

**LEANDRO JOSÉ DO CARMO POLETO**

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DO GPS NO MONITORAMENTO DE  
DESLOCAMENTOS EM ESTRUTURAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2010

**LEANDRO JOSÉ DO CARMO POLETO**

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DO GPS NO MONITORAMENTO DE  
DESLOCAMENTO EM ESTRUTURAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 04 de junho de 2010.

---

Prof. Dalto Domingos Rodrigues

(Coorientador)

---

Prof. Moisés Ferreira Costa

(Coorientador)

---

Prof. José Luiz Rangel Paes

---

Prof. Verônica Maria Costa Romão

---

Prof. Antônio Simões Silva

(Orientador)

*“Seja a mudança que você deseja ver no mundo.”*

(Mahatma Gandhi)

*"Para alcançar conhecimento, adicione coisas todo dia. Para alcançar sabedoria, elimine coisas todo dia."*

(Lao Tsé)

*Este trabalho é dedicado aos meus pais **Frederico Poletto** e **Maria Aparecida**, pelo seu amor, atenção, apoio e incentivo que sempre dedicaram a mim.*

*Aos meus irmãos Carlos e Tiago.*

*A minha noiva e meu grande amor Cássia.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus por sempre estar do meu lado nas horas fáceis e difíceis em toda minha vida.

Aos meus pais, por sempre me apoiar e por estar sempre presente nesta jornada.

À família, pelo incentivo, apoio e dedicação.

À Cássia Ângela Pedrozo, pelo afeto, companheirismo, incentivo, confiança, dedicação e por sempre me dar conforto e apoio nas horas mais necessitadas.

À CAPES, agência financiadora da bolsa de mestrado.

À Universidade Federal de Viçosa, através do Departamento de Engenharia Civil, pela oportunidade de realização do mestrado.

Ao Professor Orientador Antônio Simões Silva, pela orientação, dedicação ao estudo, incentivo, profissionalismo ético e amizade.

Aos Professores Coorientadores Dalto Domingos Rodrigues e Moisés Ferreira Costa pela orientação, dedicação ao estudo, incentivo, profissionalismo ético e amizade.

Ao Professor Antônio Santana Ferraz, pelo grande apoio educacional e técnico, e pela amizade já formada desde os tempos de graduação.

Aos professores do Setor de Engenharia de Agrimensura, pelos ensinamentos, apoio e amizade.

Ao Laboratório de Engenharia de Agrimensura, por fornecer os instrumentos e aparelhos necessários.

À Tatiane Vilela, Carlos Crespo, Edneya Gomes da Silva e Leonardo Campos Assis pela grande amizade e pelo bom convívio criado durante a vida acadêmica.

Aos amigos Alessandro Carvalho, Julierme Wagner e Leandro Carvalho pela ajuda salientando dúvidas e informações pertinentes ao tema da dissertação.

Aos colegas Afonso Santos, Antônio Prata, Graziela Costa, Inês, Kelison, Leila, Sandro Faria, Sebastião e Wellington pelo apoio e pela amizade no decorrer do mestrado.

## **BIOGRAFIA**

LEANDRO JOSÉ DO CARMO POLETO, filho de Frederico Poletto e Maria Aparecida Araújo do Carmo Poletto, nasceu em 04 de julho de 1981, na cidade de Viçosa, Minas Gerais.

Em 2002, ingressou no Curso de Engenharia de Agrimensura na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG, concluindo a graduação em 2007.

Em agosto de 2007, ingressou na pós-graduação através do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Área de Concentração em Informações Espaciais e Linha de Pesquisa Geodésia Aplicada, em nível de mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa da dissertação em 04 de junho de 2010.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE SÍMBOLOS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xv</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xvii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Justificativa.....	3
1.2 Hipótese.....	3
1.3 Objetivos.....	3
1.4 Estruturação da Dissertação.....	4
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Posicionamento pelo GNSS.....	5
2.1.1 Aspectos gerais.....	5
2.1.2 Erros inerentes ao Sistema GNSS.....	7
2.2 Sistema de coordenadas geodésicas, cartesianas tridimensionais e topocêntricas.....	11
2.3 Sistema de referência geodésico - Geodetic Reference System 1980 - GRS80 e SIRGAS 2000.....	13
2.4 Ajustamento de Observações.....	14
2.5 Elipse dos Erros.....	16
2.6 Análise estatística.....	17
2.6.1 Teste Global do Modelo (TGM).....	18
2.6.2 Teste <i>Data Snooping</i> .....	20
2.6.3 Confiabilidade.....	23
2.6.3.1 Confiabilidade interna.....	24
2.6.3.2 Confiabilidade externa.....	27
2.6.4 Teste de Congruência.....	27
2.7 Uso do GPS no monitoramento do deslocamento de estruturas.....	30
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>32</b>
3.1 Área de estudo.....	32
3.2 Equipamentos.....	33
3.3 Procedimento de campo.....	34

3.4	Processamento das observações GNSS. ....	36
3.5	Rotina em <i>MATLab</i> . ....	40
3.5.1	Ajustamento da linha de base obtida após o processamento das observações GPS. ....	42
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>45</b>
4.1.	Análise do ajustamento, confiabilidade e Teste de Congruência. ....	45
4.2.	Ajustamento das observações. ....	54
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>64</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>66</b>
	<b>APÊNDICE 1</b> .....	<b>69</b>
	<b>APÊNDICE 2</b> .....	<b>72</b>
	<b>APÊNDICE 3</b> .....	<b>77</b>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$dx$	Componente da linha de base na direção $x$ .
$dy$	Componente da linha de base na direção $y$ .
$dz$	Componente da linha de base na direção $z$ .
$\sigma_{dx}$	Desvio padrão da componente em $x$ .
$\sigma_{dy}$	Desvio padrão da componente em $y$ .
$\sigma_{dz}$	Desvio padrão da componente em $z$ .
$X, Y, Z$	Coordenadas cartesianas.
$\varphi, \lambda, h$	Coordenadas geodésicas.
$V$	Vetor dos resíduos.
$P$	Matriz dos pesos.
$L_a$	Vetor das observações ajustadas.
$L_0$	Vetor das observações aproximadas.
$L_b$	Vetor das observações brutas.
$A$	Matriz das derivadas parciais.
$X_0$	Vetor dos parâmetros aproximados.
$X_a$	Vetor dos Parâmetros ajustados.
$X$	Vetor das correções.
$\sigma_0^2$	Variância de referência <i>a priori</i> .
$\hat{\sigma}_0^2$	Variância de referência <i>a posteriori</i> .
$\chi^2$	Distribuição qui-quadrado.
$H_0$	Hipótese nula.
$H_a$	Hipótese alternativa.

$\alpha$	Nível de significância.
$\omega_i$	Resíduos individuais no Teste <i>Data Snooping</i> .
$\tau$	Valor crítico de <i>Tau</i> .
$n$	Graus de liberdade.
$\alpha_0$	Nível de significância para o erro tipo I.
$\beta$	Nível de significância para o erro tipo II.
$\delta_0$	Parâmetro de não centralidade.
$R$	Matriz de redundância.
$MED$	Menor erro detectável.
$\lambda$	Influência do erro na determinação dos parâmetros.
$\sigma_x$	Desvio padrão em $X$ .
$\sigma_y$	Desvio padrão em $Y$ .
$\sigma_z$	Desvio padrão em $Z$ .
P00	Posição do GPS na origem 0mm.
P05	Posição do GPS em 05 mm da origem.
P15	Posição do GPS em 15 mm da origem.
P35	Posição do GPS em 35 mm da origem.
P60	Posição do GPS em 60 mm da origem.
$\varphi$	Componente angular da elipse dos erros.
$a$	Semi-eixo maior da elipse dos erros.
$b$	Semi-eixo menor da elipse dos erros.
$h$	Componente vertical da elipse dos erros.
$F(X)$	Função de $X$ .

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GPS	<i>Global Positioning System.</i>
MMQ	<i>Método dos Mínimos Quadrados.</i>
SIRGAS	<i>Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas.</i>
DoD	<i>Department of Defense.</i>
JPO	<i>Joint Program Office.</i>
NAVSTAR	<i>Navigation system with Timing and Ranging.</i>
IOC	<i>Initial Operational Capability.</i>
FOC	<i>Full Operational Capability.</i>
WGS	<i>World Geodetic System.</i>
UTC	<i>Universal Coordinate Time.</i>
SPS	<i>Standard Positioning Service.</i>
PPS	<i>Precise Positioning Service.</i>
SA	<i>Selective Availability.</i>
A-S	<i>Anti-Spoofing.</i>
PRN	<i>Pseudorandom noise code.</i>
C/A	<i>Coarse Acquisition.</i>
CSOC	<i>Consolidated Space Operations Center.</i>
ppb	Partes por bilhão.
ppn	Pontos por milhão.
TEC	<i>Total Electron Contents.</i>
$f_0$	Frequência fundamental do sistema GPS.
ITRF	<i>International Terrestrial Reference Frame.</i>
ITRS	<i>International Terrestrial Reference System.</i>
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo.
GRS	<i>Geodetic Reference System.</i>

TGM	Teste Global do Modelo.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
UFV	Universidade Federal de Viçosa.
VICO	Estação RBMC localizada na laje do Centro de Vivência – Campus da UFV.
DERH	Nome da estação localizada sobre a laje do prédio do Departamento de Letras.
META	Nome da estação localizada na Estação Meteorológica da UFV.
IGS	<i>International GNSS service.</i>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Coordenadas geodésicas.....	11
Figura 02 - Sistema de coordenadas cartesianas tridimensionais. ....	12
Figura 03 - Sistema de coordenadas topocêntrico.....	12
Figura 04 - Elipse dos erros e curva podária.....	17
Figura 05 - Relação entre $\alpha_0$ , $\beta_0$ e $\delta_0$ .....	25
Figura 06 - Localização das estações no campus da UFV.....	33
Figura 07 - Peça utilizada na simulação de deslocamento.....	34
Figura 08a - Posição 0mm .....	35
Figura 08b - Posição 5mm .....	35
Figura 08c - Posição 15mm .....	35
Figura 08d - Posição 35mm .....	35
Figura 08e - Posição 60mm .....	35
Figura 09 - Localização e representação espacial dos marcos.....	37
Figura 10 - Dado de entrada para a rotina ENTRADA referente à posição P00. ....	42
Figura 11 - Dado de entrada para a rotina ENTRADA referente à posição P05. ....	42
Figura 12 - Dado de entrada para a rotina ENTRADA referente à posição P15. ....	43
Figura 13 - Dado de entrada para a rotina ENTRADA referente à posição P35. ....	43
Figura 14 - Dado de entrada para a rotina ENTRADA referente à posição P60. ....	43
Figura 15 - Dispersão dos resíduos para a posição P00.....	47
Figura 16 - Dispersão dos resíduos para a posição P05.....	47
Figura 17 - Dispersão dos resíduos para a posição P15.....	48
Figura 18 - Dispersão dos resíduos para a posição P35.....	48
Figura 19 - Dispersão dos resíduos para a posição P60.....	48
Figura 20 - Dispersão do valor de $Tau$ calculado para a posição P00. ....	49
Figura 21 - Dispersão do valor de $Tau$ calculado para a posição P05. ....	49
Figura 22 - Dispersão do valor de $Tau$ calculado para a posição P15. ....	49
Figura 23 - Dispersão do valor de $Tau$ calculado para a posição P35. ....	49
Figura 24 - Dispersão do valor de $Tau$ calculado para a posição P60. ....	49
Figura 25 - Dispersão da redundância em cada observação para a posição P00. ....	50
Figura 26 - Dispersão da redundância em cada observação para a posição P05. ....	50

Figura 27 - Dispersão da redundância em cada observação para a posição P15. ....	51
Figura 28 - Dispersão da redundância em cada observação para a posição P35. ....	51
Figura 29 - Dispersão da redundância em cada observação para a posição P60. ....	51
Figura 30 - Dispersão MED para a posição P00. ....	51
Figura 31 - Dispersão do MED para a posição P05. ....	52
Figura 32 - Dispersão do MED para a posição P15. ....	52
Figura 33 - Dispersão do MED para a posição P35. ....	52
Figura 34 - Dispersão do MED para a posição P60. ....	52
Figura 35 - Dispersão da influência do MED para a posição P00. ....	53
Figura 36 - Dispersão da influência do MED para a posição P05. ....	53
Figura 37 - Dispersão da influência do MED para a posição P15. ....	53
Figura 38 - Dispersão da influência do MED para a posição P35. ....	53
Figura 39 - Dispersão da influência do MED para a posição P60. ....	54
Figura 40a - Posição P00 .....	58
Figura 40b - Posição P05 .....	58
Figura 40c - Posição P15 .....	59
Figura 40d - Posição P35 .....	59
Figura 40e - Posição P60 .....	59
Figura 41 - Representação em planta as posições deslocadas e suas respectivas elipses. ....	59
Figura 42 - Relação entre as distâncias de referência medidas em campo e a mesma obtida com o posicionamento por satélite. ....	61
Figura 43 - Análise gráfica do deslocamento em função do Teste de Congruência. .	62
Figura 44 - Análise gráfica do deslocamento em função do Teste de Congruência. .	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Fontes e efeitos dos erros nas observáveis GPS. ....	8
Tabela 02 - Efeito sistemático máximo da refração ionosférica na direção vertical para as portadoras L1, L2 e L0. ....	9
Tabela 03 - Parâmetros fundamentais do GRS80. ....	14
Tabela 04 - Parâmetro de não centralidade. ....	25
Tabela 05 - Posição da antena GPS na barra de simulação de deslocamento. ....	35
Tabela 06 - Tempo de rastreamento com GPS. ....	36
Tabela 07 - Coordenadas dos marcos de apoio. ....	36
Tabela 08 - Linhas de base obtidas para a posição P00. ....	38
Tabela 09 - Linhas de base obtidas para a posição P05. ....	38
Tabela 10 - Linhas de base obtidas para a posição P15. ....	39
Tabela 11 - Linhas de base obtidas para a posição P35. ....	39
Tabela 12 - Linhas de base obtidas para a posição P60. ....	40
Tabela 13 - Informações sobre o ajustamento contando com todas as observações de campo. ....	46
Tabela 14 - Informações sobre o ajustamento agora já excluídas as observações que prejudicavam a qualidade do ajustamento. ....	46
Tabela 15 - Coordenadas da antena ajustadas na posição P00. ....	55
Tabela 16 - Coordenadas da antena ajustadas na posição P05. ....	55
Tabela 17 - Coordenadas da antena ajustadas na posição P15. ....	56
Tabela 18 - Coordenadas da antena ajustadas na posição P35. ....	56
Tabela 19 - Coordenadas da antena ajustadas na posição P60. ....	57
Tabela 20 - Coordenadas topocêntricas das posições da antena GPS. ....	57
Tabela 21 - Elementos da elipse dos erros. ....	58
Tabela 22 - Comparação entre as distâncias de referência medidas em campo com as obtidas com o posicionamento por satélite. ....	60
Tabela 23 - Aplicação do Teste de Congruência. ....	62

## RESUMO

POLETO, Leandro José do Carmo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2010. **Estudo da aplicação do GPS no monitoramento de deslocamento em estruturas.** Orientador: Antônio Simões Silva. Coorientadores: Dalto Domingos Rodrigues e Moisés Ferreira Costa.

O objetivo desta dissertação foi apresentar um estudo quanto ao uso do sistema de posicionamento global aplicado no monitoramento de deslocamento de estruturas. Uma metodologia para determinação das observações, processamento e ajustamento dos dados, além da aplicação de análises estatísticas pertinentes para avaliar os dados obtidos foi apresentada. Duas estações de posicionamento do IBGE, as quais possuem coordenadas e precisão conhecidas, foram utilizadas para obtenção das observações. Ao mesmo tempo foram obtidas, também, as observações em uma placa de simulação de deslocamento instalada em uma terceira estação. Realizou-se cinco dias de observações de campo, sendo que a posição do receptor GPS na placa mudou a cada dia. Para se ter um maior número de observações para o mesmo número de parâmetros a serem determinados, cinco seções de observações por dia foram realizadas. As posições do GPS na placa foram 00, 05, 15, 35 e 60 mm em cada dia de observação, respectivamente. A análise de deslocamento entre estas posições e também das combinações entre elas foi realizada. Todas as observações foram obtidas no Campus da Universidade Federal de Viçosa. A partir das observações GPS obtiveram-se as linhas de base, as quais foram submetidas ao ajustamento com o apoio de rotinas programadas em MATLAB. Nestas rotinas foram realizados o ajustamento, a análise de confiabilidade e o teste de congruência. Como resultado, as coordenadas dos pontos no sistema cartesiano e no sistema topocêntrico com suas respectivas precisões foram obtidas. Com o teste de congruência foi possível detectar a existência de deslocamento. Foi possível identificar a diferença entre a distância deslocada em campo e a obtida com GPS. Adicionalmente, pelo cálculo das elipses dos erros, foi possível identificar, também, o erro em todas as direções.

## ABSTRACT

POLETO, Leandro José do Carmo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2010. **Study of application of GPS in monitoring of dislocation in structures.** Adviser: Antônio Simões Silva. Co-Advisers: Dalto Domingos Rodrigues and Moisés Ferreira Costa.

The objective of this thesis was to present a study of the global positioning system used to monitor the displacement of structures. A methodology to determine the observations, processing and data adjustment besides of the application of relevant statistical analysis to evaluate the obtained data was presented. Two positioning stations of the IBGE, which possess coordinates and accuracy known, were used to obtain the observations. At the same time were also obtained the observations in a simulation plate of displacement, which was installed in a third station. Five days of field observations were performed. The position of the GPS receiver in the plate was changed in each day. In order to have a greater number of observations to the same number of parameters to be determined, five sections of observations per day were achieved. The positions of the GPS in the plate were 00, 05, 15, 35 e 60 mm in each day of observation, respectively. The analysis of displacement among these positions and the combinations between them was achieved. All the observations were obtained in the Campus of the Federal University of Viçosa. The baselines were obtained through the GPS observations. Then, these baselines were submitted to the adjustment using routines programmed in the MATLAB. In these routines were performed the adjustment, the analysis of reliability and the test of congruence. As a result, the coordinates of the points in the cartesian and topocentric systems with their respective accuracy were achieved. The test of congruence detected existence of displacement. It was possible to identify the difference between the distance dislocated in the field and the distance obtained using the GPS. Additionally, by the ellipse of errors was possible to identify the errors in all the directions.

# 1. INTRODUÇÃO

Devido à escassez de monitoramento e realização de estudos sobre a estabilidade das construções civis realizadas pelo homem, vemos no nosso cotidiano a ocorrência de desastres provocados pelas mais diversas causas, podendo ser por ação da natureza ou por falhas humanas.

A ocorrência destes desastres causa impacto à sociedade e danificam o meio ambiente. A recuperação e reconstrução destas áreas são de alto valor econômico. Diante da necessidade de se ter maior segurança quanto ao comportamento em serviço destas estruturas, se faz necessário a realização do seu monitoramento.

Qualquer material sofre deformação sob influência de forças externas, mudando sua forma e dimensão. Se a força externa excede um valor crítico o material pode alcançar ruína. A análise do deslocamento lida usualmente com variações de mudança de posição em pequenas quantidades (CHRZANOWSKI *et al.*, 1986) o que dificulta a determinação da quantidade de deslocamento do objeto.

A precisão do monitoramento das estruturas está diretamente relacionada ao tipo de equipamento utilizado para realização das observações, a precisão que esse equipamento pode fornecer e à técnica de observação realizada.

Com o advento de novas tecnologias, o Sistema de Posicionamento Global (GNSS - *Global Navigation Satellite Systems*) vem ganhando mercado nos mais diversos campos de trabalhos, se mostrando uma ferramenta valiosa para a obtenção de informações em uma série de atividades que necessita do conhecimento das coordenadas de pontos no objeto.

Dentre as atividades podem-se citar a cartografia, meio ambiente, agricultura de precisão e a sua utilização para o controle e análise da estabilidade em obras de engenharia.

Uma das principais vantagens do uso do GPS é a não dependência da existência de visibilidade entre os pontos, podendo-se com isto escolher o melhor local para a realização das observações.

Para que seja realizado o monitoramento de deslocamento em estruturas, é necessária a utilização de marcos de referência. A estabilidade dos pontos de referência é fator crucial para determinar o deslocamento dos pontos observados, estando diretamente relacionado com a qualidade dos resultados (CHEN *et al.*, 1990).

Para realização da detecção de deslocamento são realizadas análises da variação das coordenadas e suas precisões, em diferentes épocas, obtidas com o ajustamento pelo método dos mínimos quadrados (MMQ), a partir da aplicação de testes estatísticos (HEKIMOGLU *et al.*, 2002).

Dentro deste contexto, essa pesquisa foi caracterizada pela análise da confiabilidade, precisão e acurácia na determinação da posição com uso do GPS aplicado na simulação de deslocamento estrutural. Tem como objetivo verificar se o GPS consegue detectar pequenas quantidades (até 60 mm) de deslocamentos simulados em uma barra projetada para esta finalidade.

Para a realização das observações no campo, foi confeccionada uma barra metálica que reproduz a simulação de deslocamento. Esse deslocamento acontece quando se muda a posição do receptor GPS sobre a placa.

Para a realização da simulação de deslocamento, o receptor GPS ocupou em cada época uma posição pré-determinada na barra, realizando 6 sessões de rastreamento por época.

## **1.1 Justificativa**

A questão motivadora desta pesquisa é a avaliação da potencialidade do GPS como uma ferramenta valiosa para o monitoramento de estruturas. Os procedimentos realizados desde a coleta de observações em campo, processamento e análise dos resultados são descritos e discutidos, podendo auxiliar na verificação se o monitoramento com uso do GPS é eficiente ou não para as quantidades de deslocamentos simulados neste trabalho. Desta maneira, pode-se prever em qual situação ou tipo de monitoramento pode ser usado o sistema GPS para a análise de deslocamento.

Com o uso do GPS, a coleta de dados no objeto de estudos se torna mais eficiente e menos trabalhoso. Em um menor espaço de tempo é possível ter um banco de dados com uma maior quantidade de informações que servirão para determinar a existência ou não de deslocamento. Com essa análise mais rápida esperamos poder realizar uma tomada de decisão mais rápida e eficiente quanto ao processo de recuperação destas áreas e ou a própria prevenção de acidentes.

## **1.2 Hipótese**

O estudo se baseia na seguinte hipótese:

Verificar o potencial do posicionamento por satélite com uso de receptores de alta precisão para o monitoramento de deslocamento de estruturas através do ajustamento pelo MMQ, análise de confiabilidade e testes estatísticos.

