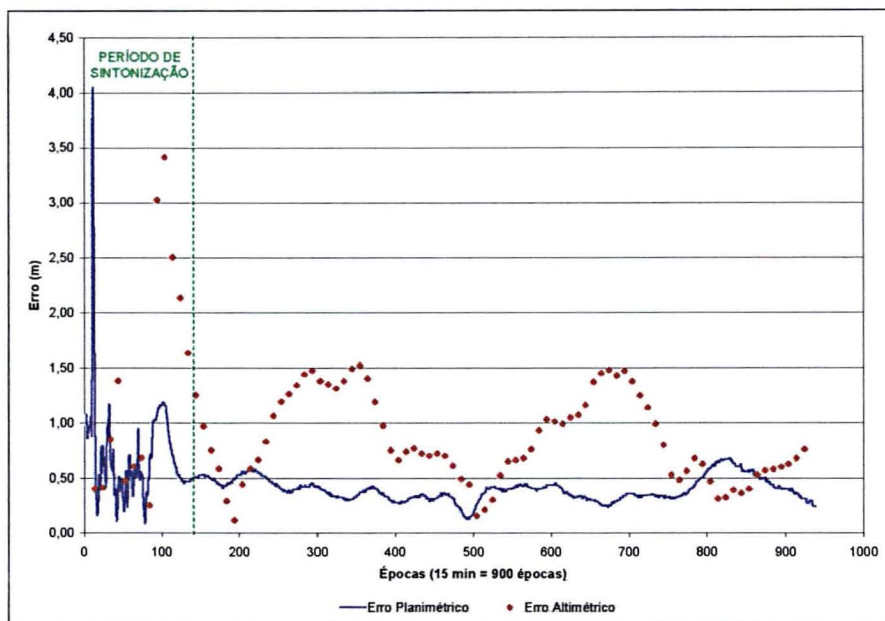


GRÁFICO 29 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS CONSIDERANDO TODAS  
AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS – ESTAÇÃO TESTE "ROND"

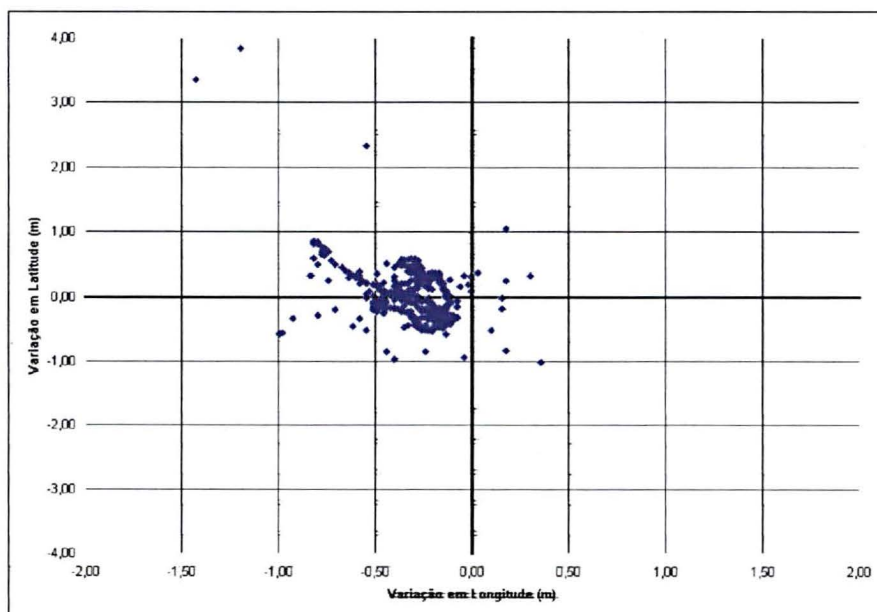


GRÁFICO 30 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS DESCONSIDERANDO AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS DURANTE O PERÍODO DE SINTONIZAÇÃO - ESTAÇÃO TESTE "ROND"

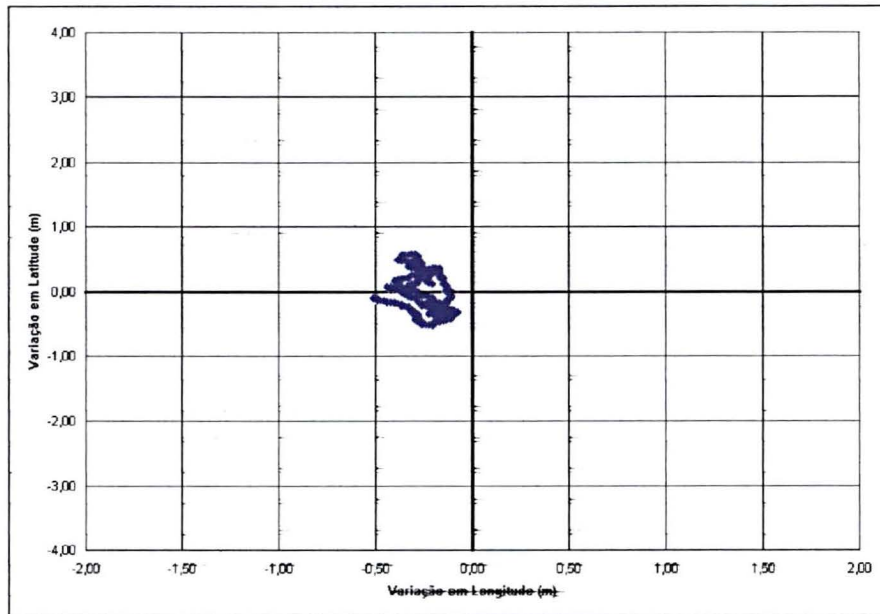
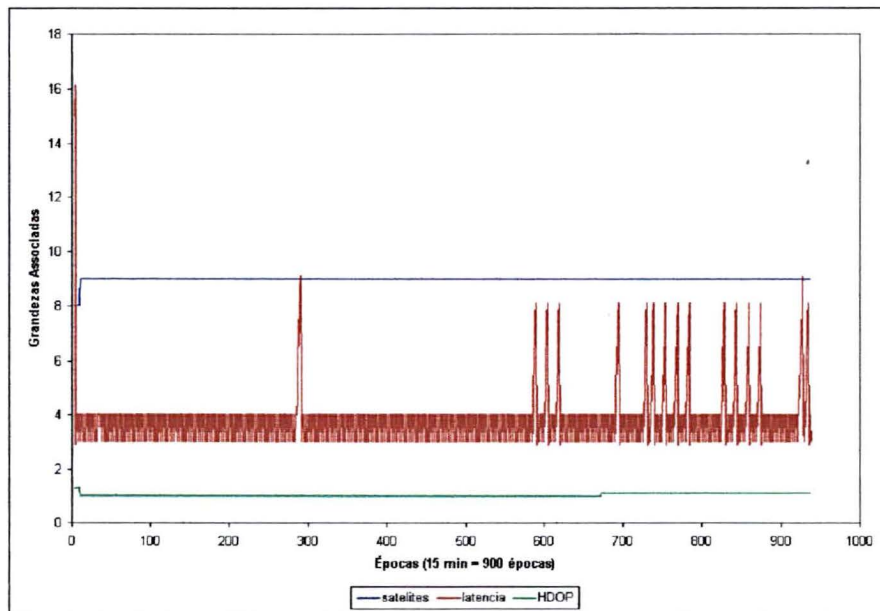