## **1.3 Objetivos**

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a precisão e a confiabilidade das observações provenientes do posicionamento por satélite aplicado na análise de deslocamentos em estruturas.

Os objetivos específicos são:

- Através das linhas de base obtidas no processamento das observações GPS, realizar o ajustamento pelo MMQ e a análise da confiabilidade na determinação das coordenadas geocêntricas juntamente com aplicação do Teste *Tau*;
- Aplicar o Teste de Congruência visando detectar a existência de deslocamento;
- Realizar a análise visual da existência de deslocamento a partir da elipse de erro obtida no ajustamento;

#### **1.4 Estruturação da Dissertação**

Visando melhor compreensão deste trabalho, além deste capítulo introdutório, o presente trabalho está dividido em 5 Capítulos conforme a descrição abaixo.

No Capítulo 2 são apresentados os conceitos fundamentais no qual se baseia o estudo: posicionamento por satélite, sistema de coordenadas geocêntrico e SIRGAS 2000, análise estatística e os atuais usos do GPS no monitoramento do deslocamento de estruturas.

No Capítulo 3 é descrita a metodologia, com ênfase na descrição do experimento realizado em campo, os materiais utilizados, área de estudo e o método empregado na obtenção dos resultados.

No Capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados encontrados.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões, bem como algumas recomendações para trabalhos futuros.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Posicionamento pelo GNSS.**

#### **2.1.1 Aspectos gerais.**

O Sistema de Posicionamento Global (*GPS – Global Positioning System*) foi desenvolvido pelo departamento de defesa norte americano (*DOD – Department of Defense*) com o objeto de orientar suas tropas em campo. O objetivo inicial do GPS foi a determinação instantânea da posição e velocidade, bem como a coordenação precisa do tempo (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 2008).

Uma característica importante do GPS é a não necessidade de inter-visibilidade entre as estações. A constelação dos satélites é tal que permite ao usuário ter a disposição pelo menos 4 satélites para serem rastreados permitindo que se realize um posicionamento em tempo real em qualquer parte da superfície terrestre (MONICO, 2008).

O sistema de referência do GPS é o Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS-84 – *World Geodetic System*), que é um sistema geocêntrico realizado pelas posições de mais de 1500 estações obtidas por observações Doppler do sistema Transit atingindo precisão da ordem de 1 a 2 m (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 2008).

O sistema de posicionamento por satélite provê dois níveis de serviço: o Serviço de Posicionamento Padrão (SPS – *Standard Positioning Service*) com acesso liberado a usuários civis e o Serviço de Posicionamento Preciso (PPS – *Precise Positioning Service*) com acesso apenas para usuários autorizados. O SPS pode ser controlado pelo JPO através da aplicação da técnica de Disponibilidade Seletiva (SA – *Selective Availability*) e *Anti-Spoofing* (A-S) desativando a precisão completa para usuários não militares (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 2008).

O segredo da precisão obtida com o posicionamento por satélite é a utilização de relógios atômicos para determinação do tempo. O relógio do satélite é constituído

de Rubídio ou Césio. Estes relógios são de alta precisão e constituem a vida do satélite. Eles trabalham a uma frequência fundamental de 10,23 MHz. Desta frequência se derivou dois sinais, as portadoras L1 e L2. Multiplicando essa frequência fundamental por 154 e por 120, respectivamente, onde obtemos a frequência da portadora L1 (1575,42 MHz) e L2 (1227,60 MHz).

Essas duas frequências são necessárias para corrigir grande parte das principais fontes de erros no posicionamento por satélite.

A partir da medida do tempo de propagação do sinal modulado pelas portadoras L1 e L2, se torna possível a medida de distâncias. Sobre essas duas portadoras os códigos que formam o PRN (*Pseudorandom noise code* – ruído aleatório) são modulados. O primeiro código é o C/A (*Coarse Acquisition* – Fácil Aquisição) que é disponibilizado para uso civil. É designado como SPS e tem um comprimento de onda de aproximadamente 300 m, é modulado somente em L1 e é omitido da portadora L2, o que gera baixa precisão para usuários não militares. E o segundo é o código P (Precise), designado como PPS, possui um comprimento de onda efetivo de aproximadamente 30 m. O código P é modulado nas portadoras L1 e L2.

Além do código modulado nas duas portadoras, uma mensagem de navegação é emitida contendo informações sobre o estado do relógio do satélite, efemérides transmitidas e vida do satélite.

No código C/A, modulado apenas pela portadora L1, as contribuições da ionosfera, troposfera, receptor, multicaminhamento ou interferências não são incluídas. O SPS é de uso livre e contínuo mundialmente. O valor obtido para as precisões com o SPS depende de outros fatores aparte das condições e restrições, além disso, o desempenho do SPS normalmente é melhor que as especificações (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 2008).

O PPS é constituído pela portadora L1 e L2 e usa o código P que quando esta sendo criptografado pela técnica A-S, se torna o código Y. Este código não é acessado por usuários civis, tratando-se de uma versão segura do código P. O uso do PPS é restrito às forças armadas norte americanas, alguns aliados militares e governamentais.

Se nenhuma degradação intencional for selecionada a afetar o SPS, como por exemplo a técnica A-S, a sua precisão é semelhante ao PPS. Um argumento para justificar a precisão no posicionamento por SPS seria a remoção de alguns piores satélites na constelação (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 2008).

Uma melhoria na precisão do posicionamento pode ser obtida com a utilização de receptores de dupla frequência, uma vez que o código P é modulado pelas portadoras L1 e L2. Precisão, disponibilidade e rigidez são argumentos para utilização do sistema PPS.

### **2.1.2 Erros inerentes ao Sistema GNSS.**

As observáveis GNSS são pseudo-distância a partir do código e fase da onda portadora ou diferença de fase. O sistema de posicionamento por satélite usa dois relógios, um no receptor outro no satélite, assim as distâncias parciais obtidas entre o receptor e o satélite são providas de erros do relógio do receptor e satélite, conseqüentemente, é chamado de pseudo-distância.

As observáveis GPS são sujeitas a erros, podendo ser do tipo aleatório, sistemático ou grosseiro. Os erros sistemáticos podem ser modelados e até mesmo eliminados por técnicas apropriadas de observação. Já os erros aleatórios não seguem um padrão lógico, sendo mais difíceis de serem detectadas. Depois da eliminação dos erros grosseiros e sistemáticos, os erros aleatórios constituem as discrepâncias remanescentes nas observações (MONICO, 2008).

As fontes de erros podem ser classificadas em três grupos: erro referente ao satélite, erro referente ao receptor e erro na propagação do sinal. Alguns erros, agrupados pelas possíveis fontes são citados na Tabela 01.

Tabela 01 - Fontes e efeitos dos erros nas observáveis GPS.

Fonte	Efeito
Satélite	Erro na órbita
	Relógio
Propagação do sinal	Refração ionosférica
	Refração troposférica
Receptor	Centro de fase da antena
	Relógio
	Multicaminhamento

Fonte: adaptada de (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 2008).

O erro na órbita ocorre devido à consideração que a posição do satélite seja fixa durante o processo de ajustamento das observações do posicionamento, ou seja, os erros nas coordenadas dos satélites são propagados para a posição do usuário. No posicionamento por pontos esse erro é propagado diretamente. No posicionamento relativo este erro é praticamente eliminado. As informações orbitais são fornecidas pelas efemérides transmitidas ou pós-processadas (efemérides precisas).

A acurácia das efemérides transmitidas, que são disponibilizadas em tempo real, transmitidas com as observações, fica em torno de 0 a 20 m. As efemérides precisas, com acuracidade de 5 a 15 cm são disponibilizadas dentro de uma semana após levantamento. O uso das efemérides preditas apresenta precisão da ordem de 50 cm e estas são disponibilizadas horas antes do dia que se irá realizar o levantamento.

O uso de efemérides precisas atende a maioria das atividades geodésicas, pois pode atingir uma precisão relativa da ordem de 5ppb (partes por bilhão).

O erro do relógio é devido a não sincronização entre o relógio do receptor e do satélite. O relógio atômico do satélite é altamente preciso, mesmo assim, ainda possui erros. Este erro é devido ao estado do relógio, sua marcha ou a existência de aceleração na contagem do tempo. O monitoramento do relógio do satélite é de responsabilidade do segmento de controle.

O efeito da refração ionosférica está relacionada com o *TEC (Total Electron Contents)*, ou seja, está relacionado com o total de elétrons presentes na camada ionosférica ao longo do caminho percorrido pelo sinal do satélite até o receptor.

A refração ionosférica é afetada por esta camada e depende da intensidade do *TEC* e do comprimento de onda do sinal.

O *TEC* varia em função do tempo e do espaço, do ciclo de manchas solares, da atividade magnética, da estação do ano, e da direção do raio vetor do satélite (LEICK, 1995).

Vários modelos têm sido criados para estimar a densidade do *TEC*, mas devido a sua grande variação se torna difícil encontrar um que estime o valor do *TEC* para levantamento geodésico de precisão. Os sinais com frequências mais altas são menos afetados pela ionosfera. Os efeitos da refração ionosférica podem ser quase completamente eliminados com o uso de receptores de dupla frequência, ou seja, torna-se possível eliminar os efeitos de primeira ordem. A Tabela 02 ilustra o erro máximo nas portadoras L1, L2 e na L0 (combinação linear entre L1 e L2) (MONICO, 2008).

Tabela 02 - Efeito sistemático máximo da refração ionosférica na direção vertical para as portadoras L1, L2 e L0.

<b>Frequência</b>	<b>Efeitos de 1º ordem</b>	<b>Efeitos de 2º ordem</b>	<b>Efeitos de 3º ordem</b>
L1	32,5 m	0,036 m	0,002 m
L2	53,5 m	0,076 m	0,007 m
L0	0,0 m	0,026 m	0,006 m

Fonte: (MONICO, 2008)

O erro causado pela refração troposférica variam em função do ângulo de elevação do satélite e da densidade da atmosfera podendo atingir até 30 m. A componente da troposfera pode ser dividida em duas camadas, uma úmida e uma seca, formada por gases secos e vapor de água, respectivamente.

Com a realização de estudos relacionados com a influência que o meio de propagação exerce sobre as ondas eletromagnéticas, foi possível conhecer vários efeitos causados pela atmosfera e determinar modelos matemáticos. Dentre os principais efeitos pode-se citar a atenuação atmosférica, a cintilação troposférica e o atraso troposférico (SPILKER Jr. e PARKINSOM, 1996).

Para o efeito de atenuação atmosférica, ocorrido pela diminuição da potência eletromagnética exercida pelos elementos da atmosfera, não é recomendável observações GPS com ângulo de elevação menor de 5°.

O efeito de cintilação causa, no sinal propagado pelo satélite, alteração na amplitude e oscilação da fase, variando em função do tempo, do ângulo de elevação e da condição atmosférica. Na frequência utilizada por GPS esses efeitos em geral são pequenos, exceto para pequenos ângulos de elevação.

O atraso troposférico, devido à quantidade de nitrogênio e oxigênio, corresponde a 2,3 m no zênite e varia com a temperatura e pressão atmosférica local. Podendo ser predito, pois sua pequena variação é de cerca de 1% durante horas. O atraso atmosférico ocasionado pela influência de vapor de água atmosférico varia de 1 a 30 cm no zênite. Correspondendo a 1/10 do atraso topográfico, porém, com uma variação de cerca de 20% tendo maior dificuldade em sua predição (SEEBER, 1993).

O centro de fase eletrônico da antena é o ponto para o qual o sinal de rádio dos satélites é referenciado e geralmente não é idêntico ao centro de fase geométrico da antena. A discrepância varia com a elevação, azimute e intensidade do sinal que é diferente para L1 e L2. Para levantamentos de alta precisão, as antenas devem ser calibradas visando corrigir as observações deste efeito. (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 2008)

O modelo da antena GPS influencia diretamente na qualidade dos resultados do processamento das observações, uma vez que as propriedades do centro de fase são diferentes em cada tipo de antena. A variação do centro de fase nas antenas dos receptores TI4100 é de 1 a 2 cm, enquanto nas antenas tipo “microstrip” a variação é da ordem de poucos milímetros (SEEBER, 1993).

A variação do centro de fase é sistemática, porém, é bastante difícil de modelar, pois é diferente para cada antena e também de vários tipos.

Os relógios do receptor são equipados por osciladores de quartzo. Cada receptor possui sua escala de tempo definida pelo seu oscilador interno. Alguns possuem osciladores altamente estáveis, sendo de custo mais elevados e utilizados

em redes geodésicas de alta precisão. No posicionamento relativo, o erro do relógio do receptor é praticamente eliminado.

O efeito do multicaminhamento é causado por reflexões múltiplas do sinal, ou seja, ocorre quando o satélite envia um sinal e o sinal chega ao receptor por mais de um caminho. Devido às diferentes situações geométricas que podem ocorrer, não existe um modelo de correção geral.

O efeito do multicaminhamento pode ser reduzido consideravelmente apenas escolhendo antenas que possuam *design* melhorado e pela escolha de locais que sofram menor deflexão do sinal. O efeito do multicaminhamento para posicionamento relativo em linhas de base curtas deve ser menor que 1 cm (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 2008).

## 2.2 Sistema de coordenadas geodésicas, cartesianas tridimensionais e topocêntricas.

No que se refere ao posicionamento por satélite, cada ponto pode ser descrito por coordenadas cartesianas geocêntricas tridimensionais  $(X,Y,Z)$  ou pelas coordenadas geodésicas  $(\varphi, \lambda, h)$ . A Figura 01 apresenta as coordenadas do ponto P da superfície terrestre.

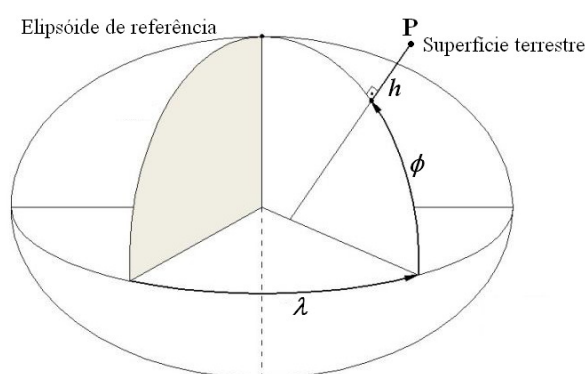


Figura 01 - Coordenadas geodésicas.

Em geodésia, as coordenadas cartesianas tridimensionais  $(X,Y,Z)$  têm sua origem coincidente com o centro do elipsóide, caracterizando um sistema geocêntrico e possui as seguintes características:

- origem no centro do elipsóide coincidente com o centro de massa da Terra;
- eixo Z coincide com o eixo de rotação do elipsóide;
- eixo X situa-se na intersecção do plano equatorial do elipsóide com o plano do meridiano de Greenwich;
- eixo Y é escolhido de forma que o sistema seja *dextrógiro*;

A Figura 02 ilustra os elementos que caracterizam este sistema de coordenadas.

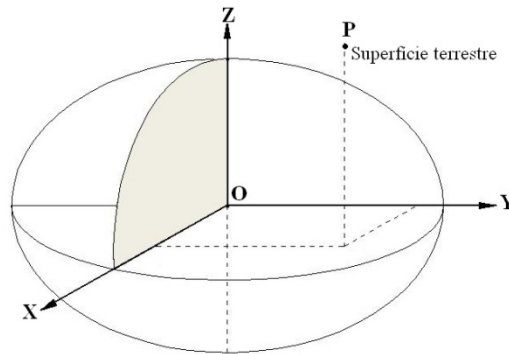


Figura 02 - Sistema de coordenadas cartesianas tridimensionais.

No sistema de coordenadas cartesianas topocêntricas o eixo  $u$  aponta o zênite, o eixo  $n$  aponta para o norte geodésico e faz um ângulo reto com o eixo  $u$ ; e o eixo  $e$  torna o sistema dextrógiro como por ser visto pela Figura 03 (VANÍCEK *et al.*, 2001).

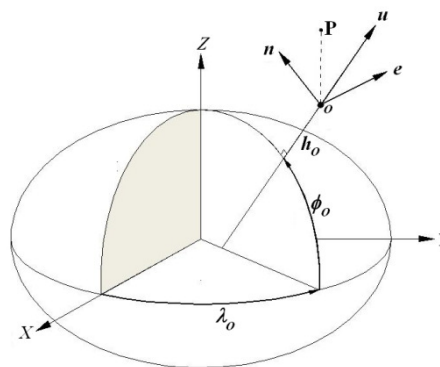


Figura 03 - Sistema de coordenadas topocêntrico.

Para realizar a transformação de coordenadas do sistema cartesiano tridimensional para o sistema topocêntrico deve ser empregando a Equação 2.1. As coordenadas geocêntricas de um ponto  $P$  podem ser transformadas em topocêntricas aplicando translação e rotação no sistema geocêntrico.

$$\begin{bmatrix} e_p \\ n_p \\ u_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\text{sen } \lambda_0 & \cos \lambda_0 & 0 \\ -\text{sen } \phi_0 \cdot \cos \lambda_0 & -\text{sen } \phi_0 \cdot \text{sen } \lambda_0 & \cos \phi_0 \\ \cos \phi_0 \cdot \cos \lambda_0 & \cos \phi_0 \cdot \text{sen } \lambda_0 & \text{sen } \phi_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_p - X_0 \\ Y_p - Y_0 \\ Z_p - Z_0 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Para realizar a propagação de variância proveniente da transformação de coordenadas do sistema cartesiano tridimensional para o topocêntrico deve ser aplicado o seguinte modelo:

$$C_{enu} = R \cdot C_{XYZ} \cdot R^T, \quad (2.2)$$

Onde:

$$R = \frac{\partial(e, n, u)}{\partial(X, Y, Z)} = \begin{bmatrix} -\text{sen } \lambda_0 & \cos \lambda_0 & 0 \\ -\text{sen } \phi_0 \cdot \cos \lambda_0 & -\text{sen } \phi_0 \cdot \text{sen } \lambda_0 & \cos \phi_0 \\ \cos \phi_0 \cdot \cos \lambda_0 & \cos \phi_0 \cdot \text{sen } \lambda_0 & \text{sen } \phi_0 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Desta forma é feita a propagação de variância da matriz covariância das coordenadas geocêntricas  $C_{XYZ}$  para a matriz covariância das coordenadas topocêntricas  $C_{enu}$ .

### 2.3 Sistema de referência geodésico - Geodetic Reference System 1980 - GRS80 e SIRGAS 2000.

Um sistema de referência será global se a sua origem for definida como geocêntrica. O SIRGAS2000 é um sistema de referência conforme o ITRS. Sua realização é uma densificação regional do ITRF da qual o Brasil é participante com 21 estações da RBMC.

O sistema WGS84 segue o ITRS com pequenas diferenças entre alguns parâmetros se relacionado com o SIRGAS2000, podendo ser considerados equivalentes para a maioria das atividades de mapeamento e posicionamento (ZANETTI, 2006).

A figura geométrica da Terra representada pelo elipsóide de revolução desse sistema é o *Geodetic Reference System 1980 - GRS80*. A Tabela 03 indica os parâmetros definidores do elipsóide de referencia GRS80.

Tabela 03 - Parâmetros fundamentais do GRS80.

Parâmetro	Notação	Valor
Semi-eixo maior do elipsóide.	$a$	6.378.137 m
Achatamento	$f$	1/298,257222101
Velocidade angular da Terra.	$\omega$	$7.292.115,0 \times 10^{-11}$ rad/s
Constante gravitacional da Terra.	$GM$	$3.986.005 \times 10^8$ m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup>

## 2.4 Ajustamento de Observações

As medições são consideradas observações para se determinar uma grandeza desconhecida. Essas medições são consideradas medidas diretas quando é utilizado algum instrumento que realiza leituras diretamente à quantidade desconhecida e observando seu valor, são consideradas medidas indiretas quando não é possível realizar medidas diretas, ou seja, quando utilizamos de modelos matemáticos para obter o valor procurado (GUILANI e WOLF, 2006).

Estas observações podem conter erros grosseiros, sistemáticos ou aleatórios. O ajustamento de observações trata dos métodos para ajustar as observações realizadas pelo homem, juntamente com a determinação de suas precisões (SILVA, 1997).

Para a realização do ajustamento das observações pelo Método dos Mínimos Quadrados - MMQ podem ser utilizados os seguintes métodos, dos quais o mais comumente utilizado é o Método Paramétrico:

- Método Paramétrico: Onde os parâmetros ou observações indiretas as grandezas que são calculadas em função de outras informações medidas diretamente. Neste caso são utilizados modelos matemáticos que relacionam parâmetros e observações;
- Método dos Correlatos: neste método não são envolvidos parâmetros, o modelo matemático envolve apenas os valores observados ajustados ligados por equações de condição;
- Método Combinado: Este modelo reúne tanto parâmetros ajustados como observações ajustadas. Nada mais é que uma combinação entre o Método Paramétrico e o método dos Correlatos.

Nesta dissertação será focado o Método Paramétrico. Para mais informações (GUILANI e WOLF, 2006; GEMAEL, 2008).

O Método Paramétrico ou das equações de observações, é caracterizado quando se verifica o seguinte modelo matemático, que representa a relação entre os parâmetros e as observações conforme descrito nos modelos abaixo (SILVA, 1997). As equações e a seqüência que são apresentadas estão relacionadas com a confecção da rotina desenvolvida para a realização do ajustamento.

Inicialmente devemos conhecer as equações das observações em relação aos parâmetros, a matriz dos pesos  $P$ , o vetor dos parâmetros aproximados  $X_0$  e o vetor das observações brutas  $L_b$ .

Em seguida passa-se ao cálculo conforme o modelo descrito nas equações seguintes:

$$A = \left. \frac{\partial F}{\partial Xa} \right|_{X_a=X_0} \quad (2.4)$$

Onde  $A$  representa a matriz das derivadas das equações de observações em relação aos parâmetros.

Em seguida se obtém o vetor  $L_0$  das observações aproximadas calculadas pelo modelo:

$$L_0 = F(X_0) \quad (2.5)$$

Em seguida o cálculo do vetor  $L$  pelo modelo:

$$L = L_b - L_0 \quad (2.6)$$

É determinada a correção para os parâmetros aproximados utilizando o modelo:

$$X = (A^T \cdot P \cdot A)^{-1} A^T \cdot P \cdot L \quad (2.7)$$

A determinação do resíduo pode ser definida com a aplicação do seguinte modelo:

$$V = A \cdot X - L \quad (2.8)$$

Em seguida é aplicado o Teste Qui-Quadrado e o Teste *Tau*, que serão ambos descritos no capítulo sobre testes estatísticos. Com a aprovação do ajustamento pelos testes estatísticos passamos a determinação da matriz variância-covariância dos parâmetros ajustados  $C_X$ , onde:

$$C_X = (A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \quad (2.9)$$

As coordenadas ajustadas podem ser obtidas com a aplicação do modelo:

$$X_a = X_0 + X \quad (2.10)$$

É possível determinar a matriz variância-covariância das observações ajustadas aplicando o modelo proposto abaixo:

$$C_{L_a} = A \cdot (A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \cdot A^T \quad (2.11)$$

Para determinação da matriz variância-covariância dos resíduos deve ser aplicado o modelo proposto:

$$C_V = P^{-1} - A \cdot (A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \cdot A^T, \text{ ou,} \quad (2.12)$$

$$C_V = C_L - C_{L_a} \quad (2.13)$$

## 2.5 Elipse dos Erros

Com a elipse dos erros é possível visualizar graficamente os resultados de uma rede de ajustamento, a partir da matriz variância-covariância das coordenadas das estações.

Ao se analisar as formas, tamanhos e orientações das elipses de erros, várias informações podem ser comparadas de forma rápida e adequadas. Suas características vão depender do controle utilizado pra restringir o ajuste, da precisão das observações e da geometria das medições (GUILANI e WOLF, 2006; LEICK, 1995).

A elipse do erro é uma aproximação da forma geométrica real dos erros em todas as direções, ou seja, da curva podária (geralmente em forma de 8) como demonstrado pela Figura 04.

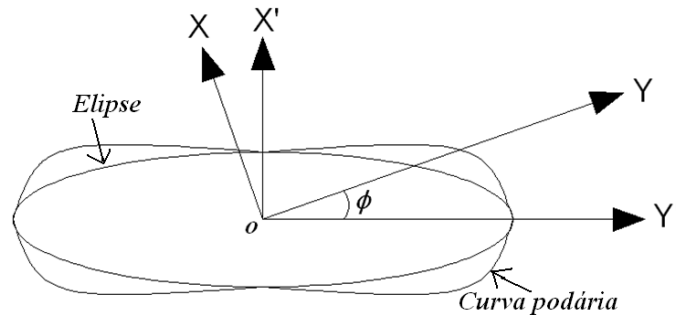


Figura 04 - Elipse dos erros e curva podária.  
Adaptado de (MONICO, 2008).

Considerando-se um sistema de coordenadas  $X, Y$ , e que o resultado de um ajustamento proporcionou as coordenadas planas  $e, n$  do ponto  $P$  e sua respectiva matriz variância-covariância. Efetuando-se uma rotação  $\phi$  nos eixos definida pela matriz de rotação é possível determinar o semi-eixo maior e o semi-eixo menor da elipse absoluta (GUILANI e WOLF, 2006):

$$\begin{aligned}\sigma_{e'}^2 &= \sigma_e^2 \cdot \cos^2 \phi + \sigma_n^2 \cdot \sin^2 \phi - 2 \cdot \sigma_{en} \cdot \sin \phi \cdot \cos \phi \\ \sigma_{n'}^2 &= \sigma_e^2 \cdot \sin^2 \phi + \sigma_n^2 \cdot \cos^2 \phi + 2 \cdot \sigma_{en} \cdot \sin \phi \cdot \cos \phi \\ \sigma_{e'n'} &= \sigma_{en} \cdot (\cos^2 \phi - \sin^2 \phi) - (\sigma_n^2 - \sigma_e^2) \cdot \cos \phi \cdot \sin \phi\end{aligned}\quad (2.14)$$

O ângulo de rotação pode ser obtido com a aplicação do seguinte modelo:

$$\phi = \frac{1}{2} \cdot \arctan \left( \frac{2 \cdot \sigma_{en}}{(\sigma_n^2 - \sigma_e^2)} \right)\quad (2.15)$$

## 2.6 Análise estatística

A aplicação dos testes estatísticos tem a finalidade de analisar a qualidade do ajustamento, avaliando os resultados, detectando possíveis erros grosseiros nas

observações, erros sistemáticos e na modelagem do modelo estocástico (VANÍCEK *et al.*, 2001).

### 2.6.1 Teste Global do Modelo (TGM)

Depois de criada a rede geodésica para o controle de estruturas são realizadas as medições e a obtenção de coordenadas. Com a introdução das observações, faz-se necessário a verificação de *outliers* (erros grosseiros) que afetam a estimativa dos parâmetros, devendo ser detectados e corrigidos. Na prática, estas observações com erros são eliminadas do modelo e em seguida é realizado novamente o ajustamento (BERBER *et al.*, 2003).

No ajustamento de observações, é comum adotar o valor do sigma zero *a priori* ( $\sigma_0^2$ ) igual a 1 e após o ajustamento é estimado o valor do sigma zero *a posteriori* ( $\hat{\sigma}_0^2$ ) com a aplicação da seguinte equação:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T \cdot P \cdot V}{n} \quad (2.16)$$

Onde:

$n$  representa o grau de liberdade do ajustamento, ou seja, o número de observações menos o número de parâmetros,  $P$  representa a matriz dos pesos das observações (modelo estocástico) e  $V$  representa o vetor dos resíduos do ajustamento.

O princípio do Teste Global é baseado na comparação da variância de referência *a priori* ( $\sigma_0^2$ ) com a variância de referência *a posteriori* ( $\hat{\sigma}_0^2$ ), analisando a compatibilidade entre estes dois parâmetros (MIKHAIL, 1976). A discrepância existente entre estes dois fatores pode ser considerada como um indicador de qualidade do ajustamento (GEMAEL, 2008).

A aplicação do Teste Global é realizada comparando-se o valor de  $(\hat{\sigma}_0^2)$  com a distribuição qui-quadrado  $(\chi^2)$ , podendo ser aplicado de duas maneiras: Teste Global Unilateral ou Teste Global Bilateral.

No teste unilateral é estabelecida a hipótese nula  $(H_0)$  e a hipótese alternativa  $(H_a)$ , onde:

$$H_0 : \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2 , \quad (2.17)$$

$$H_a : \sigma_0^2 < \hat{\sigma}_0^2 . \quad (2.18)$$

O valor de  $(\chi^2_c)$  calculado pode ser obtido por:

$$\chi^2_c = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} \cdot n , \quad (2.19)$$

ou:

$$\chi^2_c = \frac{V^T \cdot P \cdot V}{\sigma_0^2} . \quad (2.20)$$

A hipótese  $(H_0)$  não é rejeitada, ao nível de significância pré-estabelecido  $(\alpha)$ , se:

$$\chi^2_c < \chi^2_{1-\alpha} . \quad (2.21)$$

Onde:

$\chi^2_{1-\alpha}$  é o valor tabelado da distribuição qui-quadrado.

Para realização do teste bilateral, deve ser considerada a hipótese nula e a hipótese alternativa, da seguinte forma (GEMAEL, 2008; MIKHAIL, 1976):

$$H_0 : \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2 , \quad (2.22)$$

$$H_a : \sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_0^2 . \quad (2.23)$$

O valor de  $(\chi^2_c)$  calculado deve ser comparado com o valor  $(\chi^2)$  tabelado para um nível de significância  $(\alpha)$ , da seguinte forma:

$$\chi^2_{\frac{\alpha}{2}} < \chi^2_c < \chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}} \quad (2.24)$$

Pode-se afirmar que a hipótese nula é aceita se:

$$\frac{\chi^2_{\frac{\alpha}{2}}}{n} < \hat{\sigma}_0^2 < \frac{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}}}{n} \quad (2.25)$$

Se for constatada a rejeição da hipótese nula  $(H_0)$ , é considerado que o ajustamento apresenta problemas que podem ser atribuídos a várias causas, dentre elas as mais comuns são (GEMAEL, 2008):

- Erros grosseiros;
- Modelo matemático inadequado;
- Erros de cálculo, e;
- Ponderação errônea das observações.

Com a constatação da hipótese  $(H_a)$ , deve-se realizar uma busca no ajustamento, procurando encontrar as causas da falha do Teste Global.

### 2.6.2 Teste *Data Snooping*

A aplicação desta técnica consiste na detecção de *outlier* investigando qual observação contem erros e em seguida eliminando esta observação. Após a realização do Teste Global do Modelo e sendo constatada a hipótese  $(H_a)$ , considerando que esta rejeição ocorreu devido a presença de erros grosseiros nas observações se faz necessária a verificação do ajustamento com o intuito de encontrar e eliminar as observações que contenham erros grosseiros (CARVALHO, 2009).

Para realização do Teste *Data Snooping* deve-se considerar as observações como sendo correlacionadas ou não correlacionadas. Com o objetivo de identificar os erros grosseiros localizados nas observações através de teste estatístico.

Para observações correlacionadas, o teste deve ser aplicado considerando-se os resíduos individuais ( $\omega_i$ ), que pode ser calculado pela equação (KUANG, 1996):

$$\omega_i = \left| \frac{-c_i^T \cdot P \cdot V}{\sigma_0^2 \cdot \sqrt{c_i^T \cdot P \cdot Q_v \cdot P \cdot c_i}} \right| \quad (2.26)$$

Onde:

$P$  é a matriz dos pesos das observações;

$V$  é o vetor dos resíduos;

$C_i$  é um vetor nulo exceto para a posição do resíduo a ser analisado, o qual terá um valor unitário, por exemplo  $c_i = [0 \dots 0 \ 1 \ 0 \ 0 \dots 0]^T$ ;

$Q_v$  é a matriz cofatora dos resíduos, onde  $Q_v = \frac{1}{\sigma_0^2} \cdot C_v$  e  $C_v$  é a matriz covariância dos resíduos.

Para o caso de observações não correlacionadas o Teste *Data Snooping* assume a forma do Teste *Tau*. A realização do Teste *Tau* consiste na comparação do *Tau* ( $\tau_c$ ) calculado com o *Tau* ( $\tau$ ) tabelado, através dos resíduos padronizados (SILVA, 1997). Para calcular o valor de *Tau* calculado ( $\tau_c$ ) deve ser utilizada a seguinte forma:

$$\tau_{c_i} = \left| \frac{v_i}{\sigma_{v_i}} \right| \quad (2.27)$$

Onde:

$v_i$  é o resíduo da observação  $i$ , e

$\sigma_{V_i}$  é o valor do desvio padrão do resíduo da observação  $i$ .

Para cada observação é calculado o valor de *Tau* calculado ( $\tau_c$ ) que em seguida deve ser comparado com o valor de *Tau* ( $\tau$ ) tabelado para que as especificações do teste sejam atendidas, da seguinte maneira:

$$\tau_c < \tau \quad (2.28)$$

A determinação do valor de *Tau* ( $\tau$ ) tabelado leva em consideração a distribuição *t-student*. A partir do nível de significância ( $\alpha$ ) e do número de observações ( $n_b$ ), deve-se calcular uma nova significância ( $\alpha_0$ ) para aplicar na distribuição *t-student* da seguinte maneira (SILVA, 1997):

$$\alpha_0 = 1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{n_b}} \quad (2.29)$$

O valor de *Tau* ( $\tau$ ) tabelado pode ser obtido por:

$$\tau = \frac{\sqrt{Gl} - T_{(\alpha_0, Gl-1)}}{\sqrt{Gl-1 + T_{(\alpha_0, Gl-1)}^2}} \quad (2.30)$$

Onde:

$Gl$  graus de liberdade.

$T_{(\alpha_0, Gl-1)}$  valor da distribuição *t-student* para  $\alpha_0$  e  $Gl$ .

Os valores que venham a extrapolar o intervalo de confiança pré-estabelecido ( $\frac{\alpha_0}{2}$ ) a ( $1 - \frac{\alpha_0}{2}$ ), podem ser considerados como erros grosseiros. Para definição do intervalo de confiança, deve ser seguida a distribuição normal que pode ser obtida pela forma (KUANG, 1996):

$$Z_{\frac{\alpha_0}{2}}(0,1) \leq \tau_{c_i} \leq Z_{1-\frac{\alpha_0}{2}}(0,1) \quad (2.31)$$

O nível de significância ( $\alpha_0$ ) pode ser obtido por:

$$\alpha_0 = \frac{\alpha}{n_0} \quad (2.32)$$

Onde:

$\alpha$  é o nível de significância adotado no Teste Global, e:

$n_0$  é o número de observações.

### 2.6.3 Confiabilidade

O Teste Global, o Teste *Data Snooping* e o Teste *Tau*, não quantificam a magnitude dos erros contidos nas observações, sendo necessária a utilização de outra medida que indique o quanto são confiáveis as observações. A confiabilidade descreve como a rede reage a pequenos erros aleatórios das observações e o quanto este erro pode influenciar ou não na determinação dos parâmetros a um nível de confiança  $(1 - \alpha_0)$  e poder de teste  $(1 - \beta)$  (KUANG, 1996).

É considerado erro do tipo I quando a observação é rejeitada quando deveria ter sido aceita, o nível de significância para a probabilidade deste teste é representado por  $(\alpha_0)$ , quando a observação é aceita mesmo tendo de ser rejeitada é considerado erro tipo II e é representado por  $(\beta)$  (SILVA, 1997).

A confiabilidade na análise convencional de deslocamento depende de vários fatores como o número de parâmetros desconhecidos, do grau de liberdade, do número de pontos de deslocamento, do tipo de deslocamento, dos erros desconhecidos, da configuração da rede e precisão das observações (HEKIMOGLU *et al.*, 2002).

A definição de confiabilidade pertence às variáveis observadas ou estimadas tal como as coordenadas obtidas do ajustamento. Para evitar confusão sobre a definição de confiabilidade, devem ser usados dois termos: confiabilidade interna e confiabilidade externa (BAARDA, 1968).

Através do ajustamento e da análise de confiabilidade é possível conhecer a qualidade das observações e a identificação de existência de erros e como estes erros estão influenciando na determinação dos parâmetros, melhorando a qualidade do ajustamento aplicado.

### 2.6.3.1 Confiabilidade interna

A confiabilidade interna quantifica o menor erro grosseiro que pode ser detectado para certa probabilidade, ou seja, indica o erro mínimo que se encontra na observação e é sensível ao teste (KUANG, 1996; TEIXEIRA e FERREIRA, 2003).

Com a análise de confiabilidade é possível estimar o maior erro não detectável ou o menor erro detectável nas observações ( $\Delta l_{\max,i}$ ), que não seria detectado pelo teste estatístico para um determinado nível de confiança. Considerando a presença de apenas um erro grosseiro por vez e o classificando em relação à confiabilidade interna, o seguinte modelo é sugerido (BAARDA, 1968).

$$\Delta l_{\max,i} = \left| \delta_0(\alpha_0, \beta_0) \frac{\sigma_{l_i}}{\sqrt{r_i}} \right| \quad (2.33)$$

Onde ( $\delta_0$ ) é o parâmetro de não centralidade para a hipótese alternativa em função das probabilidades de ( $\alpha_0, \beta_0$ ), ( $\sigma_{l_i}$ ) é o desvio padrão da observação ( $l_i$ ) e ( $r_i$ ) é o número de redundância que expressa o grau de influência do erro da observação na determinação da posição,  $r_i \in (0,1)$ , é preferida que a redundância parcial da observação seja próximo de 1 o que indica um alto ganho para o ajustamento. Valores próximos de 0 indicam que os resíduos não conseguem refletir de forma significativa o erro contido na observação (VANÍCEK *et al.*, 2001; LEICK, 1995).

A Figura 05 ilustra a relação entre  $\alpha_0$ ,  $\beta_0$  e  $\delta_0$ .

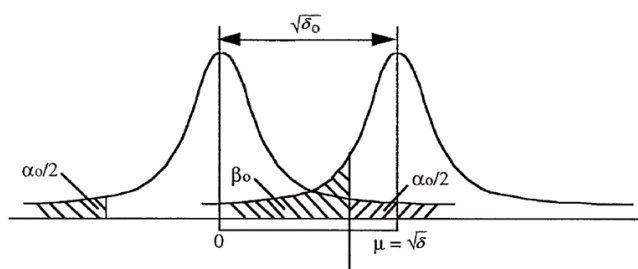


Figura 05 - Relação entre  $\alpha_0$ ,  $\beta_0$  e  $\delta_0$  .

Fonte: (VANÍCEK *et al.*, 2001)

O parâmetro de não centralidade ( $\delta_0$ ) pode ser obtido em função do poder de teste ( $1 - \beta_0$ ) e do nível de significância ( $\alpha_0$ ), de acordo com a Tabela 04.

Tabela 04 - Parâmetro de não centralidade.

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

Fonte: (KUANG, 1996).

O número de redundância é extraído de uma matriz, tal que sua dimensão esta ligada diretamente com o número de observações. A redundância ( $r_i$ ) da observação de índice ( $i$ ) é obtida da diagonal da matriz de redundância total ( $R$ ) de um conjunto de observações.

A redundância parcial é considerada a contribuição da observação de índice ( $i$ ) no grau de liberdade do ajustamento. No caso do ajustamento de vetores GPS, a soma da redundância parcial de cada vetor pode variar de 0 a 3, considerando que cada componente do vetor é visto como uma observação (CARVALHO, 2009).

Para um conjunto de observações não correlacionadas, a matriz ( $R$ ) pode ser obtida por (TEIXEIRA e FERREIRA, 2003):

$$R = \frac{1}{\hat{\sigma}_0^2} \cdot C_V \cdot P \quad (2.34)$$

Onde ( $\hat{\sigma}_0^2$ ) é variância de referência a *posteriori*, ( $C_V$ ) é a matriz variância-covariância dos resíduos e ( $P$ ) é a matriz dos pesos das observações.

A confiabilidade interna indica o menor erro grosseiro que pode ser detectado ( $MED$ ) em uma observação através de um teste de probabilidade. Pode ser obtida pelo modelo simplificado da Equação 2.35 (BERBER *et al.*, 2003).

$$MED = \left| \frac{\delta_0}{\sqrt{r_i}} \cdot \sigma_i \right| \quad (2.35)$$

Onde  $MED$  representa o menor erro detectável,  $\delta_0$  representa o parâmetro estatístico de não centralidade,  $r_i$  representa a redundância da observação  $i$  e  $\sigma_i$  representa o desvio padrão da observação  $i$ .

Quanto maior for o número de redundância da observação, menor será o valor do menor erro detectável.

### 2.6.3.2 Confiabilidade externa

A confiabilidade externa quantifica a influência de um erro grosseiro não detectado nas observações sobre a determinação das coordenadas dos pontos (KUANG, 1996; TEIXEIRA e FERREIRA, 2003).

A confiabilidade externa está relacionada com a influência do erro não detectado na determinação dos parâmetros. A estimativa dos parâmetros na presença de erros nas observações ( $\nabla l_i$ ), para as equações de observações, altera o vetor dos parâmetros calculados ( $X$ ) por um ( $\nabla X_i$ ) que pode ser modelado por (LEICK, 1995):

$$\nabla X_i = (A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot P \cdot \nabla l_i \quad (2.36)$$

No modelo de ajustamento a quantificação da influência do erro no ajustamento está relacionado diretamente com a geometria da rede e com a qualidade das observações. Para a determinação desta influencia deve ser aplicada a seguinte equação (BAARDA, 1968; LEICK, 1995):

$$\lambda_i = \left( \frac{1-r_i}{r_i} \right) \cdot \delta_0^2 \quad (2.37)$$

Onde  $\delta_0^2$  representa o parâmetro estatístico de não centralidade ao quadrado.

Para um conjunto de observações que tenha uma boa confiabilidade interna, ou seja, ( $r_i$ ) perto de 1, obtêm-se um ( $\lambda_i$ ) perto de zero, neste caso, a influência dos erros grosseiros não detectados na estimativa dos parâmetros seria mínima.

### 2.6.4 Teste de Congruência

Para realização da detecção de deslocamento em vários tipos de redes (vertical, horizontal ou tridimensional) são realizadas análises das coordenadas, em diferentes épocas, obtidas com o ajustamento pelo MMQ a partir de testes estatísticos. Um dos testes aplicado é chamado de Teste de Congruência (DENLI & DENIZ, 2003)

O Teste de Congruência é utilizado para verificar a estabilidade de alguns pontos e a instabilidade de outros. Não é possível afirmar que em todos os casos o resultado seja fidedigno ou em quais situações de deslocamentos impostos pode-se ter uma maior confiabilidade dos resultados (HEKIMOGLU *et al.*, 2002).

O Teste de Congruência é aplicado quando se deseja saber se houve alterações ou mudanças de posição de um objeto em relação ao tempo. Para realização deste teste devem ser realizadas observações da mesma área em épocas diferentes, obtendo assim, os vetores de posição ajustadas e sua matriz de covariância para cada época.

Os aspectos básicos para a realização do teste são descritos a seguir (NEUMANN e KUTTERER, 2006; HEKIMOGLU *et al.*, 2002; DENLI e DENIZ, 2003). O vetor de posição dos parâmetros ajustados deve ser obtido pela forma, para cada época,  $i = 1, 2$  :

$$X_i = X_0 + (A_i^T \cdot P_i \cdot A_i)^{-1} \cdot A_i^T \cdot P_i \cdot L_i \quad (2.38)$$

Para determinar a diferença entre as duas posições deve ser calculado o vetor ( $d$ ), em função dos vetores dos parâmetros ajustados:

$$d = X_1 - X_2 \quad (2.39)$$

$$d = \left[ (A_1^T \cdot P_1 \cdot A_1)^{-1} \cdot A_1^T \cdot P_1 - (A_2^T \cdot P_2 \cdot A_2)^{-1} \cdot A_2^T \cdot P_2 \right] \cdot \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \end{bmatrix}, \quad (2.40)$$

$$d = Q_{x_d} \cdot L \quad (2.41)$$

A matriz covariância do vetor ( $d$ ) pode ser obtida fazendo-se:

$$C_d = C_{x_1} + C_{x_2} = \hat{\sigma}_{0_1}^2 (A_1^T \cdot P_1 \cdot A_1)^{-1} + \hat{\sigma}_{0_2}^2 (A_2^T \cdot P_2 \cdot A_2)^{-1} \quad (2.42)$$

Onde ( $C_{x_1}$ ) é a matriz covariância dos parâmetros ajustados na época 1 e ( $C_{x_2}$ ) é a matriz covariância dos parâmetros ajustados na época 2.