GRÁFICO 31 - PARÂMETROS DO RASTREIO ESTAÇÃO TESTE "ROND"



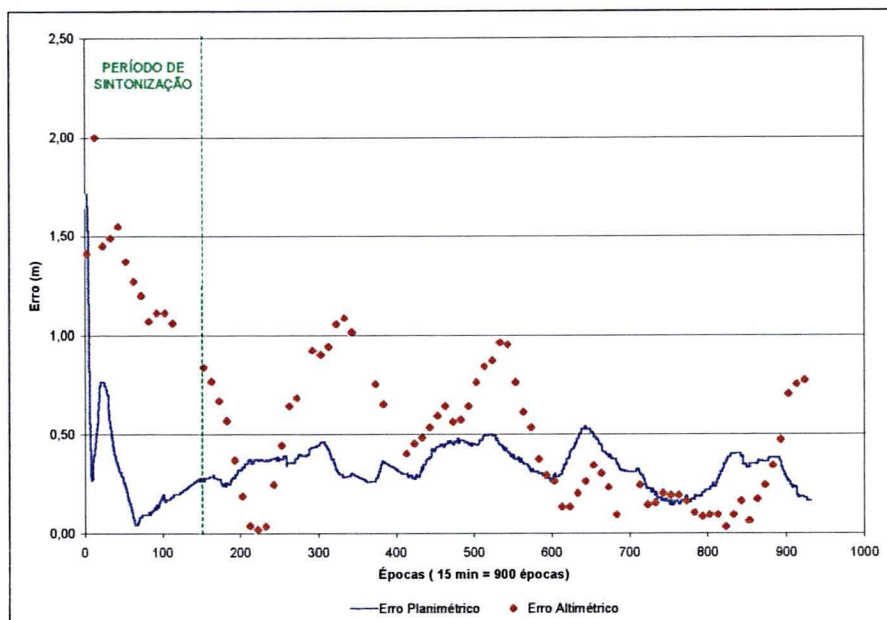
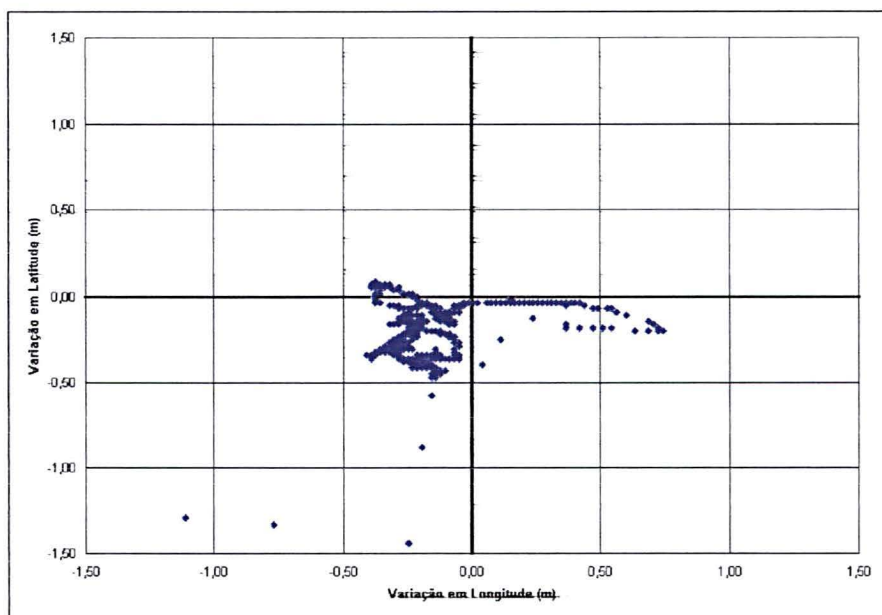
**(i) Estação Teste "CHRI"****GRÁFICO 32 – ERRO PLANIMÉTRICO E ALTIMÉTRICO  
ESTAÇÃO TESTE "CHRI"****GRÁFICO 33 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS CONSIDERANDO TODAS  
AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS – ESTAÇÃO TESTE "CHRI"**

GRÁFICO 34 - DISPERSÃO DA SOLUÇÃO DGPS DESCONSIDERANDO AS INFORMAÇÕES REGISTRADAS DURANTE O PERÍODO DE SINTONIZAÇÃO - ESTAÇÃO TESTE "CHRI"

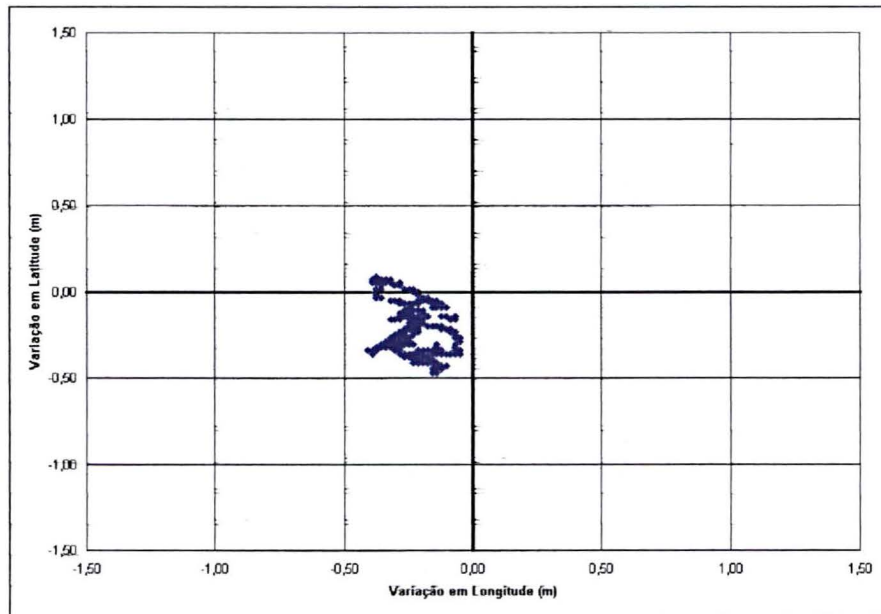
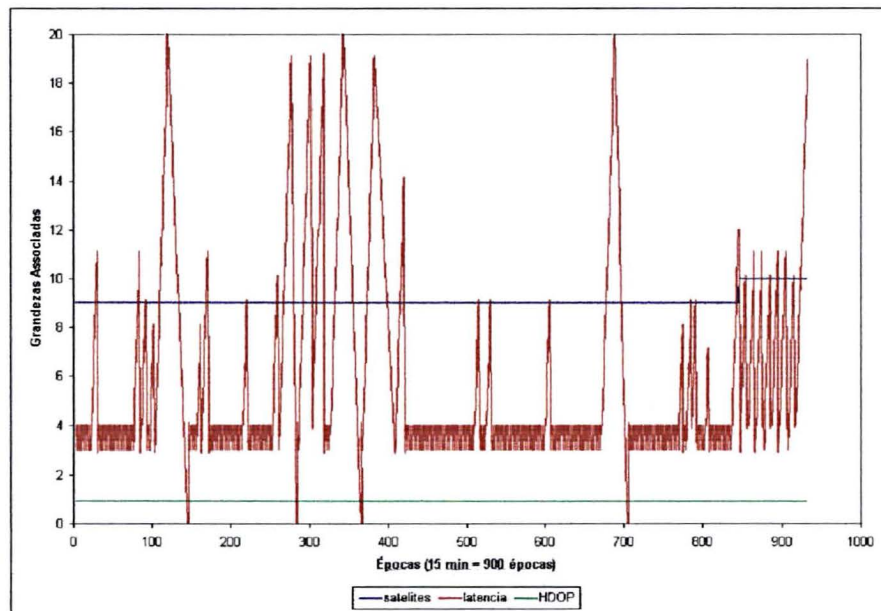


GRÁFICO 35 - PARÂMETROS DO RASTREIO ESTAÇÃO TESTE "CHRI"