As hipóteses consideradas são hipótese nula ( $H_0$ ) e hipótese alternativa ( $H_a$ ) onde:

$$H_0 : E(d) = 0 \quad (2.43)$$

$$H_a : E(d) \neq 0 \quad (2.44)$$

Torna-se necessário a análise estatística do Teste de Congruência com o intuito de avaliar se o vetor  $(d)$  é significativo, podendo assim detectar qualquer diferença expressa nas coordenadas entre as duas épocas. Se a hipótese nula for aceita os parâmetros são assumidos iguais nas duas épocas.

O teste pode ser aplicado da seguinte forma (NEUMANN e KUTTERER, 2006; KAPOVIC *et al.*, 2006):

$$K = \frac{d^T \cdot C_d \cdot d}{h \cdot \hat{\sigma}_{0_d}^2} \quad (2.45)$$

Onde  $K$  representa o fator calculado para comparação entre duas épocas no Teste de Congruência,  $(h)$  representa o *rank* da matriz covariância  $(C_d)$ ,  $(\hat{\sigma}_{0_d}^2)$  é a variância de referência *a posteriori* da diferença das posições  $(d)$ , que pode ser obtido pela equação:

$$\hat{\sigma}_{0_d}^2 = \frac{V_1^T \cdot P_1 \cdot V_1 + V_2^T \cdot P_2 \cdot V_2}{n_g} \quad (2.46)$$

Onde  $n_g = n_1 + n_2$  é a soma do grau de liberdade para as duas épocas.

O teste estatístico segue a distribuição  $F$ , e  $(\alpha)$  é o nível de significância.

$$P \left[ \frac{K}{\hat{\sigma}_{0_d}^2} \leq F_{h,n,1-\alpha} \mid H_0 \right] = 1 - \alpha \quad (2.47)$$

A hipótese alternativa ocorre quando  $K > F_{h,n,1-\alpha}$

Se a hipótese nula é rejeitada, pode-se assumir mudança da rede entre as duas épocas com um nível de significância  $(\alpha)$ , supondo-se a ocorrência de deslocamento.

## 2.7 Uso do GPS no monitoramento do deslocamento de estruturas

Qualquer material sofre deformação sob influência de forças externas, mudando sua forma e dimensão. Se a força externa excede um valor crítico o material se quebra.

A análise de deslocamento lida usualmente com pequenas quantidades de deslocamento o que dá margem para medições que contenham erros, então se torna necessário a aplicação de testes estatísticos e análise da precisão dos resultados para determinar se há ou não deslocamento entre duas épocas (CHRZANOWSKI *et al.*, 1986).

Muitos métodos de levantamentos para monitoramento de controle de deslocamento compreendem a utilização de vários pontos de referência para calcular o deslocamento dos pontos observados. A estabilidade dos pontos de referência é fator crucial para determinar o deslocamento absoluto dos pontos observados. Se a rede de referência estiver comprometida quanto à sua estabilidade, os deslocamentos obtidos para os pontos observados, as análises seguintes e a interpretação dos resultados sobre o deslocamento dos pontos no objeto podem ser significativamente distorcidos (CHEN *et al.*, 1990).

Desta forma a detecção de deslocamento é basicamente dependente da geometria da rede geodésica observada em diferentes épocas (HEKIMOGLU *et al.*, 2002).

Os métodos e instrumentos da geodésia convencional e levantamentos de fotogrametria, embora ainda útil na obtenção de dados para análise de deslocamento, não satisfaz todos os requerimentos do monitoramento de deslocamentos (CHRZANOWSKI *et al.*, 1986).

Nas medidas de deslocamento pelos métodos geodésicos, que são executados para monitorar estruturas de engenharia, áreas de mineração ou movimento de placas tectônicas, dois tipos de redes geodésicas são descritas (CHRZANOWSKI, *et al.*, 1986; DENLI e DENIZ, 2003):

- Rede absoluta. Quando alguns dos pontos estão, ou assumem estar, fora do objeto observado, servindo como ponto de referência para determinação do deslocamento absoluto dos pontos no objeto. O principal problema é a confirmação da estabilidade dos pontos da rede. Se a rede for dada como estável, a determinação do estado do objeto levantado se torna simples.
- Rede relativa. Quando todos os pontos levantados são assumidos estarem localizados no objeto em que são realizadas observações. Este método é considerado mais complicado, porque além da rede de referência sofrer possíveis deslocamentos, todos os pontos sofrem movimentos relativos causados pela movimentação do objeto em estudo, que pode ser em mais de uma direção.

Visando a obtenção de maior precisão na determinação da posição com o GPS, é importante realizar o levantamento pelo método de posicionamento relativo estático, que tem como observável a dupla diferença de fase da onda portadora. Neste tipo de levantamento os receptores GPS utilizados rastreiam ao mesmo tempo os satélites visíveis.

### 3. METODOLOGIA

Neste tópico será abordada a metodologia utilizada para realizar o levantamento de campo e o processamento das observações para obtenção da análise da existência de deslocamento em uma placa.

#### 3.1 Área de estudo

A área de estudo utilizada para a coleta de dados neste trabalho situa-se nas dependências do Campus da Universidade Federal de Viçosa onde foi constituída por uma estação da RBMC e duas estações do IBGE dita de centragem forçada. Para fins de localização, as coordenadas geodésicas da RBMC, localizada na área de estudo são:  $\varphi = 20^{\circ}45'21.4020''S$  e  $\lambda = 42^{\circ}52'11.9622''W$ .

A localização das estações dentro do Campus da UFV pode ser visualizada através da Figura 06. A estação da RBMC (VICO) está localizada sobre o Edifício do Centro de Vivência e a outra base está localizada no terraço do edifício do Departamento de Letras (DERH). O marco onde foi realizada a simulação de deslocamento está localizado na Estação Meteorológica (META).

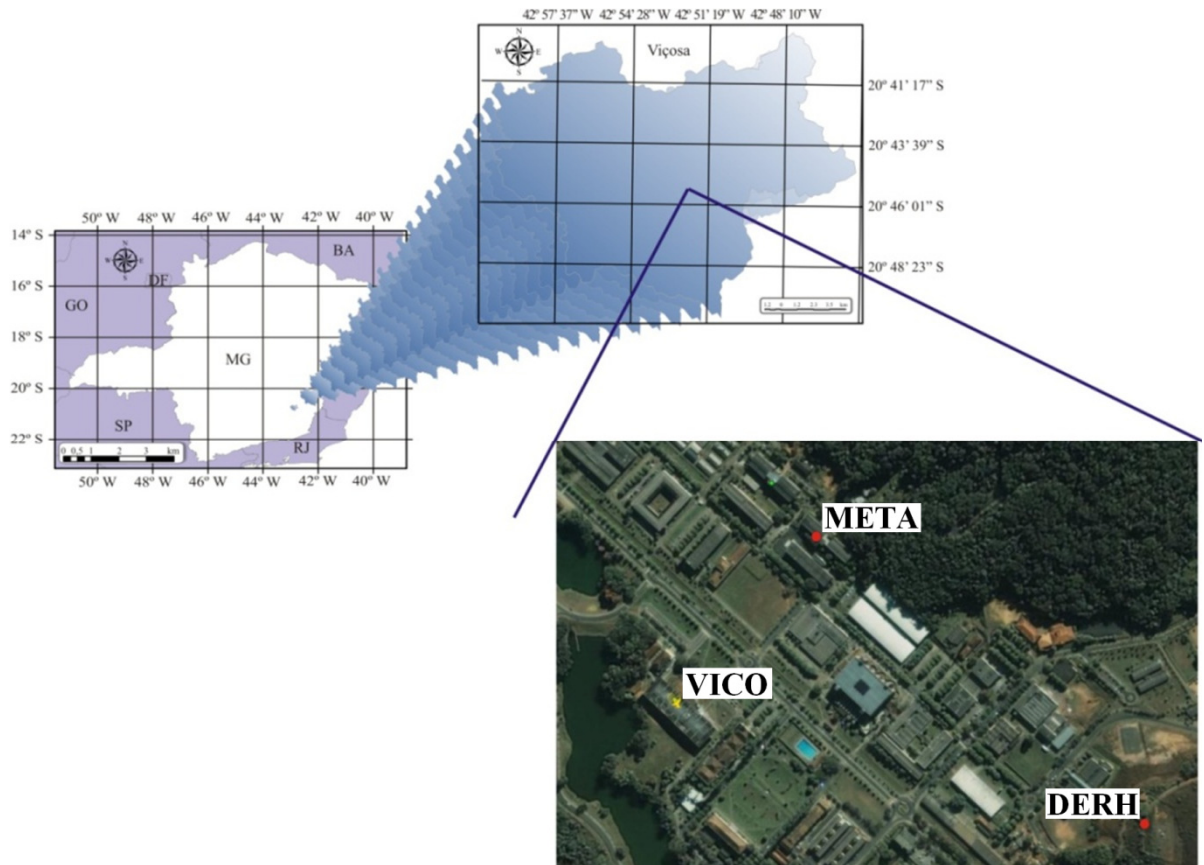


Figura 06 - Localização das estações no campus da UFV.

### 3.2 Equipamentos

Para a coleta de dados referente à realização deste trabalho, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- *GPS900CS Leica*, dupla frequência SmartTrack 12 L1 + 12 L2, de precisão horizontal e vertical no método estático de 5mm + 1ppm e 10mm + 0,5ppm, respectivamente.
- *GPS 5700 da TRIMBLE*, dupla frequência L1 + L2, de precisão horizontal e vertical no método estático de 5mm + 0,5ppm e 5mm + 1ppm, respectivamente.
- *GPS TRIMBLE NetR5*, dupla frequência L1 + L2, de precisão horizontal e vertical no método estático de 5mm + 0,5ppm e 5mm + 1ppm, respectivamente.
- Barra de simulação confeccionada para a realização deste trabalho.

A barra de simulação de deslocamento é composta por uma rosca de centragem forçada sob medida para sua fixação no marco do IBGE. Contém uma alavanca para que possa ser feita a mudança de posição e fixação da nova posição da antena com precisão. Contém uma régua com graduação milimétrica e parafusos laterais que têm por objetivo não deixar a peça sofrer qualquer vibração. A Figura 07 ilustra a peça sobre o marco da Estação Meteorológica (META), já equipada com a antena GPS.



Figura 07 - Peça utilizada na simulação de deslocamento.

### 3.3 Procedimento de campo

Na fase de levantamento de campo foi realizada uma campanha de cinco dias. Inicialmente foi determinado que em cada dia fossem realizadas 6 sessões de uma hora de observação na barra de simulação de deslocamento com o intuito de criar vetores de linha de base GPS.

Desta forma, a antena teria sua posição modificada em relação à posição anterior. A mudança de posição da antena pode ser controlada por uma régua com graduação milimétrica, simulando assim o deslocamento horizontal.

Para cada dia de rastreamento gera-se um arquivo contendo as observações coletadas. Foi utilizado o método de levantamento estático, coletando dados de observações GPS continuamente.

A posição da antena e o tempo de rastreamento em campo com GPS na barra de simulação de deslocamento são descritos na Tabela 05.

Tabela 05 - Posição da antena GPS na barra de simulação de deslocamento.

Épocas (dias)	Tempo de rastreamento	Posição da antena GPS	Estação
01 <sup>a</sup>	6 horas (6 sessões de $\pm 1$ hora)	Origem – 0 mm	P00
02 <sup>a</sup>	6 horas (6 sessões de $\pm 1$ hora)	5 mm	P05
03 <sup>a</sup>	5 horas (5 sessões de $\pm 1$ hora)	15 mm	P15
03 <sup>a</sup>	1 hora (1 sessão de $\pm 1$ hora)	15 mm	P15
04 <sup>a</sup>	6 horas (6 sessões de $\pm 1$ hora)	35 mm	P35
05 <sup>a</sup>	6 horas (6 sessões de $\pm 1$ hora)	60 mm	P60

Inicialmente, a antena foi colocada no ponto P0 da barra, como pode ser visto pela Figura 08a e em seguida deslocada para as outras posições de acordo com o previsto pela Tabela 04. As posições P00, P05, P15, P35 e P60 são identificadas nas Figuras 08a, 08b, 08c, 08d e 08e.



Figura 08a - Posição 0mm



Figura 08b - Posição 5mm



Figura 08c - Posição 15mm



Figura 08d - Posição 35mm



Figura 08e - Posição 60mm

Para cada dia de rastreamento foi formado um banco de dados composto pelas observações GPS obtido nos marcos META, DERH e VICO.

Todos os levantamentos de campo têm hora inicial por volta de 8:00 horas e término por volta de 15:00 horas (hora local) no período de 11 a 15 de maio de 2009. A Tabela 06 representa de forma mais detalhada o tempo de rastreamento com GPS.

Tabela 06 - Tempo de rastreamento com GPS.

Simulação Dia	Posição da antena	Tempo de início 1ª seção (Hora GPS)	Tempo de fim Seção final (Hora GPS)
01 <sup>a</sup>	P00	12h 04min 50s	18h 19min 00s
02 <sup>a</sup>	P05	11h 34min 35s	17h 55min 50s
03 <sup>a</sup>	P15	11h 42min 10s	16h 49min 55s
04 <sup>a</sup>	P15	11h 20min 00s	12h 20min 05s
	P35	12h 26min 15s	18h 34min 25s
05 <sup>a</sup>	P60	11h 17min 30s	17h 25min 15s

### 3.4 Processamento das observações GNSS.

O processamento das observações foi realizado utilizando o *Trimble Geomatics Office*. Para obter uma melhor precisão na determinação das linhas de base foi utilizada no processamento a efeméride precisa final disponível cerca de 13 dias após o levantamento de campo pelo *IGS - International Geodynamics GPS Service*.

A Tabela 07 apresenta as coordenadas das estações consideradas como referência no processamento dos dados GPS.

Tabela 07 - Coordenadas dos marcos de apoio.

Coordenadas: WGS84						
Coordenadas geodésicas.			Desvio Padrão	Coordenadas Cartesianas Geocêntricas.		Desvio Padrão
VICO	$\varphi$	20°45'41,4020" S	0,001 m	$X$	4373283,313 m	0,002 m
	$\lambda$	42°52'11,9622" W	0,002 m	$Y$	-4059639,049 m	0,002 m
	$h$	665,96 m	0,002 m	$Z$	-2246959,728 m	0,001 m
DERH	$\varphi$	20°45'34,1622" S	0,001 m	$X$	4373466,754 m	0,003 m
	$\lambda$	42°52'05,9115" S	0,001 m	$Y$	-4059570,496 m	0,003 m
	$h$	675,45 m	0,004 m	$Z$	-2246754,877 m	0,001 m

A representação espacial dos marcos em sua configuração geométrica pode ser visualizada pela Figura 09. Os pontos simbolizados por um triângulo são considerados fixos, ou seja, com qualidade de controle, tendo suas coordenadas inseridas no programa manualmente. Estas coordenadas foram fornecidas pelo IBGE.

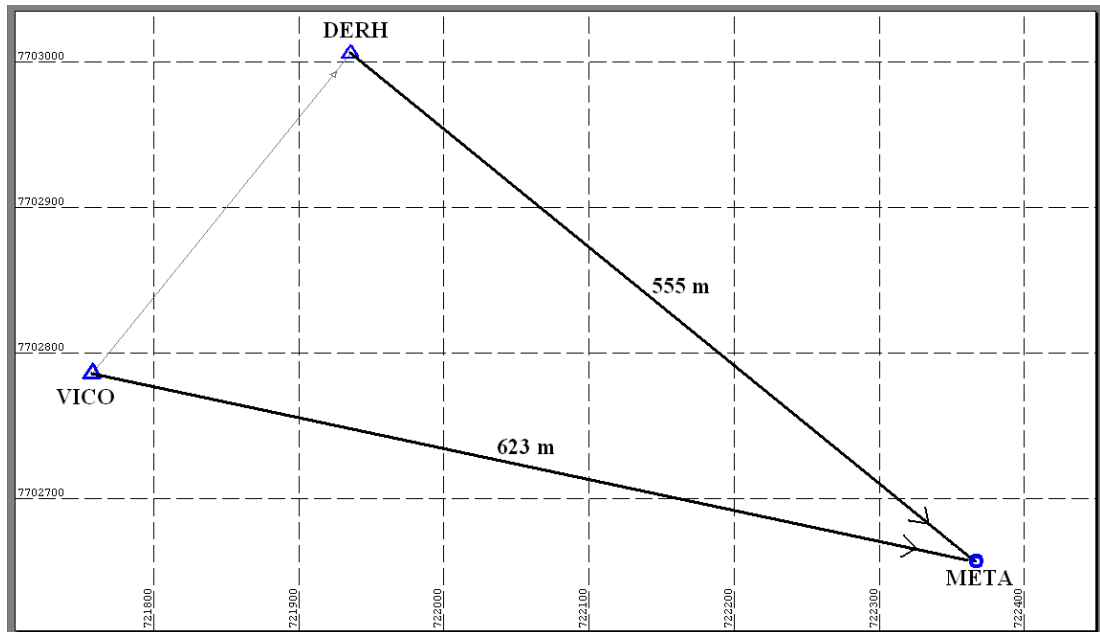


Figura 09 - Localização e representação espacial dos marcos.

Foram processadas as observações com os sinais L1 e L2, obtidas com o intervalo de gravação de 5 segundos. E foi considerada uma máscara de elevação de 15 graus.

Após o processamento dos dados, foram obtidas as linhas de base entre os pontos considerados fixos e o marco, onde foi simulado o deslocamento, tendo como resultado os vetores da linha de base juntamente com suas precisões. Estes dados foram organizados nas Tabelas 08, 09, 10, 11 e 12, respectivamente para as posições da antena em P00, P05, P15, P35 e P60.

Tabela 08 - Linhas de base obtidas para a posição P00.

Estação		Linhas de Base (m)			Desvio Padrão (mm)		
De	Para	$d_x$	$d_y$	$d_z$	$\sigma_{d_x}$	$\sigma_{d_y}$	$\sigma_{d_z}$
VICO	META	404,1205	457,6052	-123,7721	0,7	0,8	0,5
VICO	META	404,1212	457,6068	-123,7705	0,6	0,8	0,5
VICO	META	404,1224	457,6022	-123,7734	0,7	0,8	0,4
VICO	META	404,1222	457,6020	-123,7731	0,7	0,7	0,4
VICO	META	404,1180	457,6072	-123,7721	0,8	0,8	0,7
VICO	META	404,1190	457,6025	-123,7768	1,3	0,9	0,6
DERH	META	220,6841	389,0534	-328,6193	0,6	0,7	0,4
DERH	META	220,6837	389,0545	-328,6176	0,6	0,8	0,5
DERH	META	220,6841	389,0524	-328,6205	0,7	0,8	0,4
DERH	META	220,6859	389,0516	-328,6196	0,7	0,7	0,4
DERH	META	220,6826	389,0564	-328,6200	0,7	0,7	0,6
DERH	META	220,6798	389,0556	-328,6207	1,2	0,8	0,5

Tabela 09 - Linhas de base obtidas para a posição P05.

Estação		Linhas de Base (m)			Desvio Padrão (mm)		
De	Para	$d_x$	$d_y$	$d_z$	$\sigma_{d_x}$	$\sigma_{d_y}$	$\sigma_{d_z}$
VICO	META	404,1228	457,6031	-123,7784	1,0	0,8	0,6
VICO	META	404,1153	457,6166	-123,7732	1,3	1,5	0,8
VICO	META	404,1214	457,6044	-123,7781	1,1	1,5	0,8
VICO	META	404,1291	457,5979	-123,7808	1,8	1,7	1,2
VICO	META	404,1232	457,6043	-123,7784	1,3	1,2	0,9
VICO	META	404,1175	457,6015	-123,7806	1,0	1,0	0,7
DERH	META	220,6839	389,0538	-328,6244	0,9	0,8	0,5
DERH	META	220,6807	389,0618	-328,6206	1,2	1,4	0,8
DERH	META	220,6838	389,0527	-328,6241	1,1	1,4	0,7
DERH	META	220,6899	389,0496	-328,6276	2,0	1,8	1,3
DERH	META	220,6842	389,0549	-328,6239	1,2	1,2	0,9
DERH	META	220,6824	389,0527	-328,6270	1,0	0,9	0,7

Tabela 10 - Linhas de base obtidas para a posição P15.

Estação		Linhas de Base (m)			Desvio Padrão (mm)		
De	Para	$d_x$	$d_y$	$d_z$	$\sigma_{d_x}$	$\sigma_{d_y}$	$\sigma_{d_z}$
VICO	META	404,1131	457,6142	-123,7854	0,7	0,9	0,5
VICO	META	404,1180	457,6068	-123,7874	1,0	1,1	0,7
VICO	META	404,1156	457,6078	-123,7860	1,8	1,6	1,0
VICO	META	404,1120	457,6099	-123,7843	1,0	1,0	0,7
VICO	META	404,1203	457,6054	-123,7881	1,0	0,9	0,5
VICO	META	404,1211	457,6058	-123,7886	1,1	1,0	0,7
DERH	META	220,6769	389,0607	-328,6320	0,6	0,8	0,5
DERH	META	220,6799	389,0572	-328,6332	0,9	1,0	0,6
DERH	META	220,6787	389,0581	-328,6326	1,6	1,5	1,0
DERH	META	220,6752	389,0603	-328,6307	0,9	0,9	0,6
DERH	META	220,6824	389,0549	-328,6346	0,8	0,8	0,4
DERH	META	220,6822	389,0561	-328,6350	1,0	1,0	0,6

Tabela 11 - Linhas de base obtidas para a posição P35.

Estação		Linhas de Base (m)			Desvio Padrão (mm)		
De	Para	$d_x$	$d_y$	$d_z$	$\sigma_{d_x}$	$\sigma_{d_y}$	$\sigma_{d_z}$
VICO	META	404,1100	457,6176	-123,8040	0,7	1,0	0,5
VICO	META	404,1116	457,6118	-123,8057	0,7	1,1	0,7
VICO	META	404,1181	457,6072	-123,8088	1,2	1,1	0,7
VICO	META	404,1170	457,6131	-123,8087	1,1	1,1	0,6
VICO	META	404,1111	457,6129	-123,8061	0,7	0,7	0,5
VICO	META	404,1176	457,6129	-123,8092	1,2	0,7	0,5
DERH	META	220,6729	389,0653	-328,6510	0,6	0,9	0,5
DERH	META	220,6732	389,0616	-328,6520	0,7	1,0	0,7
DERH	META	220,6798	389,0579	-328,6551	1,0	1,0	0,6
DERH	META	220,6797	389,0624	-328,6548	1,0	1,0	0,5
DERH	META	220,6753	389,0619	-328,6535	0,6	0,7	0,5
DERH	META	220,6786	389,0632	-328,6550	1,2	0,7	0,4

Tabela 12 - Linhas de base obtidas para a posição P60.