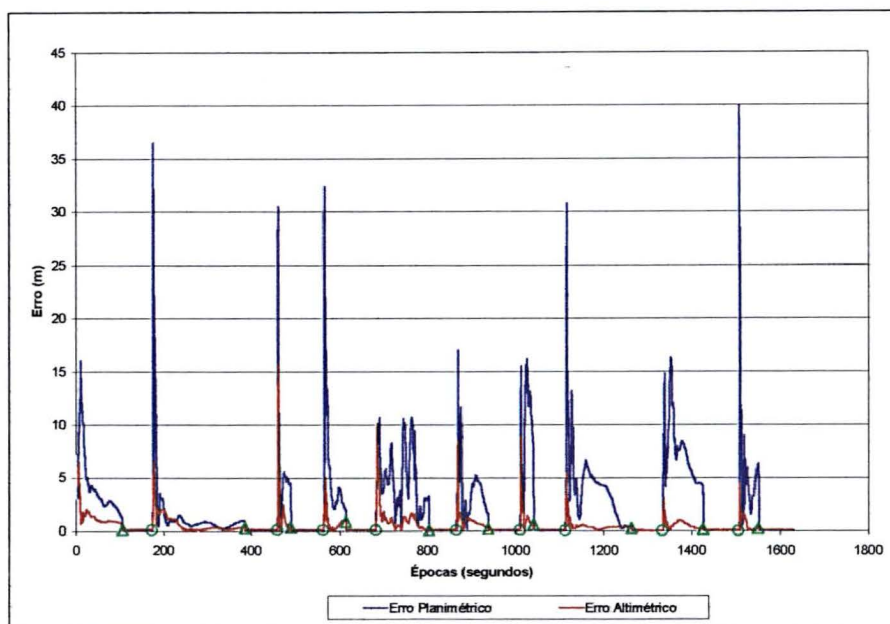


## ANEXO 4

### LEVANTAMENTO RTK

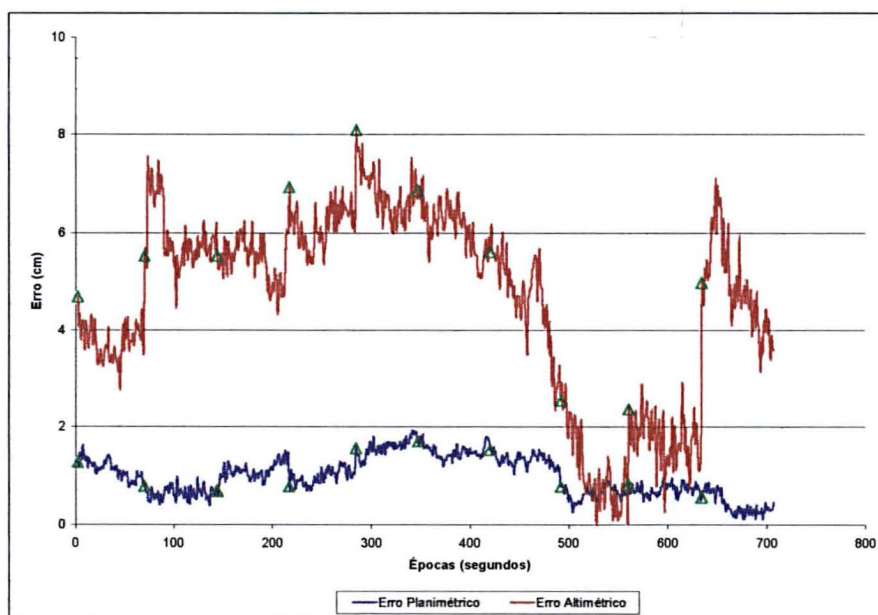
#### (a) Estação Teste "PIL2"

GRÁFICO 01 – PROCESSO DE REINICIALIZAÇÃO DA SOLUÇÃO NA TÉCNICA RTK - ESTAÇÃO TESTE "PIL2"



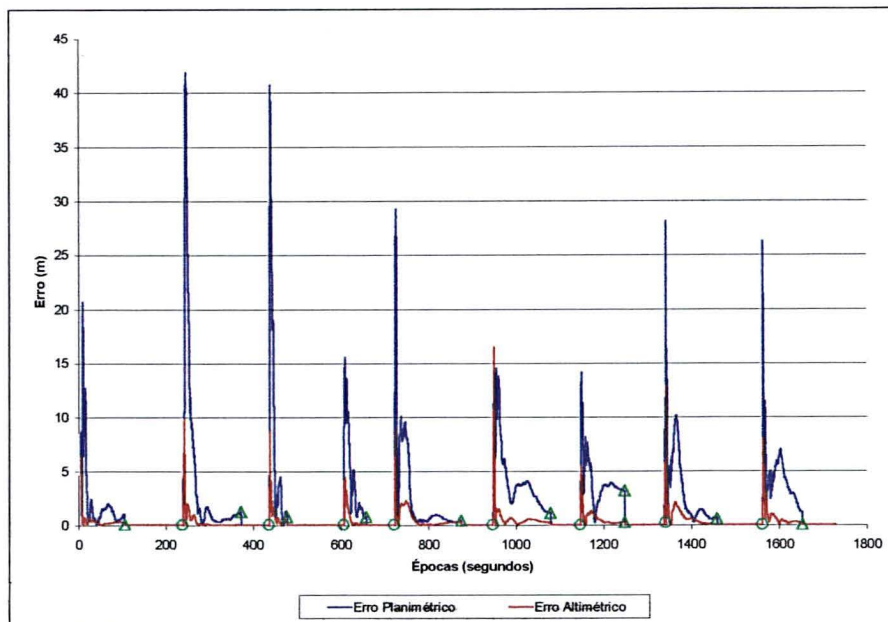
Nota:  $\triangle$  indica o instante de tempo no qual a ambigüidade inteira é fixada.  
 $\circ$  indica o instante de tempo no qual ocorreu a "reinicialização" da solução.

GRÁFICO 02 – ERROS PLANIMÉTRICOS E ALTIMÉTRICOS NA SOLUÇÃO RTK - ESTAÇÃO TESTE "PIL2"



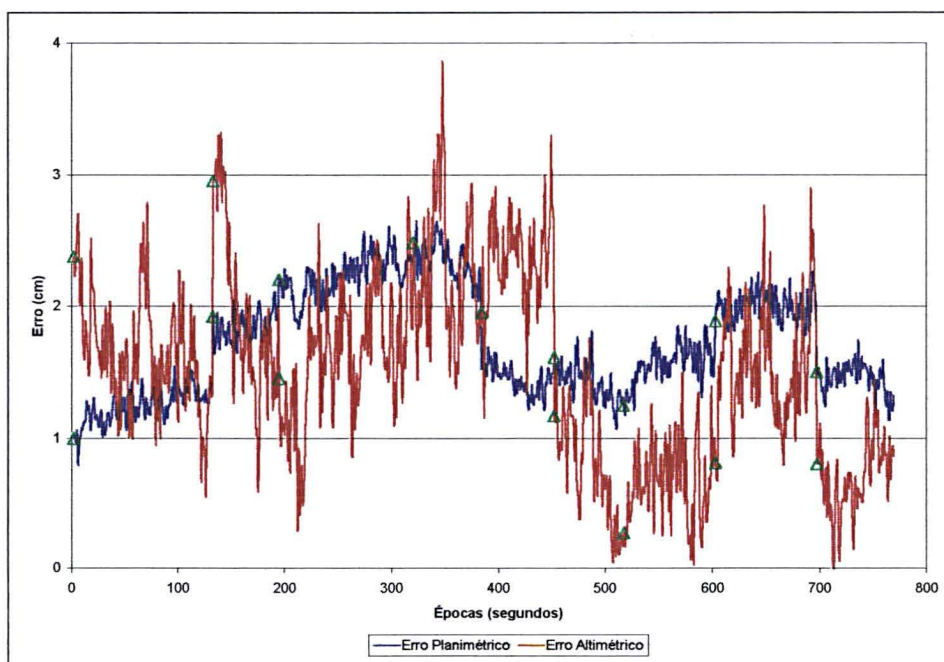
## (b) Estação Teste "PIL3"

GRÁFICO 03 – PROCESSO DE REINICIALIZAÇÃO DA SOLUÇÃO NA TÉCNICA RTK - ESTAÇÃO TESTE "PIL3"



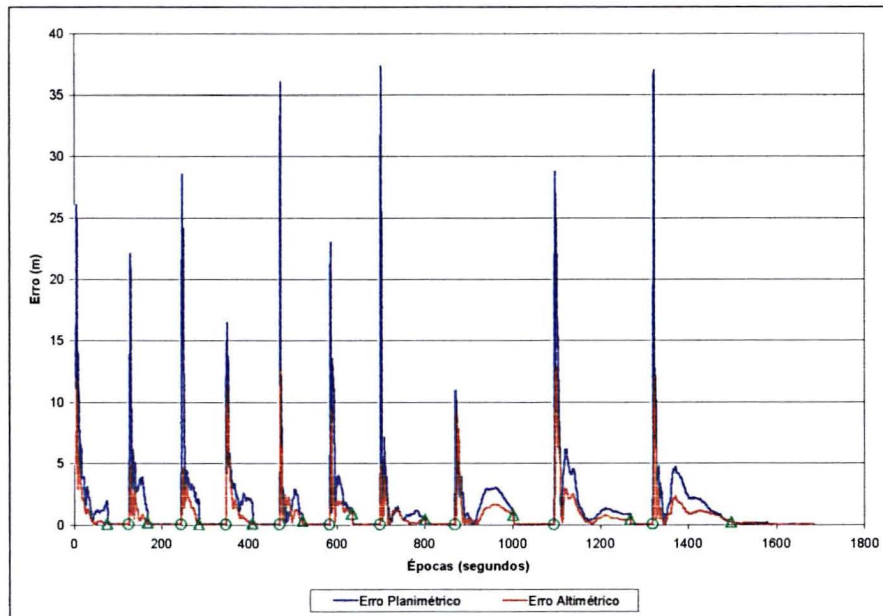
Nota:  $\triangle$  indica o instante de tempo no qual a ambigüidade inteira é fixada.  
 $\circ$  indica o instante de tempo no qual ocorreu a "reinicialização" da solução.

GRÁFICO 04 – ERROS PLANIMÉTRICOS E ALTIMÉTRICOS NA SOLUÇÃO RTK - ESTAÇÃO TESTE "PIL3"



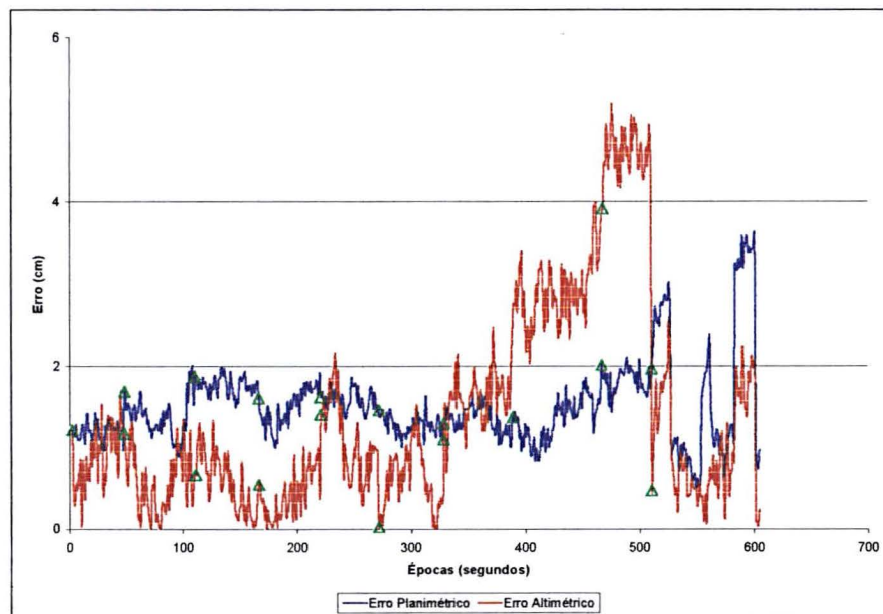
## (c) Estação Teste “JBOT”

GRÁFICO 05 – PROCESSO DE REINICIALIZAÇÃO DA SOLUÇÃO NA TÉCNICA RTK - ESTAÇÃO TESTE “JBOT”



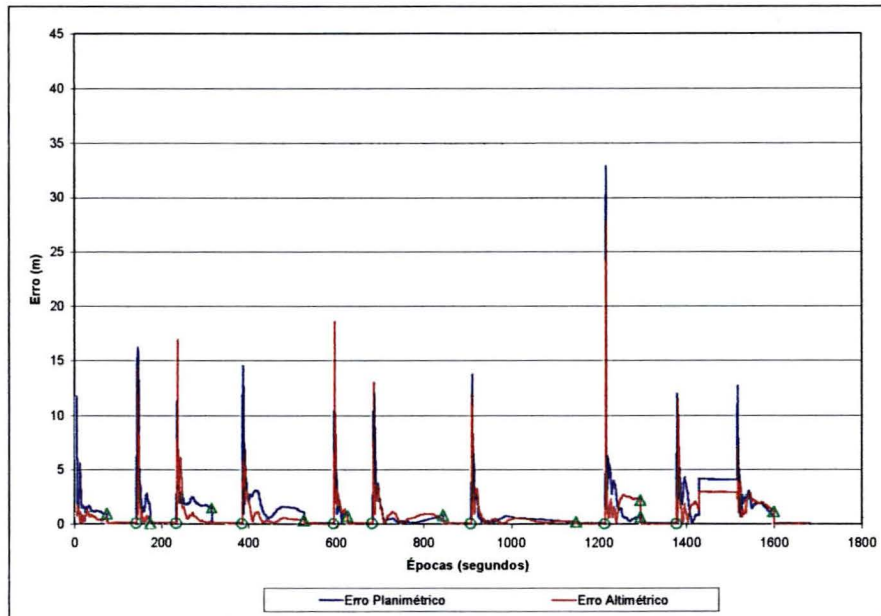
Nota:  $\triangle$  indica o instante de tempo no qual a ambigüidade inteira é fixada.  
 $\circ$  indica o instante de tempo no qual ocorreu a “reinicialização” da solução.