Estação		Linhas de Base (m)			Desvio Padrão (mm)		
De	Para	$d_x$	$d_y$	$d_z$	$\sigma_{d_x}$	$\sigma_{d_y}$	$\sigma_{d_z}$
VICO	META	404,1098	457,6148	-123,8308	0,9	0,8	0,5
VICO	META	404,1052	457,6196	-123,8291	0,6	0,7	0,5
VICO	META	404,1073	457,6173	-123,8296	0,7	1,0	0,7
VICO	META	404,1083	457,6157	-123,8304	0,7	0,7	0,4
VICO	META	404,1058	457,6187	-123,8287	0,9	0,8	0,5
VICO	META	404,1030	457,6185	-123,8294	0,6	0,7	0,5
DERH	META	220,6711	389,0653	-328,6768	0,8	0,7	0,5
DERH	META	220,6678	389,0678	-328,6760	0,6	0,7	0,4
DERH	META	220,6693	389,0666	-328,6769	0,7	1,0	0,6
DERH	META	220,6698	389,0659	-328,6769	0,7	0,7	0,4
DERH	META	220,6678	389,0689	-328,6746	0,9	0,9	0,5
DERH	META	220,6665	389,0682	-328,6765	0,6	0,6	0,4

A partir das observações de linha de base, foram organizados os arquivos de leitura para entrada na rotina de ajustamento de observações. Esta rotina implementada em *MATLab* tem como saída as coordenadas da antena do receptor em cada época juntamente com suas precisões e análises referentes a qualidade do ajustamento.

### 3.5 Rotina em *MATLab*.

Para a realização do ajustamento foram desenvolvidas rotinas em *MATLab* com o objetivo de automatizar o processamento.

- A primeira rotina a ser implementada está relacionada com a leitura e armazenamento dos dados para a realização do ajustamento. Esta rotina foi nomeada como ‘ENTRADA’. (como é visto no apêndice 01).
- A segunda rotina foi implementada visando o ajustamento pelo MMQ. Aplicação do Teste Qui-Quadrado. Verificação da presença de *outlier* com a aplicação do Teste *Tau*. Análise de confiabilidade e cálculo da elipse absoluta

dos erros. Esta rotina foi nomeada como “AJUSTA” (como é visto no apêndice 02).

- A terceira rotina foi implementada visando à aplicação do Teste de Congruência entre duas épocas. Esta rotina foi nomeada como “CONGRUÊNCIA” (como é visto no apêndice 03).

A rotina ENTRADA realiza a leitura do arquivo no formato DAT e em seguida monta os vetores e matrizes iniciais para iniciar o ajustamento. Nesta etapa é então montado o vetor das observações brutas ( $L_b$ ), o vetor dos parâmetros aproximados ( $X_0$ ), o vetor das observações aproximadas ( $L_0$ ), (Equação 2.5), a matriz das derivadas ou matriz dos coeficientes das incógnitas (*design matrix*) ( $A$ ), (Equação 2.4), a matriz dos pesos ( $P$ ). Ambas são informações que serão utilizadas na segunda parte da rotina.

Na rotina AJUSTA é então realizado o ajustamento junto com a análise de confiabilidade. Nesta parte é então gerada a matriz das precisões dos parâmetros ( $C_x$ ), (Equação 2.9), o vetor das correções para os parâmetros aproximados ( $X$ ), (Equação 2.7), o vetor dos parâmetros ajustados ( $X_a$ ), (Equação 2.10), o vetor dos resíduos das observações ( $V$ ), (Equação 2.8), a matriz variância-covariância dos resíduos ( $C_v$ ), (Equação 2.13), a matriz das observações ajustadas ( $C_{L_a}$ ), (Equação 2.11), e o fator de variância *a posteriori* ( $\hat{\sigma}_0^2$ ), (Equação 2.16).

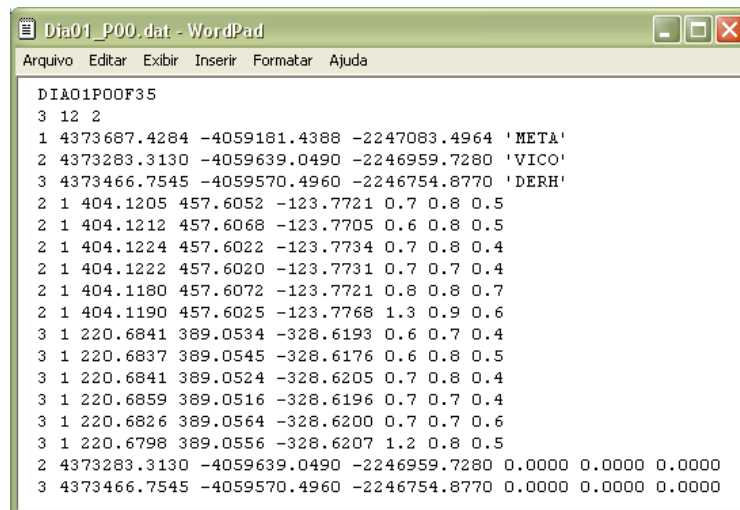
De posse de todas as informações é aplicado nesta fase o Teste Qui-Quadrado ( $X^2$ ) e para a detecção de *outlier* é aplicado o Teste *Tau* ( $\tau$ ). Também nesta etapa realiza-se a análise da confiabilidade do ajustamento com base nas informações extraídas do vetor do menor erro detectável ( $MED$ ), (Equação 2.35), da redundância das observações ( $r_i$ ), (Equação 2.34), e da influência do erro não detectado na determinação dos parâmetros ( $\lambda$ ), (Equação 2.37). Ainda nesta etapa é calculada a elipse absoluta dos erros.

Na rotina CONGRUÊNCIA é realizado o Teste de Congruência visando verificar o indicativo ou não de deslocamento dos pontos observados, utilizando as Equações 2.41; 2.42; 2.45 e 2.47.

### 3.5.1 Ajustamento da linha de base obtida após o processamento das observações GPS.

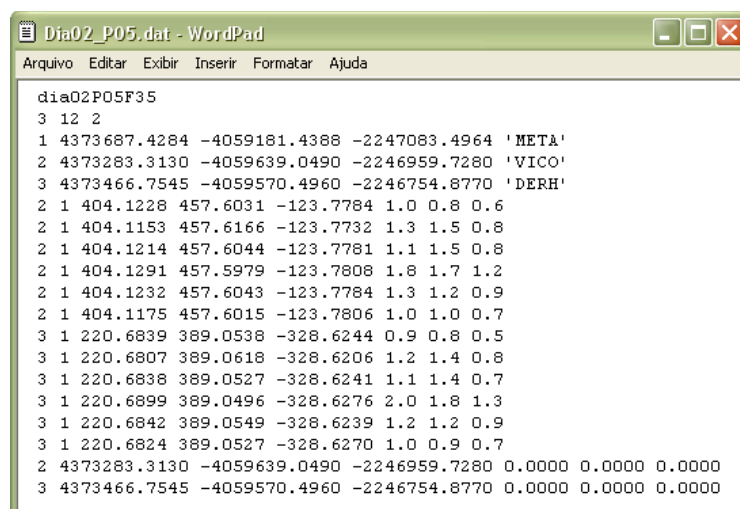
Após o processamento das observações GPS, foram obtidas as posições aproximadas dos pontos P0, P5, P15, P35 e P60, assim como os vetores de linha de base ( $dx, dy, dz$ ) desse ponto até as bases VICO e DERH.

Para que a rotina ENTRADA leia o arquivo de informações corretamente, o mesmo deve ter seus dados disponibilizados de forma organizada. Os arquivos na forma de texto que foram utilizados para a realização do ajustamento para cada dia, ou seja, cada posição da antena pode ser verificada pela visualização das Figuras 10, 11, 12, 13 e 14 a seguir.



```
DIA01P00F35
3 12 2
1 4373687.4284 -4059181.4388 -2247083.4964 'META'
2 4373283.3130 -4059639.0490 -2246959.7280 'VICO'
3 4373466.7545 -4059570.4960 -2246754.8770 'DERH'
2 1 404.1205 457.6052 -123.7721 0.7 0.8 0.5
2 1 404.1212 457.6068 -123.7705 0.6 0.8 0.5
2 1 404.1224 457.6022 -123.7734 0.7 0.8 0.4
2 1 404.1222 457.6020 -123.7731 0.7 0.7 0.4
2 1 404.1180 457.6072 -123.7721 0.8 0.8 0.7
2 1 404.1190 457.6025 -123.7768 1.3 0.9 0.6
3 1 220.6841 389.0534 -328.6193 0.6 0.7 0.4
3 1 220.6837 389.0545 -328.6176 0.6 0.8 0.5
3 1 220.6841 389.0524 -328.6205 0.7 0.8 0.4
3 1 220.6859 389.0516 -328.6196 0.7 0.7 0.4
3 1 220.6826 389.0564 -328.6200 0.7 0.7 0.6
3 1 220.6798 389.0556 -328.6207 1.2 0.8 0.5
2 4373283.3130 -4059639.0490 -2246959.7280 0.0000 0.0000 0.0000
3 4373466.7545 -4059570.4960 -2246754.8770 0.0000 0.0000 0.0000
```

Figura 10 - Dado de entrada para a rotina ENTRADA referente à posição P00.



```
dia02P05F35
3 12 2
1 4373687.4284 -4059181.4388 -2247083.4964 'META'
2 4373283.3130 -4059639.0490 -2246959.7280 'VICO'
3 4373466.7545 -4059570.4960 -2246754.8770 'DERH'
2 1 404.1228 457.6031 -123.7784 1.0 0.8 0.6
2 1 404.1153 457.6166 -123.7732 1.3 1.5 0.8
2 1 404.1214 457.6044 -123.7781 1.1 1.5 0.8
2 1 404.1291 457.5979 -123.7808 1.8 1.7 1.2
2 1 404.1232 457.6043 -123.7784 1.3 1.2 0.9
2 1 404.1175 457.6015 -123.7806 1.0 1.0 0.7
3 1 220.6839 389.0538 -328.6244 0.9 0.8 0.5
3 1 220.6807 389.0618 -328.6206 1.2 1.4 0.8
3 1 220.6838 389.0527 -328.6241 1.1 1.4 0.7
3 1 220.6899 389.0496 -328.6276 2.0 1.8 1.3
3 1 220.6842 389.0549 -328.6239 1.2 1.2 0.9
3 1 220.6824 389.0527 -328.6270 1.0 0.9 0.7
2 4373283.3130 -4059639.0490 -2246959.7280 0.0000 0.0000 0.0000
3 4373466.7545 -4059570.4960 -2246754.8770 0.0000 0.0000 0.0000
```

Figura 11 - Dado de entrada para a rotina ENTRADA referente à posição P05.

```

DIA03_P15F35
3 12 2
1 4373687.4284 -4059181.4388 -2247083.4964 'META'
2 4373283.3130 -4059639.0490 -2246959.7280 'VICO'
3 4373466.7545 -4059570.4960 -2246754.8770 'DERH'
2 1 404.1131 457.6142 -123.7854 0.7 0.9 0.5
2 1 404.1180 457.6068 -123.7874 1.0 1.1 0.7
2 1 404.1156 457.6078 -123.7860 1.8 1.6 1.0
2 1 404.1120 457.6099 -123.7843 1.0 1.0 0.7
2 1 404.1203 457.6054 -123.7881 1.0 0.9 0.5
2 1 404.1211 457.6058 -123.7886 1.1 1.0 0.7
3 1 220.6769 389.0607 -328.6320 0.6 0.8 0.5
3 1 220.6799 389.0572 -328.6332 0.9 1.0 0.6
3 1 220.6787 389.0581 -328.6326 1.6 1.5 1.0
3 1 220.6752 389.0603 -328.6307 0.9 0.9 0.6
3 1 220.6824 389.0549 -328.6346 0.8 0.8 0.4
3 1 220.6822 389.0561 -328.6350 1.0 1.0 0.6
2 4373283.3130 -4059639.0490 -2246959.7280 0.0000 0.0000 0.0000
3 4373466.7545 -4059570.4960 -2246754.8770 0.0000 0.0000 0.0000

```

Figura 12 - Dado de entrada para a rotina ENTRADA referente à posição P15.

```

DIA04_P35F35
3 12 2
1 4373687.4284 -4059181.4388 -2247083.4964 'META'
2 4373283.3130 -4059639.0490 -2246959.7280 'VICO'
3 4373466.7545 -4059570.4960 -2246754.8770 'DERH'
2 1 404.1100 457.6176 -123.8040 0.7 1.0 0.5
2 1 404.1116 457.6118 -123.8057 0.7 1.1 0.7
2 1 404.1181 457.6072 -123.8088 1.2 1.1 0.7
2 1 404.1170 457.6131 -123.8087 1.1 1.1 0.6
2 1 404.1111 457.6129 -123.8061 0.7 0.7 0.5
2 1 404.1176 457.6129 -123.8092 1.2 0.7 0.5
3 1 220.6729 389.0653 -328.6510 0.6 0.9 0.5
3 1 220.6732 389.0616 -328.6520 0.7 1.0 0.7
3 1 220.6798 389.0579 -328.6551 1.0 1.0 0.6
3 1 220.6797 389.0624 -328.6548 1.0 1.0 0.5
3 1 220.6753 389.0619 -328.6535 0.6 0.7 0.5
3 1 220.6786 389.0632 -328.6550 1.2 0.7 0.4
2 4373283.3130 -4059639.0490 -2246959.7280 0.0000 0.0000 0.0000
3 4373466.7545 -4059570.4960 -2246754.8770 0.0000 0.0000 0.0000

```

Figura 13 - Dado de entrada para a rotina ENTRADA referente à posição P35.

```

DIA05_P60F35
3 12 2
1 4373687.4284 -4059181.4388 -2247083.4964 'META'
2 4373283.3130 -4059639.0490 -2246959.7280 'VICO'
3 4373466.7545 -4059570.4960 -2246754.8770 'DERH'
2 1 404.1098 457.6148 -123.8308 0.9 0.8 0.5
2 1 404.1052 457.6196 -123.8291 0.6 0.7 0.5
2 1 404.1073 457.6173 -123.8296 0.7 1.0 0.7
2 1 404.1083 457.6157 -123.8304 0.7 0.7 0.4
2 1 404.1058 457.6187 -123.8287 0.9 0.8 0.5
2 1 404.1030 457.6185 -123.8294 0.6 0.7 0.5
3 1 220.6711 389.0653 -328.6768 0.8 0.7 0.5
3 1 220.6678 389.0678 -328.6760 0.6 0.7 0.4
3 1 220.6693 389.0666 -328.6769 0.7 1.0 0.6
3 1 220.6698 389.0659 -328.6769 0.7 0.7 0.4
3 1 220.6678 389.0689 -328.6746 0.9 0.9 0.5
3 1 220.6665 389.0682 -328.6765 0.6 0.6 0.4
2 4373283.3130 -4059639.0490 -2246959.7280 0.0000 0.0000 0.0000
3 4373466.7545 -4059570.4960 -2246754.8770 0.0000 0.0000 0.0000

```

Figura 14 - Dado de entrada para a rotina ENTRADA referente à posição P60.

Para melhor entendimento dos dados que fazem parte das observações para realizar o ajustamento, segue abaixo uma descrição da disposição e formato das informações que fazem parte do arquivo de entrada.

- 1ª linha: Nome do arquivo dos dados.
- 2ª linha: É formada por 3 grupos de dados. O primeiro grupo é relacionado a quantidade de pontos a serem ajustados (Parâmetros), o segundo grupo esta relacionado ao número de observações das linhas de base e o terceiro grupo esta relacionado ao numero de estações de referência.
- 3ª até a 5ª linha: Refere-se ao grupo dos pontos a determinar. Terá tantas linhas quanto for o número de pontos. Cada linha contém: Número da estação, coordenada  $X$  , coordenada  $Y$  , coordenada  $Z$  (ambas em metros) e nome da estação.
- 6ª até a 17ª linha: refere-se ao grupo das linhas de base. Contém tantas linhas quanto for o numero de linhas de base. Cada linha contém: Número da estação de referência, número da estação parâmetro, componentes da linha de base  $(dx, dy, dz)$  em metros e precisão das componentes da linha de base  $(\sigma_{dx}, \sigma_{dy}, \sigma_{dz})$  em milímetros.
- 18ª até a 19ª linha: refere-se às posições de referência. Contem tantas linhas quantos forem os pontos de referência. Cada linha contém: número da estação de referência, coordenada  $X$  , coordenada  $Y$  , coordenada  $Z$  (ambas em metros) e suas respectivas precisões  $(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z)$  em metros.

Durante a execução do ajustamento, foram consideradas observações as linhas de base independentes existentes entre as estações, como parâmetro apenas a estação META e como injunções de observação as estações fixas VICO e DERH.

## 4. RESULTADOS

O resultado deste estudo foi a determinação das posições P00, P05, P15, P35 e P60 ajustadas juntamente com suas precisões. Obteve-se também como resultado a verificação da ocorrência de deslocamento a partir do Teste de Congruência e da diferença de posição encontrada pelas coordenadas topocêntricas dos pontos em estudo junto com suas respectivas elipse dos erros.

### 4.1. Análise do ajustamento, confiabilidade e Teste de Congruência.

Para a análise do ajustamento das observações foi verificado o número de observações, parâmetros e o grau de liberdade, juntamente com a aplicação do Teste Qui-Quadrado e em seguida o Teste *Tau*.

A Tabela 13 abaixo ilustra as informações iniciais do ajustamento considerando todas as observações obtidas em campo e em seguida a Tabela 14 ilustra as informações sobre o ajustamento após a exclusão de observações detectadas pelo Teste *Tau* como *outliers*. Nesta tabela, na coluna situação as observações que passaram no teste são marcadas com “OK” e as que falharam com “N”.

O limite inferior e superior foi calculado a partir da equação 2.25 para  $\alpha$  igual a 5%.

O valor de *Tau* calculado foi obtido pela equação 2.27 e o valor de *Tau* tabelado foi obtido pela equação 2.30. o Valor de *Tau* mostrado pela Tabela 13 indica o menor valor encontrado analisando todas as observações.

Tabela 13 - Informações sobre o ajustamento contando com todas as observações de campo.

Posição	Teste Qui-Quadrado ( $\chi^2$ )				Informações			Teste $Tau$		
	Limite Inferior	$\sigma_0^2$	Limite Superior	Situação	Número de Observações	Número de Parâmetros	Grau de liberdade	$Tau$ tabelado	$Tau$ calculado	Situação
P00	0,5772	18,93	1,5371	N	42	9	33	3,0828	10,57	N
P05	0,5772	14,77	1,5371	N	42	9	33	3,0828	7,79	N
P15	0,5772	17,21	1,5371	N	42	9	33	3,0828	8,37	N
P35	0,5772	19,64	1,5371	N	42	9	33	3,0828	9,76	N
P60	0,5772	16,93	1,5371	N	42	9	33	3,0828	8,98	N

Tabela 14 - Informações sobre o ajustamento agora já excluídas as observações que prejudicavam a qualidade do ajustamento.

Posição	Teste Qui-Quadrado ( $\chi^2$ )				Informações			Teste $Tau$		
	Limite Inferior	$\sigma_0^2$	Limite Superior	Situação	Número de Observações	Número de Parâmetros	Grau de liberdade	$Tau$ tabelado	$Tau$ calculado	Situação
P00	0,4021	1,6445	1,8656	OK	23	9	14	2,78	2,36	OK
P05	0,4317	1,6124	1,8028	OK	25	9	16	2,83	2,51	OK
P15	0,3853	1,7035	1,9027	OK	22	9	13	2,75	2,17	OK
P35	0,3853	1,7152	1,9027	OK	22	9	13	2,71	2,33	OK
P60	0,4317	1,4896	1,8028	OK	25	9	16	2,81	2,71	OK

Da realização do ajustamento em cada uma das épocas pode-se avaliar sua qualidade em função da análise dos resíduos e da confiabilidade.

Inicialmente verifica-se que todos os conjuntos de observações falharam em passar no Teste Qui-Quadrado como verificado na Tabela 13. Desta forma foi

necessária a aplicação do Teste *Tau* para avaliar a existência de erro grosseiros nas observações e eliminação daquelas que contenham esses erros.

Após serem eliminadas as observações que contenham erros grosseiros, e verificando-se a aprovação do novo ajustamento no Teste Qui-Quadrado, pode-se finalizar o ajustamento.

Em seguida são apresentados os principais resultados que descrevem o ajustamento em forma de gráficos. A apresentação visual de alguns resultados do ajustamento facilita a compreensão do comportamento dos dados e da análise dos resultados.

- Avaliação dos resíduos das observações para cada posição.

Após o ajustamento dos dados coletados com o GPS nas posições P0, P5, P15 P35 e P60, se obtêm, além de outros resultados, os resíduos das observações. Uma forma de avaliar isto no gráfico é verificando se a distribuição dos resíduos das observações plotados no gráfico é simétrica em relação ao eixo zero. As Figuras 15, 16, 17, 18 e 19 representam a distribuição espacial dos resíduos das observações para as posições P00, P05, P15, P35 e P60, respectivamente. Para obtenção dos resíduos das observações foi utilizada a Equação 2.8.



Figura 15 - Dispersão dos resíduos para a posição P00.



Figura 16 - Dispersão dos resíduos para a posição P05.



Figura 17 - Dispersão dos resíduos para a posição P15.

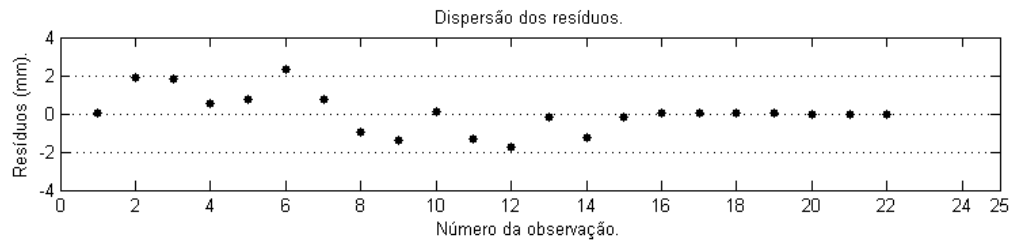


Figura 18 - Dispersão dos resíduos para a posição P35.



Figura 19 - Dispersão dos resíduos para a posição P60.