GRÁFICO 06 – ERROS PLANIMÉTRICOS E ALTIMÉTRICOS NA SOLUÇÃO RTK - ESTAÇÃO TESTE “JBOT”



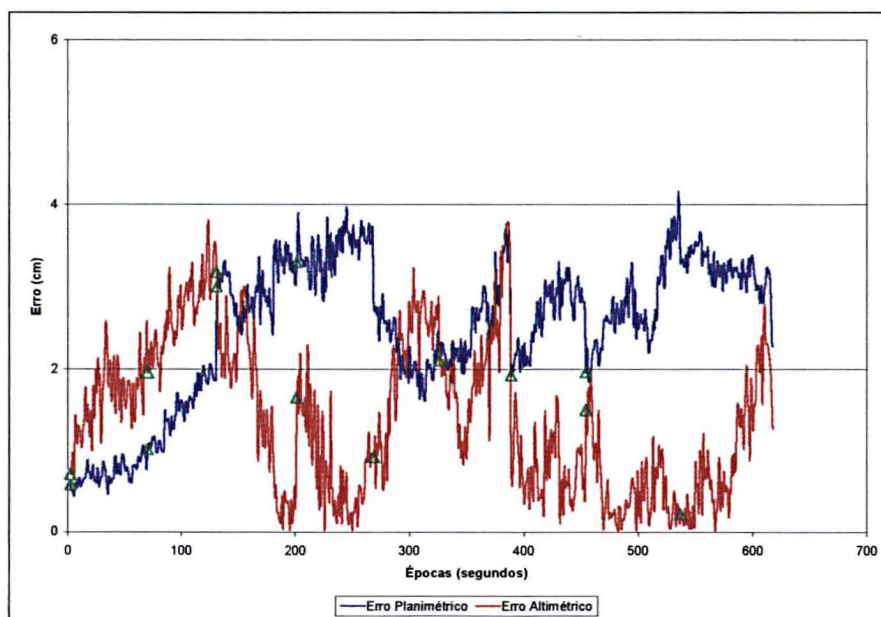
## (d) Estação Teste "FOOT"

GRÁFICO 07 – PROCESSO DE REINICIALIZAÇÃO DA SOLUÇÃO NA TÉCNICA RTK - ESTAÇÃO TESTE "FOOT"



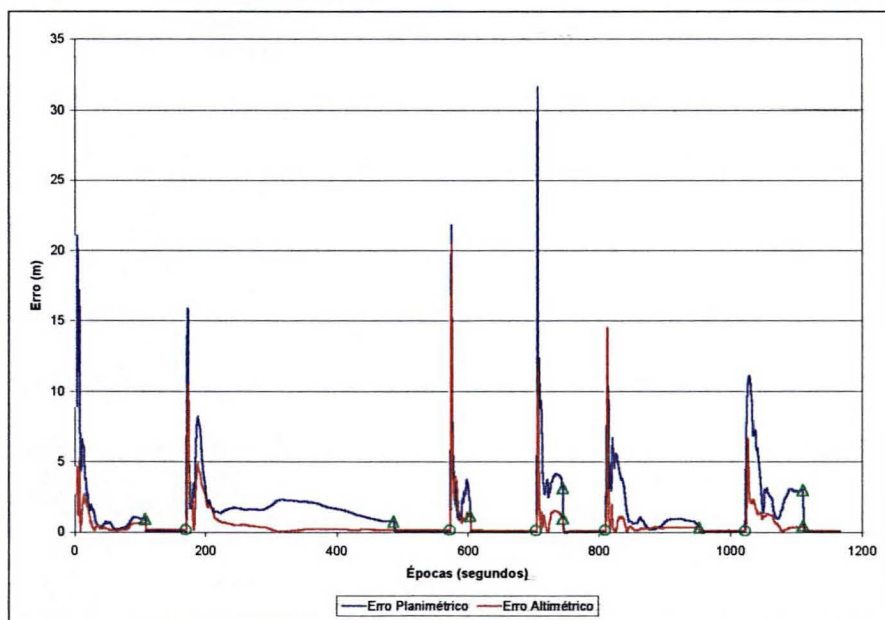
Nota:  $\triangle$  indica o instante de tempo no qual a ambigüidade inteira é fixada.  
 $\circ$  indica o instante de tempo no qual ocorreu a "reinicialização" da solução.

GRÁFICO 08 – ERROS PLANIMÉTRICOS E ALTIMÉTRICOS NA SOLUÇÃO RTK - ESTAÇÃO TESTE "FOOT"



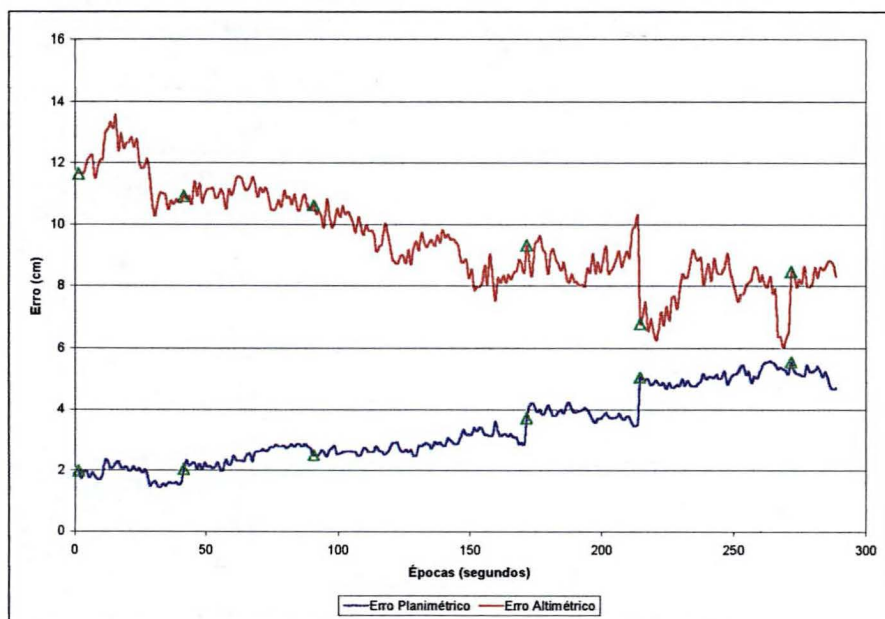
## (e) Estação Teste "KM03"

GRÁFICO 09 – PROCESSO DE REINICIALIZAÇÃO DA SOLUÇÃO NA TÉCNICA RTK - ESTAÇÃO TESTE "KM03"



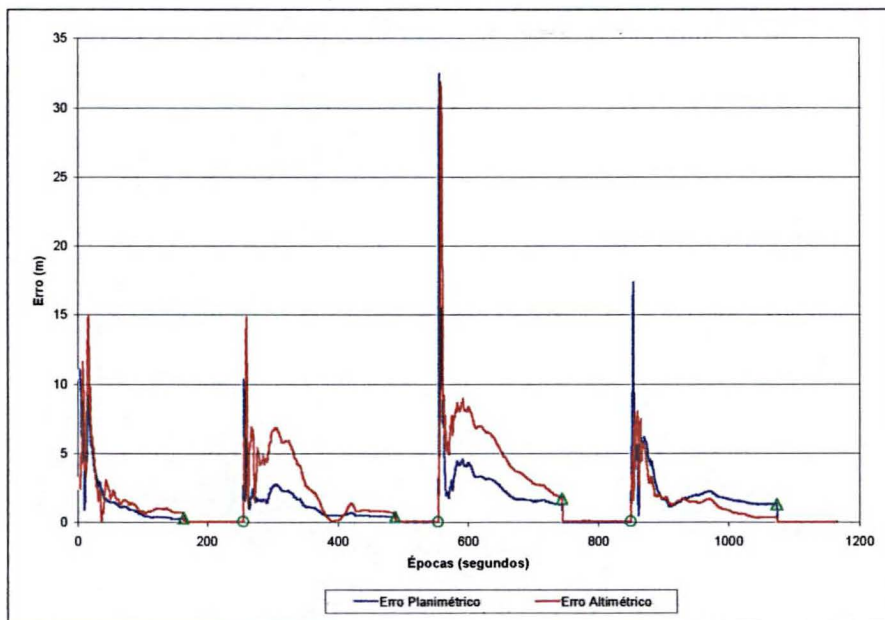
Nota:  $\triangle$  indica o instante de tempo no qual a ambigüidade inteira é fixada.  
 $\circ$  indica o instante de tempo no qual ocorreu a "reinicialização" da solução.

GRÁFICO 10 – ERROS PLANIMÉTRICOS E ALTIMÉTRICOS NA SOLUÇÃO RTK - ESTAÇÃO TESTE "KM03"



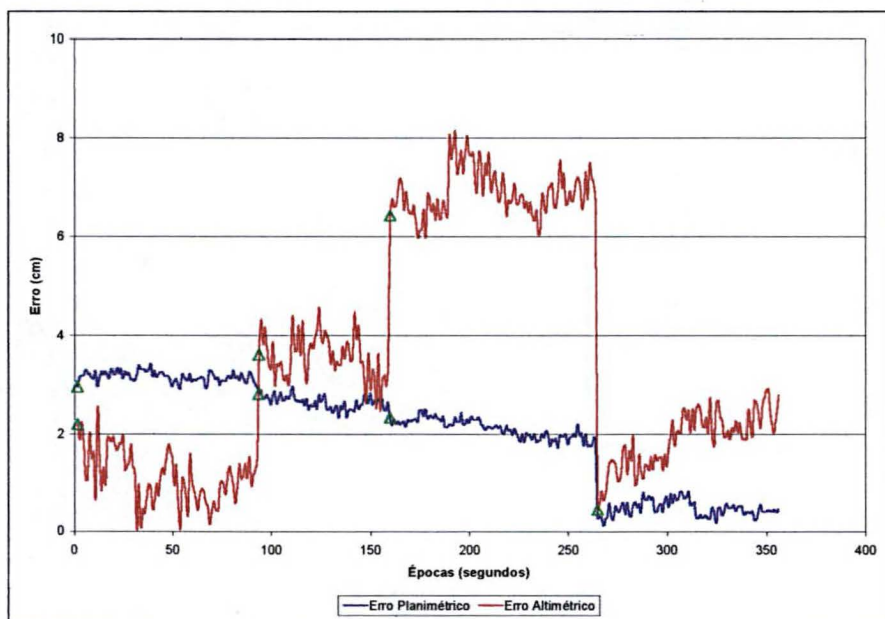
(f) Estação Teste “ROND”

GRÁFICO 11 – PROCESSO DE REINICIALIZAÇÃO DA SOLUÇÃO NA TÉCNICA RTK - ESTAÇÃO TESTE “ROND”



Nota:  $\triangle$  indica o instante de tempo no qual a ambigüidade inteira é fixada.  
 $\circ$  indica o instante de tempo no qual ocorreu a “reinicialização” da solução.

GRÁFICO 12 – ERROS PLANIMÉTRICOS E ALTIMÉTRICOS NA SOLUÇÃO RTK - ESTAÇÃO TESTE “ROND”



**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 01 ABIDIN, H. Z.; WELLS, D. E.; KLEUSBERG, A. **Some Aspects of 'On the Fly' Ambiguity Resolution**. 1992, p.661.
- 02 ASHTECH *Inc* **Ashtech Z-XII™ GPS Receiver Operating Manual**. Maio, 1994, p.153-172.
- 03 BAUERSIMA, I. **NAVSTAR/Global Positioning System (GPS), Mitteilung der Satelliten**. Beobachtungsstation Zimmerwald, n.10, Astronomical Institut University of Berne, 1983
- 04 BRIONES, A. B. **Análise do Posicionamento DGPS baseado nas ERDGPS implantadas no Litoral Brasileiro**. Curitiba, 1999. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas), CPGCG, Universidade Federal do Paraná (UFPR).
- 05 CAMARGO, P. O. **Modelo regional da Ionosfera para Uso em Posicionamento com Receptores GPS de uma Frequência**. Curitiba, 1999. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas), CPGCG, Universidade Federal do Paraná (UFPR).
- 06 CANADA **GPS Positioning Guide: a user's guide to the Global Positioning System**. Canadian Geodetic Survey Division, 3ª ed., 1995.
- 07 CANSPACE, **Lista de discussão na Internet sobre Geodésia Espacial**, Maio 2000.
- 08 \_\_\_\_\_, **Lista de discussão na Internet sobre Geodésia Espacial**, Julho 2001.
- 09 CARVALHO, L. D. **Análise das técnicas GPS atuais para os posicionamentos estáticos e cinemáticos em bases curtas**. Curitiba, 1999. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas), CPGCG, Universidade Federal do Paraná (UFPR).
- 10 CRIOLLO, A. R. T. **Comparação da Precisão dos Métodos Cinemáticos para distâncias Menores a Dez Quilômetros**. Curitiba, 1993. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas), CPGCG, Universidade Federal do Paraná (UFPR).
- 11 EL-MOWAFY, A. **Performance Analysis of the RTK Technique in an Urban Environment**. The Australian Surveyor, Vol.45, n.1, 2000.
- 12 FARRET, J. C. **O Efeito do Multicaminho Estático nas Medidas da Fase da Portadora**. Curitiba, 2000. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas), CPGCG, Universidade Federal do Paraná (UFPR).