Visualizando a dispersão dos resíduos das observações nos gráficos observa-se que foram obtidos bons resultados quanto a sua dispersão em relação à origem, ou seja, todos os valores estão contidos entre o limite inferior de -4 mm e superior de +4 mm.

- Avaliação do Teste *Tau* aplicado no ajustamento.

As Figuras 20, 21, 22, 23 e 24 representam a distribuição espacial do valor para o Teste *Tau* calculado para as posições P00, P05, P15, P35 e P60, respectivamente. Este resultado é obtido aplicando a Equação 2.27.

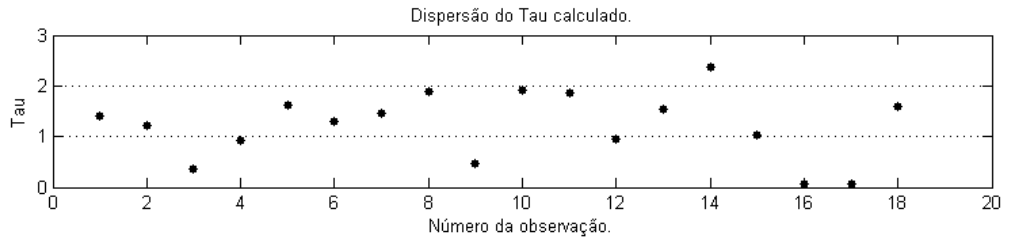


Figura 20 - Dispersão do valor de  $Tau$  calculado para a posição P00.

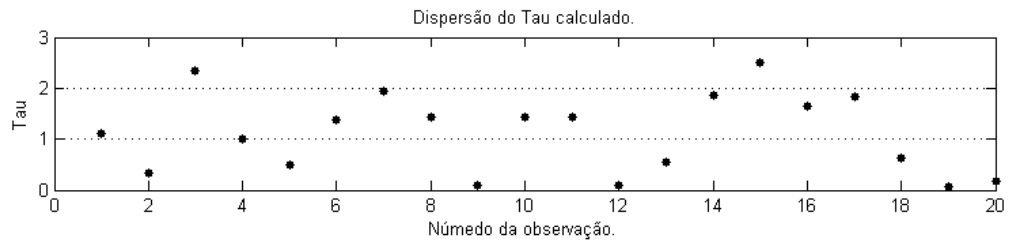


Figura 21 - Dispersão do valor de  $Tau$  calculado para a posição P05.

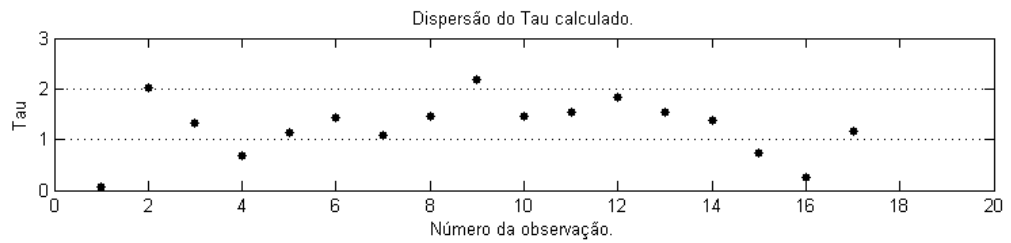


Figura 22 - Dispersão do valor de  $Tau$  calculado para a posição P15.

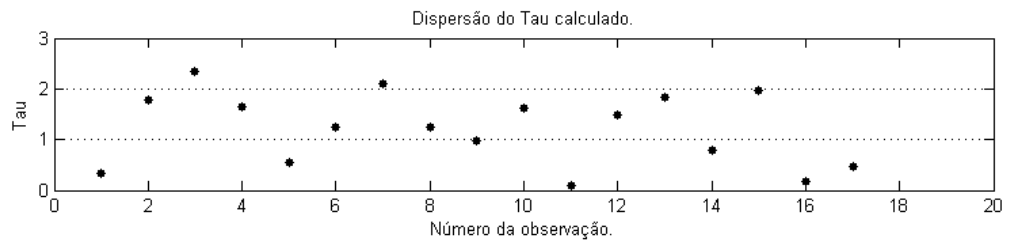


Figura 23 - Dispersão do valor de  $Tau$  calculado para a posição P35.

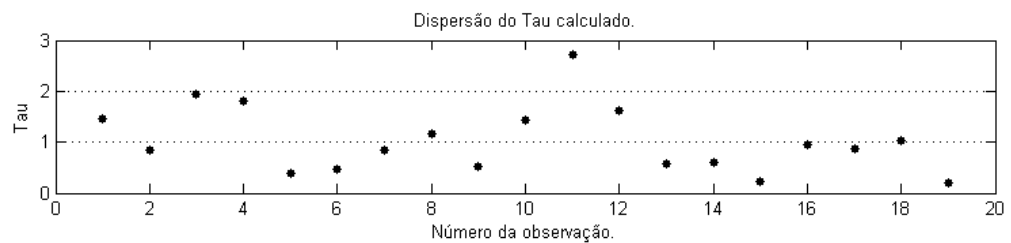


Figura 24 - Dispersão do valor de  $Tau$  calculado para a posição P60.

O Teste *Tau* permite verificar se a observação em questão pode conter erro grosseiro ou não. Realizando a análise entre o *Tau* tabelado e o *Tau* calculado, foi possível verificar que os valores encontrados nos gráficos acima calculados pela Equação 2.27, são inferiores ao valor tabelado, com  $\alpha$  de significância indicando que não é necessária a exclusão de observações no ajustamento.

- Avaliação da redundância parcial de cada observação.

A redundância parcial consiste na contribuição de cada observação utilizada no ajustamento para a redundância total. O valor numérico da redundância total é igual ao grau de liberdade. As Figuras 25, 26, 27, 28 e 29 representam a distribuição espacial da redundância de cada observação para as posições P00, P05, P15, P35 e P60, respectivamente.

A análise de confiabilidade é importante porque nos fornece uma análise completa de cada observação separadamente, podendo esta ser comparada com os valores das análises das outras observações. Neste caso a análise é feita a partir do comportamento geral dos dados entre si, através das leituras dos gráficos gerados pelos valores calculados. A análise em forma de gráfico facilita na procura de algum valor que esteja fora dos padrões vizinhos. As redundâncias parciais foram calculadas através da Equação 2.34.

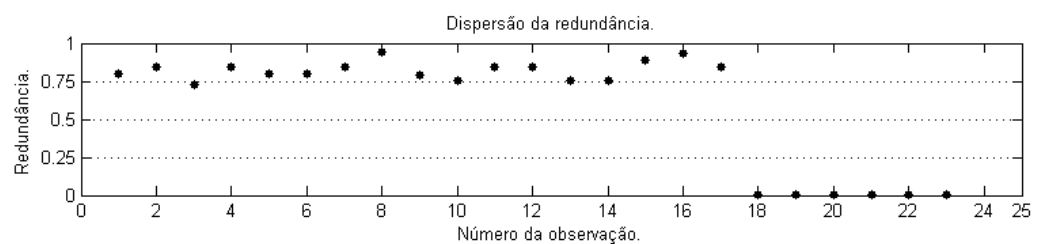


Figura 25 - Dispersão da redundância em cada observação para a posição P00.

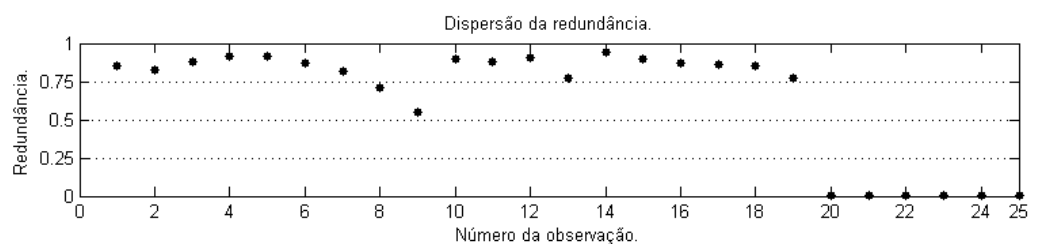


Figura 26 - Dispersão da redundância em cada observação para a posição P05.

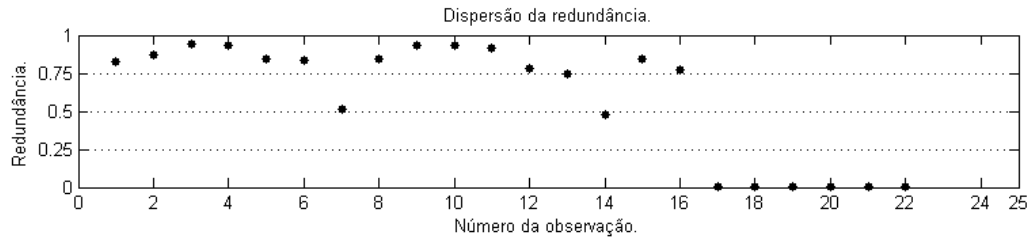


Figura 27 - Dispersão da redundância em cada observação para a posição P15.

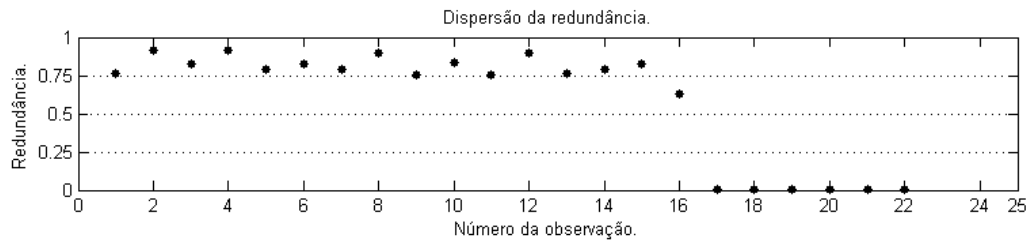


Figura 28 - Dispersão da redundância em cada observação para a posição P35.

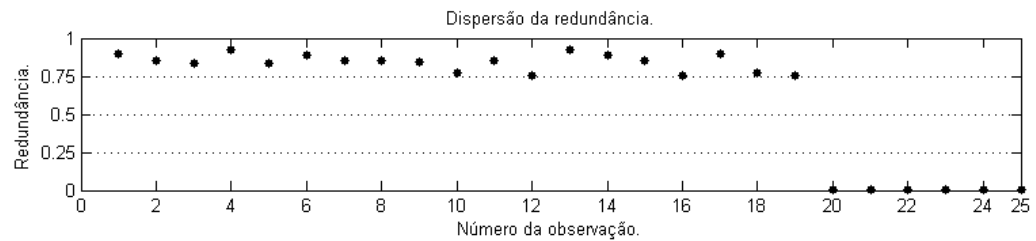


Figura 29 - Dispersão da redundância em cada observação para a posição P60.

- Avaliação do menor erro não detectado (MED) nas observações para cada uma das posições.

As Figuras 30, 31, 32, 33 e 34 representam a distribuição espacial do menor erro não detectável nas observações para as posições P00, P05, P15, P35 e P60, respectivamente. O MED pode obtido aplicando-se a Equação 2.35.

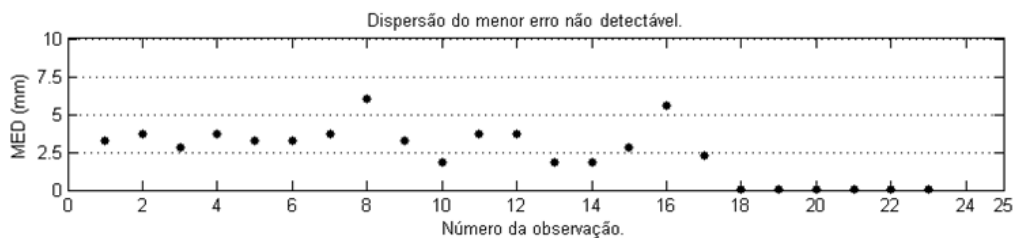


Figura 30 - Dispersão MED para a posição P00.



Figura 31 - Dispersão do MED para a posição P05.

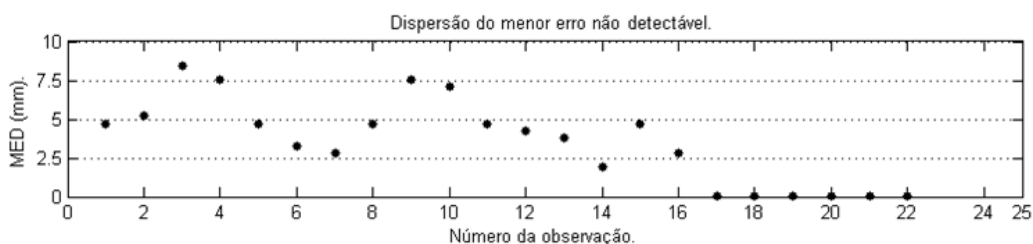


Figura 32 - Dispersão do MED para a posição P15.



Figura 33 - Dispersão do MED para a posição P35.



Figura 34 - Dispersão do MED para a posição P60.

Através do gráfico do MED verifica-se em cada ajustamento o menor erro detectável nas observações. Pode-se ver que os MED's são em sua maioria na ordem de milímetros, tendo um valor mínimo de 0,0mm e máximo de 8,5mm na posição P15 conforme ilustra a Figura 32.

As observações onde o MED é maior que os vizinhos implicam apenas que terá uma maior influência na determinação dos parâmetros. Essa influência pode ser positiva ou negativa, melhorando ou piorando a qualidade dos resultados.

- Avaliação da influência do MED nas observações para cada uma das posições.

As Figuras 35, 36, 37, 38 e 39 representam a distribuição espacial da influência do MED na determinação dos parâmetros para as posições P00, P05, P15, P35 e P60, respectivamente. Para determinação da influência do MED na determinação do parâmetro foi utilizada a Equação 2.37.

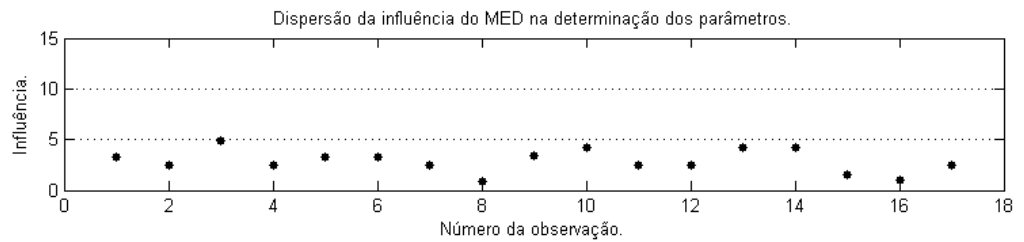


Figura 35 - Dispersão da influência do MED para a posição P00.

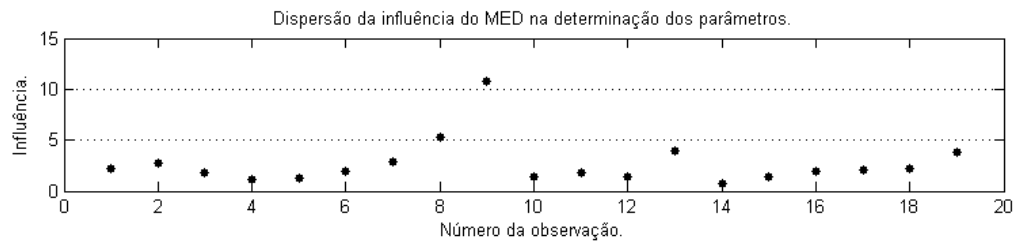


Figura 36 - Dispersão da influência do MED para a posição P05.

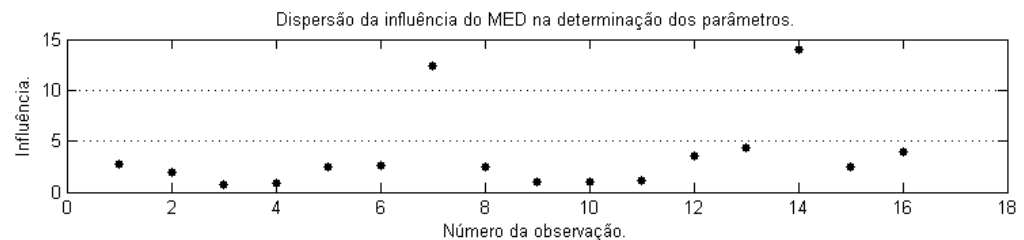


Figura 37 - Dispersão da influência do MED para a posição P15.

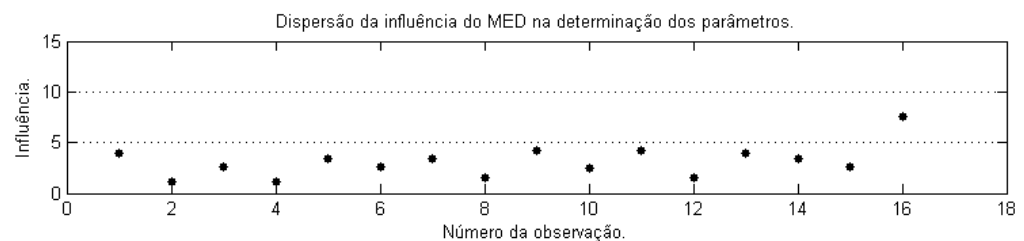


Figura 38 - Dispersão da influência do MED para a posição P35.

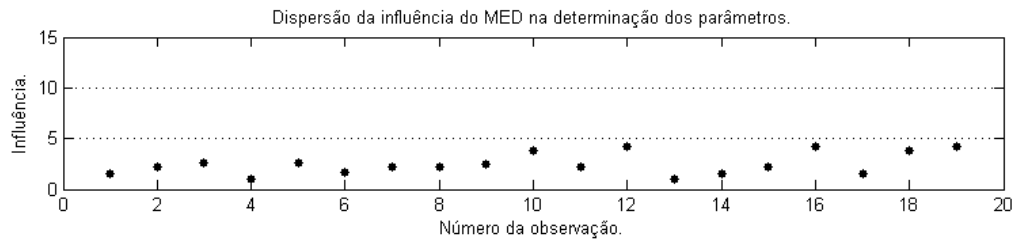


Figura 39 - Dispersão da influência do MED para a posição P60.

A análise visual da dispersão da influência do MED demonstra o quanto a observação irá influenciar na determinação dos parâmetros. Valores mais elevados indicam uma maior influência, como por exemplo, a observação número 9 no gráfico da Figura 36. Nota-se que em todas as épocas esta influência teve aproximadamente os mesmos valores.

#### 4.2. Ajustamento das observações.

Com a realização do ajustamento para cada posição da antena obteve-se as coordenadas cartesianas geocêntricas ajustadas no WGS84 assim como suas respectivas precisões. Estes resultados são apresentados pelas Tabelas 15, 16, 17, 18 e 19, respectivamente conforme as posições do receptor na placa de simulação de deslocamento em P00, P05, P15, P35 e P60.

Tabela 15 - Coordenadas da antena ajustadas na posição P00.

<b>Coordenadas: WGS84</b>			
<b>Coordenadas Cartesianas Geocêntricas</b>			
Estação	Coordenadas		Desvio Padrão
<b>META</b>	<i>X</i>	4373687,4344 m	0,0004 m
	<i>Y</i>	-4059181,4426 m	0,0004 m
	<i>Z</i>	-2247083,4970 m	0,0002 m
<b>VICO</b>	<i>X</i>	4373283,3130 m	0,0000 m
	<i>Y</i>	-4059639,0490 m	0,0000 m
	<i>Z</i>	-2246959,7280 m	0,0000 m
<b>DERH</b>	<i>X</i>	4373466,7545 m	0,0000 m
	<i>Y</i>	-4059570,4960 m	0,0000 m
	<i>Z</i>	-2246754,8770 m	0,0000 m

Tabela 16 - Coordenadas da antena ajustadas na posição P05.

<b>Coordenadas: WGS84</b>			
<b>Coordenadas Cartesianas Geocêntricas</b>			
Estação	Coordenadas		Desvio Padrão
<b>META</b>	<i>X</i>	4373687,4368 m	0,0005 m
	<i>Y</i>	-4059181,4432 m	0,0005 m
	<i>Z</i>	-2247083,5012 m	0,0004 m
<b>VICO</b>	<i>X</i>	4373283,3130 m	0,0000 m
	<i>Y</i>	-4059639,0490 m	0,0000 m
	<i>Z</i>	-2246959,7280 m	0,0000 m
<b>DERH</b>	<i>X</i>	4373466,7545 m	0,0000 m
	<i>Y</i>	-4059570,4960 m	0,0000 m
	<i>Z</i>	-2246754,8770 m	0,0000 m

Tabela 17 - Coordenadas da antena ajustadas na posição P15.

<b>Coordenadas: WGS84</b>			
<b>Coordenadas Cartesianas Geocêntricas</b>			
Estação	Coordenadas		Desvio Padrão
<b>META</b>	<i>X</i>	4373687,4309 m	0,0005 m
	<i>Y</i>	-4059181,4401 m	0,0005 m
	<i>Z</i>	-2247083,5116 m	0,0004 m
<b>VICO</b>	<i>X</i>	4373283,3130 m	0,0000 m
	<i>Y</i>	-4059639,0490 m	0,0000 m
	<i>Z</i>	-2246959,7280 m	0,0000 m
<b>DERH</b>	<i>X</i>	4373466,7545 m	0,0000 m
	<i>Y</i>	-4059570,4960 m	0,0000 m
	<i>Z</i>	-2246754,8770 m	0,0000 m

Tabela 18 - Coordenadas da antena ajustadas na posição P35.

<b>Coordenadas: WGS84</b>			
<b>Coordenadas Cartesianas Geocêntricas</b>			
Estação	Coordenadas		Desvio Padrão
<b>META</b>	<i>X</i>	4373687,4329 m	0,0006 m
	<i>Y</i>	-4059181,4353 m	0,0004 m
	<i>Z</i>	-2247083,5320 m	0,0003 m
<b>VICO</b>	<i>X</i>	4373283,3130 m	0,0000 m
	<i>Y</i>	-4059639,0490 m	0,0000 m
	<i>Z</i>	-2246959,7280 m	0,0000 m
<b>DERH</b>	<i>X</i>	4373466,7545 m	0,0000 m
	<i>Y</i>	-4059570,4960 m	0,0000 m
	<i>Z</i>	-2246754,8770 m	0,0000 m

Tabela 19 - Coordenadas da antena ajustadas na posição P60.

Coordenadas: WGS84			
Coordenadas Cartesianas Geocêntricas			
Estação	Coordenadas		Desvio Padrão
<b>META</b>	<i>X</i>	4373687,4215 m	0,0004 m
	<i>Y</i>	-4059181,4300 m	0,0003 m
	<i>Z</i>	-2247083,5536 m	0,0002 m
<b>VICO</b>	<i>X</i>	4373283,3130 m	0,0000 m
	<i>Y</i>	-4059639,0490 m	0,0000 m
	<i>Z</i>	-2246959,7280 m	0,0000 m
<b>DERH</b>	<i>X</i>	4373466,7545 m	0,0000 m
	<i>Y</i>	-4059570,4960 m	0,0000 m
	<i>Z</i>	-2246754,8770 m	0,0000 m

De acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 15 a 19, pode-se visualizar a precisão das coordenadas que foram obtidas a partir da precisão das linhas de base utilizadas no processamento das observações GPS.

Em seguida realizou-se a transformação de coordenadas do sistema geocêntrico para o topocêntrico (Equação 2.1) juntamente com a propagação das variâncias das coordenadas geocêntricas para as coordenadas topocêntricas. Para isto usou-se a Equação 2.2. Os resultados estão expostos na Tabela 20.

Tabela 20 - Coordenadas topocêntricas das posições da antena GPS.

Coordenadas Topocêntricas						
Sistema Topocêntrico Local						
Estação Posição	Coordenadas (m)			Desvio Padrão (mm)		
	<i>e</i>	<i>n</i>	<i>u</i>	<i>e</i>	<i>n</i>	<i>u</i>
<b>VICO (Origem)</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0	0,0	0,0
<b>P00</b>	610,3182	-121,1010	29,7107	0,4	0,3	0,4
<b>P05</b>	610,3194	-121,1042	29,7142	0,5	0,4	0,5
<b>P15</b>	610,3177	-121,1162	29,7120	0,5	0,4	0,5
<b>P35</b>	610,3225	-121,1358	29,7175	0,5	0,4	0,5
<b>P60</b>	610,3187	-121,1603	29,7139	0,3	0,3	0,3

Após o ajustamento também se obtêm como resultado os elementos das elipses dos erros, no sistema topocêntrico, para cada posição da antena na barra de simulação de deslocamento. Estes resultados são apresentados pela Tabelas 21, respectivamente as posições do receptor GPS em P00, P05, P15, P35 e P60 e foram obtidos com a aplicação da Equação 2.14 e Equação 2.15.

Tabela 21 - Elementos da elipse dos erros.

Elipse dos erros (95%)				
Estação Posição	Orientação $\phi$	Semi-eixo maior $a$	Semi-eixo menor $b$	Eixo vertical $h$
<b>P00</b>	1°15'49,7034''	1,0 mm	0,7 mm	0,8 mm
<b>P05</b>	16°03'58,3338''	1,3 mm	0,7 mm	1,0 mm
<b>P15</b>	356°02'48,1351''	1,3 mm	0,7 mm	1,0 mm
<b>P35</b>	331°55'0,8297''	1,3 mm	0,7 mm	1,0 mm
<b>P60</b>	353°56'43,1929''	0,8 mm	0,7 mm	0,6 mm

Pela Figura 40a, 40b, 40c, 40d, e 40e, abaixo, apresenta-se a visualização espacial da elipse dos erros em relação aos eixos  $e$ ,  $n$ ,  $u$  desenhadas a partir de seus respectivos componentes  $\phi, a, b$  e  $h$  para as posições P00, P05, P15, P35 e P60.

Em seguida pode-se visualizar a representação espacial dos deslocamentos simulados no sistema topocêntrico juntamente com a elipse de erros em cada ponto pela Figura 41.

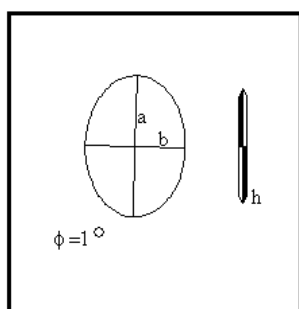


Figura 40a - Posição P00

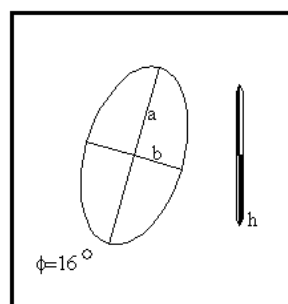


Figura 40b - Posição P05

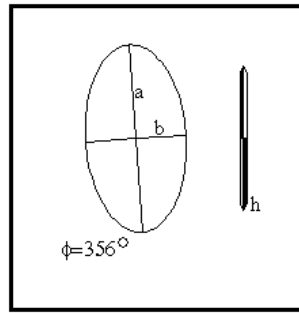


Figura 40c - Posição P15

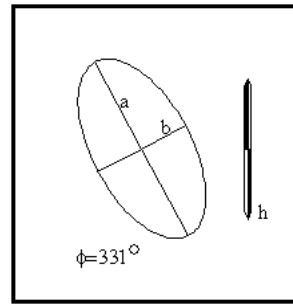


Figura 40d - Posição P35

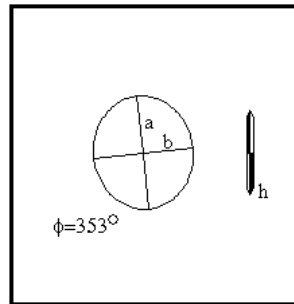


Figura 40e - Posição P60

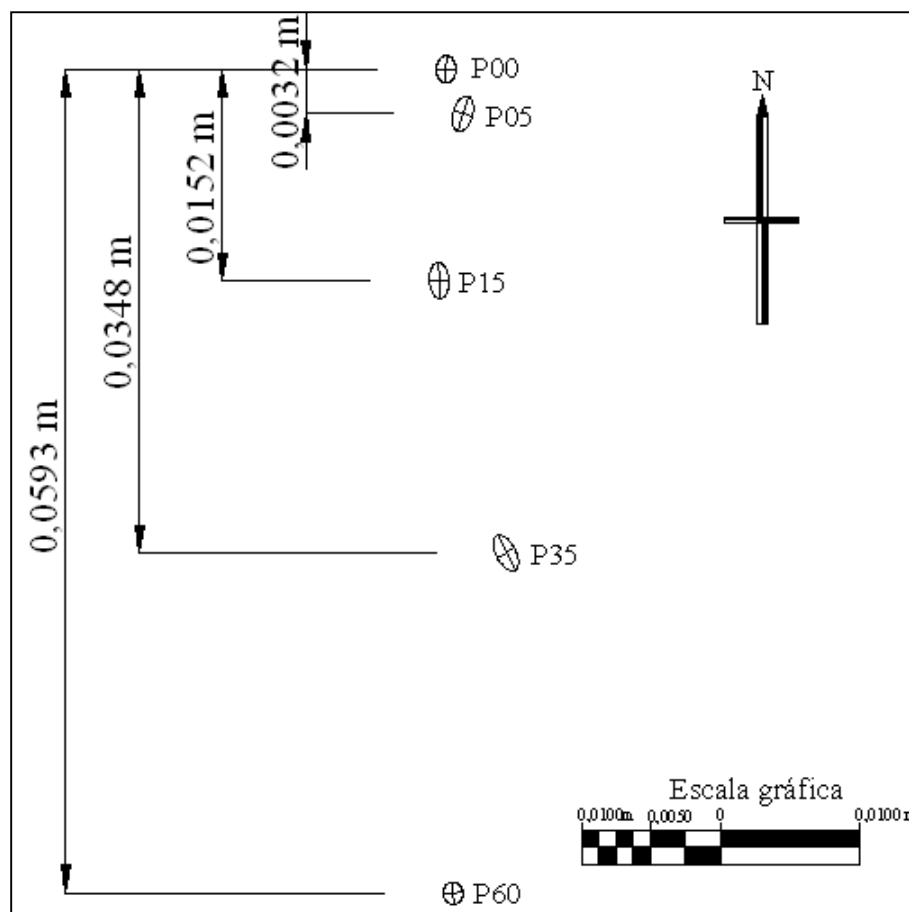


Figura 41 - Representação em planta as posições deslocadas e suas respectivas elipses.

A representação espacial da posição das elipses dos erros na Figura 41 nos mostra que elas não se interceptam, o que demonstra espacialmente o deslocamento simulado na peça durante a realização deste trabalho com o uso do GPS.

Pode-se verificar que o deslocamento ocorre em relação ao eixo Y, direção única a qual a peça foi submetida ao deslocamento.

Em seguida é apresentada a análise de deslocamento em função do Teste de Congruência. Neste teste foi realizada a análise de deslocamento época por época, verificando se o deslocamento simulado é detectado pelo teste.

A Tabela 22 a seguir faz uma comparação entre as distâncias medidas em campo diretamente na placa de simulação de deslocamento (distância de referência) e a respectiva distância obtida por meio das coordenadas obtidas com o receptor GPS.

Tabela 22 - Comparação entre as distâncias de referência medidas em campo com as obtidas com o posicionamento por satélite.

<b>Análise da variação de deslocamento</b>				
<b>Distancia</b>	<b>GPS (mm)</b>	<b>Campo (mm)</b>	<b>Diferença (mm)</b>	<b>Diferença %</b>
POP0	00,0	00,0	0,0	-
POP5	03,4	05,0	1,6	31,2
P5P15	12,1	10,0	2,1	21,4
POP15	15,2	15,0	0,2	1,5
P15P35	20,2	20,0	0,2	1,2
P35P60	24,7	25,0	0,3	1,1
P5P35	31,8	30,0	1,8	6,0
POP35	35,1	35,0	0,1	0,4
P15P60	44,1	45,0	0,9	2,0
P5P60	56,1	55,0	1,1	2,0
POP60	59,3	60,0	0,7	1,1

A Figura 42 a seguir ilustra graficamente a relação de diferença entre a distância medida em campo e a mesma obtida com as coordenadas por GPS.

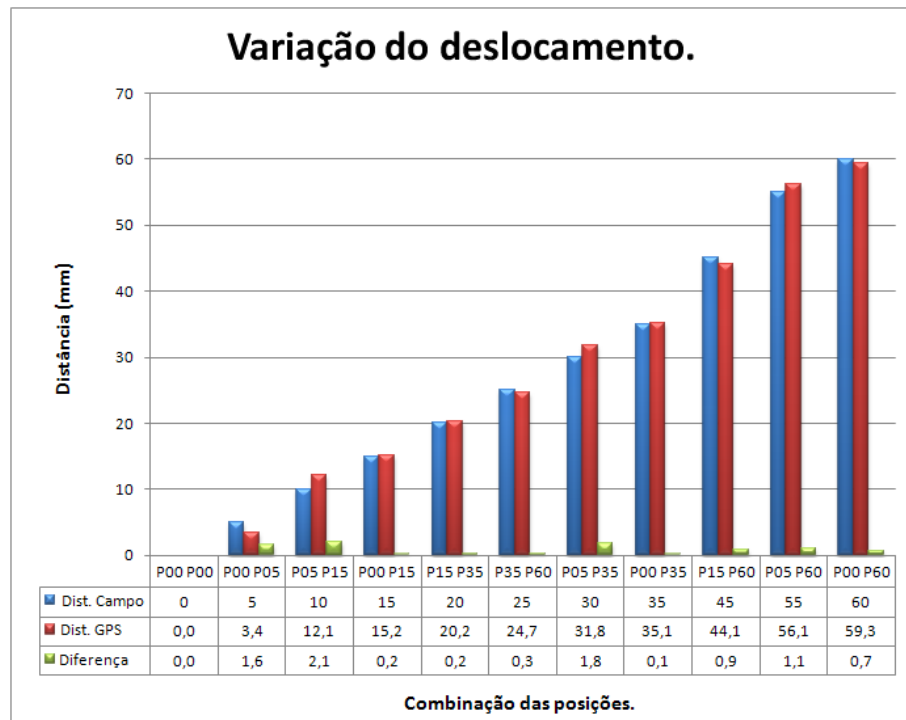


Figura 42 - Relação entre as distâncias de referência medidas em campo e a mesma obtida com o posicionamento por satélite.

Com este resultado podemos avaliar a quantidade mínima de deslocamento que o sistema GNSS seria capaz de detectar utilizando a metodologia empregada neste trabalho, cujo menor quantidade deslocada foi de 5 mm.

Para a aplicação do Teste de Congruência, foi considerado um nível, de confiança  $1-\alpha$  de 95%. Em seguida foi aplicado o teste para todas as combinações de posições do receptor GPS na placa chegando a um valor tabelado e um valor calculado pela Equação 2.45. A partir dos valores encontrados foi possível montar a Tabela 23 comparando os resultados encontrados.

Tabela 23 - Aplicação do Teste de Congruência.

Teste de Congruência				
Distância (mm)		K (Calculado) Equação 2.45	F (Tabelado) Equação 2.47	Sigma conjunto
P0P0	0	-	-	-
P0P5	5	18,32	2,37	1,63
P5P15	10	84,01	2,51	1,65
P0P15	15	216,78	2,55	1,67
P15P35	20	344,14	2,58	1,71
P35P60	25	685,50	2,40	1,59
P5P35	30	701,79	2,51	1,66
P0P35	35	1504,93	2,55	1,68
P15P60	45	1953,12	2,40	1,59
P5P60	55	2678,24	2,33	1,55
P0P60	60	5817,11	2,37	1,56

Na Figura 43 faz-se uma representação gráfica desta variação no Teste de Congruência em função do deslocamento a que foi submetido o receptor GPS para as combinações de deslocamento simulados entre as posições P00, P05, P15, P35 e P60, respectivamente.

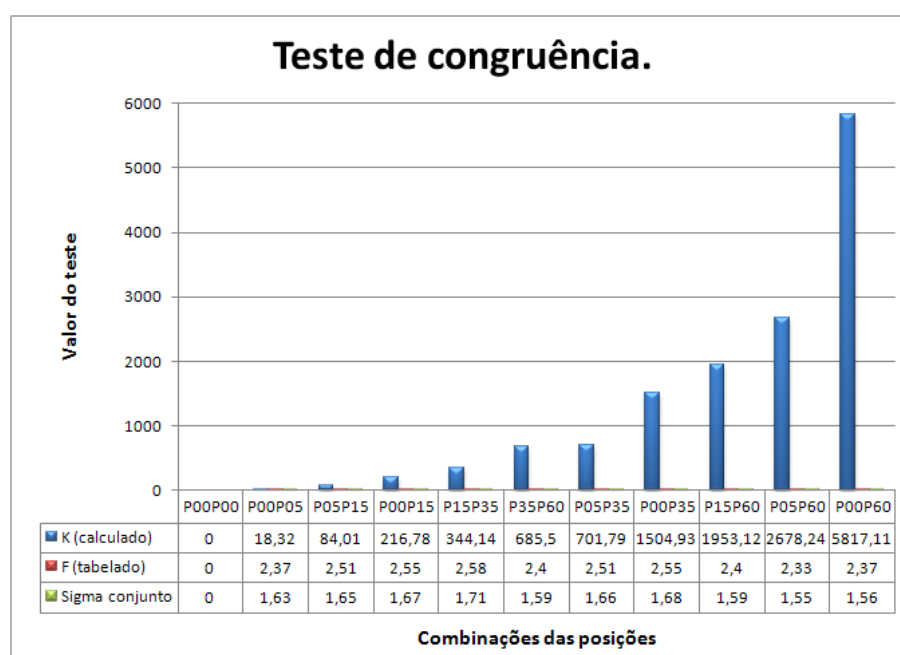


Figura 43 - Análise gráfica do deslocamento em função do Teste de Congruência.

Conforme visto pela Figura 43, foi possível determinar o deslocamento com a aplicação do Teste de Congruência. Para o deslocamento da ordem de 15 mm,

verifica-se um elevado valor de K em torno de 210, demonstrando a sensibilidade do teste quanto à detecção de deslocamento.

Em seguida é apresentada a Figura 44 no qual se pode ver com maior detalhe o resultado do teste aplicado no deslocamento simulado para as menores quantidades de deslocamento. O menor deslocamento simulado (5 mm) foi detectado pelo teste, comprovando ainda mais a sua sensibilidade na detecção do deslocamento.

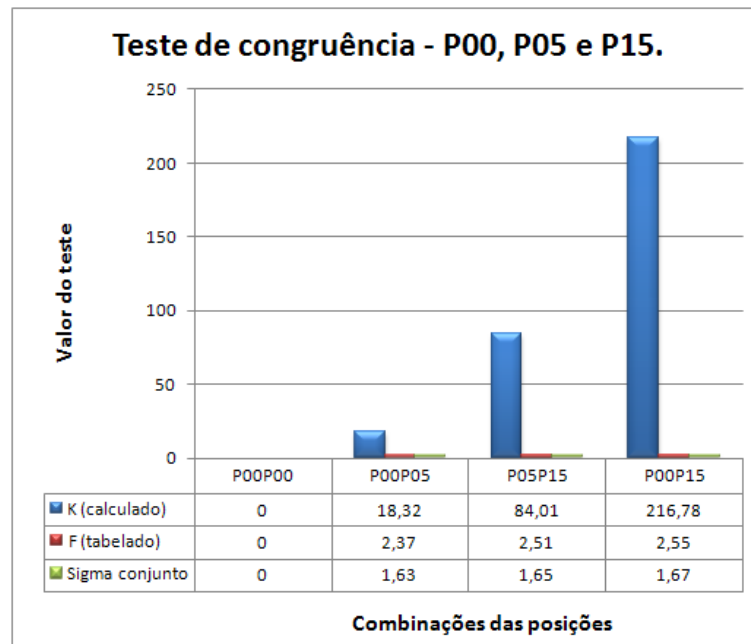


Figura 44 - Análise gráfica do deslocamento em função do Teste de Congruência.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os objetivos deste trabalho foram alcançados. Com a realização das observações em campo e do processamento das mesmas de acordo com a metodologia imposta nesta dissertação, foi possível determinar, com o uso do receptor GPS de dupla frequência, os valores deslocados na barra de simulação de deslocamentos. Foi possível perceber que a variação entre o valor deslocado e medido na placa como referência, se comparado com o obtido pelo GPS foi mínimo, cerca de 2 mm para um deslocamento em campo de 10mm e 0,2mm para um deslocamento em campo de 20mm, conforme pode ser verificado pela Tabela 22, tornando eficiente trabalhar com o sistema de posicionamento global para determinação de deslocamentos, para as grandezas estudadas neste trabalho.

A realização do ajustamento utilizando uma rotina programada foi eficiente, pois fornecia a todo instante as matrizes relevantes ao ajustamento, como por exemplo, a matriz de variância-covariância dos parâmetros, das observações ajustadas, dos resíduos etc., facilitando assim, que fosse realizada uma análise visual e comportamental dos dados. Outra vantagem na utilização das rotinas está relacionada ao ganho de tempo de processamento juntamente com a realização das iterações quanto à necessidade da eliminação de observações ruins e em seguida da realização de novos processamentos dos dados.

Com a utilização das elipses dos erros, tornou-se possível realizar uma visualização espacial dos pontos assim como os erros em todas as direções, podendo com isso comprovar espacialmente que a determinação do deslocamento por observações de satélite foi eficiente, uma vez que as elipses não se cruzaram.

O mesmo foi comprovado pelo cálculo do Teste de Congruência entre duas épocas, onde o valor calculado ficava sempre acima do valor tabelado, regra funcional para a realização do teste. Logo, para todas as posições observadas com o receptor GPS na placa de simulação e também para a combinação entre as posições, variando as distâncias deslocadas, o Teste de Congruência detectou o deslocamento.

Recomenda-se repetir esta metodologia de simulação de deslocamento, com o uso de mais receptores GPS em uma barra de simulação que varie não apenas em uma direção, mas em direções que forme uma figura geométrica, como um triângulo.

Recomenda-se realizar as mesmas observações com o uso de receptores de apenas uma frequência, podendo assim, fazer uma análise quanto à capacidade deste receptor em detectar deslocamento de estruturas e ao mesmo tempo uma análise comportamental dos dados se comparados ao mesmo realizado com receptor de dupla frequência.

As rotinas desenvolvidas neste trabalho foram de grande ajuda no processamento e análise dos dados, tornando recomendável dar continuação e modelagem das mesmas para programas melhorados.

Conclui-se que a metodologia apresentada neste trabalho é capaz de identificar deslocamento de estruturas através das observações GPS com o uso de receptores de dupla frequência para as grandezas aqui estudadas. Porém, deve-se atentar para a quantidade de deslocamento, não sendo inferior a mínima estudada neste trabalho e também a quantidade de observações realizadas em campo em conjunto com o método aplicado. Ambos os fatores podem influenciar na determinação de deslocamento com o uso do GPS.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, R. J. *Determinação do desvio da vertical empregando observáveis GPS da topografia clássica e do posicionamento por satélites*. Viçosa, 2008.

BAARDA, W. *A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks* (Vol. 2). Netherlands: New Series, 1968.

BERBER, M.; DARE, P. J.; VANÍCEK, P.; CRAYMER, M. R. On the Application of Robustness Analysis to Geodetic Networks. *Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering* , pp. 461/1-461/7, 2003.

CARVALHO, A. S. *Avaliação do Desempenho de Técnicas de Ajustamento para Análise de Deslocamento em Redes GPS*. Tese (Mestrado em Ciências Geodésicas) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 154 p. 2009.

CHEN, Y. Q.; CHRZANOWSKI, A.; SECORD, J. M. A strategy for the Analysis of the Stability of Reference Points in Deformation Surveys. *44* (2), pp. 141-149, 1990.

CHRZANOWSKI, A.; CHEN, Y. Q.; SECORD, J. M. Geometrical Analysis of Deformation Surveys. *Proceedings - Deformation Measurements Workshop* , p. 19, 1986.

DENLI, H. H.; DENIZ, R. Global Congruency Test methods for GPS Networks. *Journal of Surveying Engineering* , 129 (3), pp. 95-98, 2003.

EVEN-TZUR, G. *Designing the configuration of the Geodetic-Geodynamic Network in Israel* (Vol. 131). (F. SANSÒ, & A. J. GIL, Eds.) Springer, 2005.

FEAIRHELLER, S.; CLARCK, R. *Other Satellite Navigation Systems* (2 ed.). Artech House, Norwood: 595-634, 2006.

Folha. *Queda parcial do edifício Pallace 2*. Retrieved Maio 07, 2009, from Folha Online: <http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u374741.shtml>, 2008.

GEMAEL, C. *Introdução ao Ajustamento de Obsevações: Aplicações Geodésicas*. Curitiba: Editora Universidade Federal do Paraná - UFPR, 2008.

GUILANI, C. D.; WOLF, P. R. *Adjustment Computations - Spatial Data Analysis* (4th ed.). Hoboken, New Jersey: John Wiley & SONS, inc, 2006.