- 13 FERREIRA, L. D. D. **Apostila de Dinâmica Orbital**. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (CPGCG), Universidade Federal do Paraná (UFPR), 1998.
- 14 FFOULKES-JONES, G.; CONSADIER, D. **Utilizing a Low Cost Receiver for Centimeter to Sub-meter Accuracy Real-Time and Post-Processed Applications**. ION GPS-95, 1995.
- 15 FREI, E.; BEUTLER, G. **Rapid Static Positioning based On the fast Ambiguity Resolution Approach "FARA": theory and first results**. Manuscripta Geodaetica, Vol. 15, n.6, 1990.
- 16 GAO, Y.; Li, Z.; MCLELLAN, J. F. **Carrier Phase based Regional Area Differential GPS for Decimeter-Level Positioning and Navigation**. ION GPS-97, 1997.
- 17 GAO, Y. **A GPS positioning Results using Precise Satellite Ephemerides, Clock Corrections and Ionospheric Grid Model with Jupiter™**. ION GPS-95, 1995.
- 18 GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. Curitiba: Editora UFPR, 1994.
- 19 GOGUEN, J. P. T.; ALLISON, T. **Precise RTK Positioning using the New RTCM-104 V2.1 Standard**. ION GPS-96, 1996.
- 20 GROVES, K. M.; BASU, S.; BISHOP, G. J.; WEBER, E. J.; QUINN, J. M. **Ionospheric Effects on GPS Navigation**. ION GPS-96, 1996.
- 21 HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, J.; COLLINS, J. **GPS: Theory and Practice**. New York: Springer Verlag Wien, 3<sup>a</sup> ed., 1994.
- 22 IBGE, **Relatório final sobre o Sistema de Referência Geocêntrico para América do Sul**. Grupo de Trabalho I e II. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, Departamento de Geodésia, 1997.
- 23 ISHIKAWA, M. I. **Efeitos de Multicaminhamento em Levantamentos utilizando GPS aplicados ao Cadastro Técnico Urbano**. Florianópolis: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC, 2000
- 24 KAHMEN, H. e FAIG, W. **Surveying**. Berlin e New York: Walter de Gruyter, 1988, p.487.
- 25 KRUEGER, C. P. **Relatório Consolidado dos Resultados encaminhado ao CNPQ, Projeto de Pesquisa para uma Cooperação entre o Brasil e a Alemanha**. Projeto de Pesquisa nº 910248197-4, Curitiba: 2001.



- 26 KRUEGER, C. P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. Curitiba, 1996. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas), CPGCG, Universidade Federal do Paraná (UFPR).
- 27 LACHAPELLE, G.; HAGGLUND, J.; FALKENBERG, W.; BELLEMARE, P.; CASEY, M.; EATON, M. **GPS Land Kinematic Positioning Experiments**. Proceedings of the Fourth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Austin, Vol.2, 1986.
- 28 LANGLEY, R. **RTK GPS**. GPS World, Setembro 1995.
- 29 McDONALD, K.D. **GPS improvements in the next decade**. Newsletter of the Institute of Navigation, v.9, n.1, 1999.
- 30 MEDINA, A. S. **Classificação de Teodolitos e Estações Totais na UFPR**. Curitiba, 1998. Dissertação (mestrado em Ciências Geodésicas), CPGCG, Universidade Federal do Paraná (UFPR).
- 31 MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2000.
- 32 MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. Presidente Prudente: Notas de Aula, 1997.
- 33 NATALI, M. P. **Influencia de las Ambiuüidades en la Determinación de Alturas Precisas com GPS**. La Plata: 2000. Práctica de la Especialidad, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata.
- 34 ROTACHER, M.; MERVART, L. **Bernese GPS Software V4.0**. Astronomical Institut University of Berne, 1996
- 35 **RTCM V2.2 Radio Technical for Maritime Services: RTCM recommended standards for diffential GNSS service V2.2** Alexandria (EUA), 1998.
- 36 SANTOS, M. C. **Posicionamento por GPS**. Curso ministrado na EXPOGEO Brasil 99, Curitiba, 1999.
- 37 SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications**. Berlin e New York, 1993.
- 38 TALBOT, N. C. **Compact Data Transmission Standard for High-Precision GPS**. ION GPS-96, 1996.
- 39 TEUNISSEN, P. J. G. e KLEUSBERG, A. **GPS for Geodesy**. Delft, 2ª ed., 1998.
- 40 TRIMBLE, **Series 4000 GPS Surveyor**. 1995, p.275-288.

- 41 **WARNANT, R. Influence of the Ionospheric refraction on the Repeatability of Distances Computed by GPS. ION GPS-97, 1997.**
- 42 **WÜBBENA, G.; BAGGE, A.; SEEBER, G.; BÖDER, V.; HANKEMEIER, P. Reducing Distance Dependent Errors for Real-Time Precise DGPS Applications by Establishing Reference Station Networks. ION GPS-96, 1996.**
- 43 **WÜBBENA, G. Zur modellierung von GPS; Beobachtungen für die hochgeraue Positonsbestimmg. Tese, Institut für Erdmessung, Univ. Hannover (1991),**