HEKIMOGLU, S.; DEMIREL, H.; AYDIN, C. Reliability of the Conventional Deformation Analysis Methods for Vertical Networks. *FIG XXII International Congress*, 2002.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. *GNSS Global Navigation Satellite Systems*. Springer Wien New York, 2008.

HUDNUT, K. W.; TITUS, B. *GPS L1 Civil Signal Modernization (LIC)*. Retrieved Fevereiro 27, 2009, from Site USCG texto em pdf: <http://www.navcen.uscg.gov/gps/modernization/L1/L1C-report-long.pdf>, 2004.

jovemsulnews.. *Represa rompe no triângulo mineiro*. Retrieved Maio 07, 2009, from <http://www.jovemsulnews.com.br/user/index.php?id=37485>, 2008.

KAPOVIC, Z.; MARENDIC, A.; PAAR, R. *Deformation Analysis of the Holcim LTDA. Cement Factory Objects*. (X. F. Congress, Ed.) Munich, Germany, 2006.

KUANG, S. *Geodetic network analysis and optimal design: concepts and applications*. Chelsea, Michigan: Ann Arbor Press, INC, 1996.

LEICK, A. *GPS Satellite Surveying* (2 th ed.). New York: John Wiley & Sons, INC, 1995.

LIMA, N.; CASACA, J.; HENRIQUES, M. J. Accuracy of Displacement Monitoring at Large Dams with GPS. In *Geodetic Deformation Monitoring: From Geophysical to Engineering Roles* (Vol. 131, pp. 239-243), 2007.

MIKHAIL, E. M. *Observations and least squares*. New York: University Press of America, 1976.

MONICO, J. F. *Posicionamento Pelo GNSS. Descrição, fundamentos e aplicações* (2º ed.). São Paulo: UNESP, 2008.

NEUMANN, I.; KUTTERER, H. Congruency Tests and Outlier Detection in Deformation Analysis with respect to Observation Imprecision. *3rd IAG / 12th FIG Symposium*, p. 10, 2006.

O GLOBO. *Barragem que rompeu no Piauí recebia injeções de cimento há pelo menos um ano*. (C. Carvalho, Ed.) Retrieved Julho 21, 2009, from O GLOBO:

<http://oglobo.globo.com/cidades/mat/2009/05/31/barragem-que-rompeu-no-piaui-recebia-injecoes-de-cimento-ha-pelo-menos-um-ano-756121711.asp>, 2009.

O GLOBO. *Desabamento de parte da linha 4 do metrô de São Paulo*. (O GLOBO) Retrieved Maio 07, 2009, from [http://oglobo.globo.com/fotos/2007/01/17/17\\_MHG\\_sp\\_canteiro.jpg](http://oglobo.globo.com/fotos/2007/01/17/17_MHG_sp_canteiro.jpg), 2008.

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

SILVA, A. S. *Optimisation of surveying monitoring networks*. Phd Thesis. Institute of Engineering Surveying and Space Geodesy, University of Nottingham, United Kingdom, 168p, 1997.

SPIPKER Jr., J. J.; PARKINSOM, B. W. *Global Positioning System: Theory and Applications* (1st edition ed.). AIAA (American Institute of Aeronautics & Astronautics), 1996.

TEIXEIRA, N. N.; FERREIRA, L. D. Análise da Confiabilidade de Redes Geodésicas. *Bol. Ciências Geodésicas, sec. Artigos.*, IX, 2003.

VANÍČEK, P.; CEAYMER, M. R.; KRAKIWSKY, E. J. Robustness Analysis of Geodetic Horizontal Networks. *Journal of Geodesy*, 75, pp. 199-209, 2001.

ZANETTI, M. A. *Implicações atuais no relacionamento entre sistemas terrestre de referência de origem local e geocêntrica*. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 111 p. 2006.

# APÊNDICE 1

## ENTRADA

### Algoritmo de leitura das observações

```
%=====
%Programa desenvolvido para entrada de dados.
%Programa de Pós Graduação em Informações Espaciais
%Área de Concentração em Informações Espaciais
%Departamento de Engenharia Civil
%Mestrando: Leandro José do Carmo Poletto - 44982
%Orientador: Professor Antônio Simões Silva
%=====
%
%LEITURA DO CABEÇALHO DO ARQUIVO DE ENTRADA
clear
clc
nome=input('Nome do arquivo de entrada (*.dat): ', 's');
fid = fopen(nome,'r');
titulo = fscanf(fid, '%s, \n');
n_pt_par = fscanf(fid, '%d,');
n_base_obs = fscanf(fid, '%d,');
n_pt_obs = fscanf(fid, '%d, \n');

%LEITURA DAS COORDENADAS DOS PARÂMETROS
for cont = 1 : n_pt_par
    id_coord_par(cont) = fscanf(fid, '%d, ' );
    X_pt_par(cont) = fscanf(fid, '%f, ' );
    Y_pt_par(cont) = fscanf(fid, '%f, ' );
    Z_pt_par(cont) = fscanf(fid, '%f, ' );
    nome_pt(cont,:) = fscanf(fid, '%s, \n' );
end;

%MONTANDO O VETOR Xzero
j = 1;
for cont = 1 : 3 : n_pt_par * 3
    Xzero(cont,1) = X_pt_par(j);
    Xzero(cont + 1,1) = Y_pt_par(j);
    Xzero(cont + 2,1) = Z_pt_par(j);
    j = j + 1;
end

%LEITURA DAS DIREÇÕES E DESVIO PADRAO
for cont = 1 : n_base_obs
    de(cont) = fscanf(fid, '%d, ' );
    para(cont) = fscanf(fid, '%d, ' );
    dirX_obs(cont) = fscanf(fid, '%f, ' );
    dirY_obs(cont) = fscanf(fid, '%f, ' );
    dirZ_obs(cont) = fscanf(fid, '%f, ' );
    dp_dirX_obs(cont) = fscanf(fid, '%f, ' );
    dp_dirY_obs(cont) = fscanf(fid, '%f, ' );
    dp_dirZ_obs(cont) = fscanf(fid, '%f, \n' );
end;
```

```

%LEITURA DAS COORDENADAS OBSERVADAS E DESVIO PADRAO
for cont = 1 : n_pt_obs
    id_coord_obs(cont) = fscanf(fid, '%d, ' );
    X_pt_obs(cont) = fscanf(fid, '%f, ' );
    Y_pt_obs(cont) = fscanf(fid, '%f, ' );
    Z_pt_obs(cont) = fscanf(fid, '%f, ' );
    dpX_obs(cont) = fscanf(fid, '%f, ' );
    dpY_obs(cont) = fscanf(fid, '%f, ' );
    dpZ_obs(cont) = fscanf(fid, '%f, \n' );
end;
%PREENCHENDO A MATRIZ PESOS COM ZEROS (0)
P = zeros(n_base_obs + n_pt_obs);
%PREENCHENDO O VETOR L, Lb E Lzero COM ZEROS (0)
Lb = zeros(n_base_obs * 3 + n_pt_obs *3, 1);
Lzero = zeros(n_base_obs * 3 + n_pt_obs *3, 1);
L = zeros(n_base_obs * 3 + n_pt_obs *3, 1);
%MONTANDO PESO E Lb REFERENTE AS DIREÇÕES OBSERVADAS
j = 1;
for cont = 1 : 3 : n_base_obs * 3
    P(cont,cont) = (1 / ((dp_dirX_obs(j)/1000)^2));
    P(cont+1,cont+1) = (1 / ((dp_dirY_obs(j)/1000)^2));
    P(cont+2,cont+2) = (1 / ((dp_dirZ_obs(j)/1000)^2));
    DPdirec(cont,1) = dp_dirX_obs(j);
    DPdirec(cont+1,1) = dp_dirY_obs(j);
    DPdirec(cont+2,1) = dp_dirZ_obs(j);
    Lb(cont) = dirX_obs(j);
    Lb(cont+1) = dirY_obs(j);
    Lb(cont+2) = dirZ_obs(j);
    j = j + 1;
end
%MONTANDO PESO E Lb REFERENTE AS COORDENADAS OBSERVADAS
j = 1;
for cont = n_base_obs * 3 + 1 : 3 : n_pt_obs * 3 + n_base_obs * 3
    P(cont,cont) = (1 / ((dpX_obs(j))^2));
    P(cont+1,cont+1) = (1 / ((dpY_obs(j))^2));
    P(cont+2,cont+2) = (1 / ((dpZ_obs(j))^2));
    Lb(cont) = X_pt_obs(j);
    Lb(cont+1) = Y_pt_obs(j);
    Lb(cont+2) = Z_pt_obs(j);
    j = j + 1;
end
%save Matriz_Peso.dat P -ascii -double
%save Vetor_Lb.dat Lb -ascii -double
%MONTANDO O VETOR L0 REFERENTE AS DIREÇÕES E COORDENADAS
const = 1;
j = 1;
for cont = 1 : length(para)
    Lzero(const) = X_pt_par(para(cont)) - X_pt_par(de(cont));
    Lzero(const + 1) = Y_pt_par(para(cont)) - Y_pt_par(de(cont));
    Lzero(const + 2) = Z_pt_par(para(cont)) - Z_pt_par(de(cont));
    const = const+3;
end
k = const;
for m = const : const + length(id_coord_obs) - 1
    Lzero(k) = X_pt_par(id_coord_obs(j));
    Lzero(k + 1) = Y_pt_par(id_coord_obs(j));
    Lzero(k + 2) = Z_pt_par(id_coord_obs(j));
    k = k + 3;
    j = j + 1;
end
%save Vetor_Lo.dat Lzero -ascii -double

```

```

%PREENCHENDO A MATRIZ A COM ZERO
A = zeros( n_pt_obs * 3 + n_base_obs * 3, n_pt_par * 3);
%CRIANDO AS FUNÇÕES DE OBSERVAÇÕES EM RELAÇÃO AOS PARÂMETROS
const = 1;
j = 1;
a1 = n_pt_par * 3;
aux = [];
for k2 = 1:n_pt_par
    aux1 = ['a' ,num2str(k2) ];
    aux2 = ['b' ,num2str(k2) ];
    aux3 = ['c' ,num2str(k2) ];
    aux = [ aux ; aux1 ; aux2 ; aux3];
end
[linhas colunas ] = size(aux);
for k3 = 1:linhas
    eval(['syms ' aux(k3,:)]);
end
for cont = 1 : length(para)
    eval([ 'funcao(const) = a' num2str(para(cont)) '- a'
num2str(de(cont))]);
    eval([ 'funcao(const+1) = b' num2str(para(cont)) '- b'
num2str(de(cont))]);
    eval([ 'funcao(const+2) = c' num2str(para(cont)) '- c'
num2str(de(cont))]);
    const = const+3;
end
k = const;
for m = const : (const + length(id_coord_obs) - 1)
    eval([ 'funcao(k) = a' num2str((id_coord_obs(j))) ]);
    eval([ 'funcao(k+1) = b' num2str((id_coord_obs(j))) ]);
    eval([ 'funcao(k+2) = c' num2str((id_coord_obs(j))) ]);
    k = k + 3;
    j = j + 1;
end
%MONTANDO A MATRIZ A DAS DERIVADAS
auxA = [];
for k3 = 1:linhas
    auxA = [ auxA jacobian(funcao,aux(k3,:)) ];
end
A = double(auxA);
%save Matriz_A.dat A -ascii -double
%MONTANDO O VETOR L
L = 0;
L = Lb - Lzero;
%save Vetor_L.dat L -ascii -double
disp(' ')
disp('O programa ja terminou')
disp(' ')
status = fclose(fid);

```

## APÊNDICE 2

### AJUSTA

#### Algoritmo para realização do ajustamento com avaliação da confiabilidade

```
%=====
%Programa desenvolvido para realização do ajustamento.
%Programa de Pós Graduação em Informações Espaciais
%Área de Concentração em Informações Espaciais
%Departamento de Engenharia Civil
%Mestrando: Leandro José do Carmo Poletto - 44982
%Orientador: Professor Antônio Simões Silva
%=====
'Processando - Ajustando dados'
%MONTANDO A MATRIZ MVC
ATP = 0;
ATP = (A'*P);
ATPA = 0;
ATPA = (ATP*A);
Cx = 0;
Cx = inv(ATPA);
DiagCx = 0;
DiagCx = diag(Cx);
DPCx = 0;
DPCx = sqrt(DiagCx);
%save MVC.dat Cx -ascii -double

%MONTANDO O VETOR X
ATPL = 0;
ATPL = (ATP*L);
X = 0;
X = Cx * (ATPL);

%MONTANDO O VETOR Xa
Xa = 0;
Xa = Xzero + X;

%MONTANDO O VETOR V
V = 0;
V = (A * X) - L;

%MONTANDO O SIGMA A POSTERIORI
G1 = 0;
G1 = (length(L) - length(Xzero));
Sigma = 0;
Sigma = (V' * P * V) / G1;
Sigma

%MONTANDO A MATRIZ CLa
CLa = 0;
CLa = A*Cx*A';
DiagCLa = 0;
DiagCLa = diag(CLa);
```

```

DPCLa = 0;
DPCLa = sqrt(DiagCLa);

%MONTANDO A MATRIZ Cv
Cv = 0;
Cv = inv(P) - CLa;
DiagCv = 0;
DiagCv = diag(Cv);
DPCv = 0;
DPCv = sqrt(DiagCv);

%MONTANDO Rz = RAZAO
invP = 0;
invP = inv(P);
DPobsP = 0;
DPobsP = sqrt(diag(invP));
Rz = 0;
for cont = 1 : (length(L))
    Rz(cont,1) = V(cont) / DPCLa(cont);
end

%TESTE QUI QUADRADO
'Teste Qui-Quadrado'
    'Para alfa igual a 5%, entre com 0.05'
    alfa = input('Entre com o valor de alfa (significancia) para o
Teste Qui-Quadrado: ');
    Qui1 = chi2inv(alfa/2, G1);
    Qui1 = Qui1/G1
    Qui2 = chi2inv(1 - (alfa / 2), G1);
    Qui2 = Qui2/G1
    if G1 >= 1

        if ((Sigma >= Qui1) && (Sigma <= Qui2))
            'Passou no teste qui quadrado'
            Sigma
            %MONTANDO MATRIZ RESÍDUO PADRONIZADO (teste Tau)
            RP = 0;
            Tauc = 0;
            for cont = 1 : (length(L))
                RP(cont,1) = V(cont) / DPCv(cont);
            end
            for cont = 1 : (length(L) - (n_pt_obs * 3))
                Tauc(cont,1) = abs(RP(cont,1));
            end
            %REALIZANDO O TESTE TAU - usa a distribuicao T de
student

            %obtendo o valor de Tau crítico
            alfazero = 0;
            Taut = 0;
            Taucmax = 0;
            Taucmax = max(Tauc)
            alfazero = (1 - ((1 - alfa)^(1 / (length(L) + n_pt_obs *
3)))));
            Taut = ((sqrt(G1) * abs(tinv(alfazero/2, G1 - 1))) /
(sqrt((G1 - 1) + (abs(tinv(alfazero/2, G1 - 1)))^2)))
            PosicaoTaucmax = 1;
            while Taucmax ~= Tauc(PosicaoTaucmax)
                PosicaoTaucmax = PosicaoTaucmax + 1;
            end
            PosicaoTaucmax

```

```

else
    Obselimin = 0
    while ((Sigma < Qui1) || (Sigma > Qui2))
        'Nao passou no teste qui quadrado'
        %MONTANDO MATRIZ RESÍDUO PADRONIZADO (teste Tau)
        RP = 0;
        Tauc = 0;
        for cont = 1 : (length(L))
            RP(cont,1) = V(cont) / DPCv(cont);
        end
        for cont = 1 : (length(L) - (n_pt_obs * 3))
            Tauc(cont,1) = abs(RP(cont,1));
        end
        %REALIZANDO O TESTE TAU - usa a distribuicao T de
student
        %obtendo o valor de Tau crítico
        alfazero = 0;
        Taut = 0;
        Taucmax = 0;
        Taucmax = max(Tauc)
        alfazero = (1 - ((1 - alfa)^(1 / (length(L) +
n_pt_obs * 3)))));
        Taut = ((sqrt(Gl) * abs(tinv(alfazero/2, Gl - 1))) /
(sqrt((Gl - 1) + (abs(tinv(alfazero/2, Gl - 1)))^2)))
        PosicaoTaucmax = 1;

        while Taucmax ~= Tauc(PosicaoTaucmax)
            PosicaoTaucmax = PosicaoTaucmax + 1;
        end
        PosicaoTaucmax

        %Eliminando a observação da posicao calculada
        L(PosicaoTaucmax,:) = [];
        A(PosicaoTaucmax,:) = [];
        P(PosicaoTaucmax,:) = [];
        P(:,PosicaoTaucmax) = [];

        Obselimin = Obselimin + 1

        %MONTANDO A MATRIZ MVC
        ATP = 0;
        ATP = (A'*P);
        ATPA = 0;
        ATPA = (ATP*A);
        Cx = 0;
        Cx = inv(ATPA);
        DiagCx = 0;
        DiagCx = diag(Cx);
        DPCx = 0;
        DPCx = sqrt(DiagCx);
        %save MVC.dat Cx -ascii -double

        %MONTANDO O VETOR X
        ATPL = 0;
        ATPL = (ATP*L);
        X = 0;
        X = Cx * (ATPL);

        %MONTANDO O VETOR Xa
        Xa = 0;
        Xa = Xzero + X;

```

```

%MONTANDO O VETOR V
V = 0;
V = (A * X) - L;

%MONTANDO O SIGMA A POSTERIORI
Gl = 0;
Gl = (length(L) - length(Xzero));
Sigma = 0;
Sigma = (V' * P * V) / Gl;

%MONTANDO A MATRIZ CLa
CLa = 0;
CLa = A*Cx*A';
DCLa = 0;
DCLa = diag(CLa);
DPCLa = 0;
DPCLa = sqrt(DCLa);

%MONTANDO A MATRIZ Cv
Cv = 0;
Cv = inv(P) - CLa;
DiagCv = 0;
DiagCv = diag(Cv);
DPCv = 0;
DPCv = sqrt(DiagCv);

%MONTANDO Rz = RAZAO
invP = 0;
invP = inv(P);
DPobsP = 0;
DPobsP = sqrt(diag(invP));
Rz = 0;
for cont = 1 : (length(L))
    Rz(cont,1) = V(cont) / DPCLa(cont);
end

%REALIZANDO CALCULO DOS LIMITES DO TESTE QUI
QUADRADO
Qui1 = chi2inv(alfa/2, Gl);
Qui1 = Qui1/Gl
Qui2 = chi2inv(1 - (alfa / 2), Gl);
Qui2 = Qui2/Gl
Sigma
    end
end
else
    'Falha no Grau de Liberdade'
end

'Passou no teste qui quadrado '

%Calculando o novo Cx, CLa e Cv em funcao do Sigma a posteriori
Cx = Sigma * Cx;
DiagCx = 0;
DiagCx = diag(Cx);
DPCx = 0;
DPCx = sqrt(DiagCx);
CLa = 0;
CLa = A*Cx*A';
DCLa = 0;

```

```

DCLa = diag(CLa);
DPCLa = 0;
DPCLa = sqrt(DCLa);
Cv = 0;
Cv = (Sigma * inv(P)) - CLa;
DiagCv = 0;
DiagCv = diag(Cv);
DPCv = 0;
DPCv = sqrt(DiagCv);

%Calculando novo peso
%opc = input('Deseja calcular o Peso novo (s (sim) ou ENTER (nao)):
','s');
%if opc == 's'
%   P = 1 / Sigma * P;
%end

%Análise de confiabilidade
opc = input('Para realizar a análise de confiabilidade (s (sim) ou
ENTER (nao)): ','s');
if opc == 's'
    Rc = 0;
    DRc = 0;
    Rc = (1 / Sigma) * Cv * P;
    for cont = 1 : (length(L))
        DRc(cont,1) = Rc(cont,cont);
    end
    'Para alfa = 5% e beta = 95%, o parametro de nao centralidade
(PNC) é 3.61'
    PNC = 0;
    PNC = input('entre com o parametro de nao centralidade: ');
    MED = 0;
    for cont = 1 : (length(L))
        MED(cont,1) = PNC * DPCv(cont) / sqrt(DRc(cont));
    end
    Lamb = 0;
    for cont = 1 : (length(L))
        Lamb(cont,1) = ((1 - DRc(cont)) / DRc(cont)) * PNC^2;
    end
    Lambmax = 0;
    Lambmax = max(Lamb);
    PosicaoLambmax = 1;
    while Lambmax ~= Lamb(PosicaoLambmax)
        PosicaoLambmax = PosicaoLambmax + 1;
    end
    PosicaoLambmax;
end

disp(' ')
disp('O programa ja terminou')
disp(' ')

```

## APÊNDICE 3

### CONGRUÊNCIA

#### Algoritmo para realização do Teste de Congruência

```
%=====
%Programa desenvolvido para realização do teste de congruência.
%Programa de Pós Graduação em Informações Espaciais
%Área de Concentração em Informações Espaciais
%Departamento de Engenharia Civil
%Mestrando: Leandro José do Carmo Poletto - 44982
%Orientador: Professor Antônio Simões Silva
%=====
'Realizando Teste de Congruência'
%Anexando dados
Xa1; Xa2; Cx1; Cx2; G11; G12; P1; P2; Sig1; Sig2; V1; V2;

%Cálculo do vetor d
d = 0;
d = Xa1-Xa2;

%Cálculo da matrix covariância
Cxd = 0;
Cxd = Cx1 + Cx2;

%Cálculo da variancia a posteriori
Sigd = 0;
Sigd = ((V1'*P1*V1) + (V2'*P2*V2)) / (G11 + G12);

'Para o teste estatístico informe se a rede é: '
'1-uni-dimensional; 2-bi-dimensional; 3-tri-dimensional;'
dim = 0;
dim = input('entre com a dimensao da rede: ');
h = 0;
if dim == 1
    h = (length(Xa1)/3) - 1
end
if dim == 2
    h = (2*(length(Xa1)/3)) - 4
end
if dim == 3
    h = (3*(length(Xa1)/3)) - 7
end

'Teste estatístico'
%Teste estatístico
K = 0;
K = (d'*Cxd*d)/(h * Sigd)

%Teste F
alfa = 0;
F = 0;
alfa = input('entre com o nivel de significancia alfa: ');
```

```
F = finv(1 - alfa, G11, G12)

disp(' ')
disp('O programa ja terminou')
disp(' ')
```