UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

ÁREA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TRANSPORTES

**COMPARAÇÃO ENTRE COORDENADAS
GEOGRÁFICAS-GEODÉSICAS TRANSPORTADAS PELO
MÉTODO CLÁSSICO E POR GPS**

Mauro Menzori
Engº Agrimensor

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, concluindo os requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil: Transportes.

Orientador :

Prof. Dr. Paulo Cesar Lima Segantine

São Carlos

2001

À minha esposa Genizabeth,
Aos meus filhos, Mauricio e
Wagner

Dedico este trabalho, como
incentivo à vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Paulo Cesar Lima Segantine, orientador deste trabalho.

Aos diretores da empresa SETA-Engenharia e Agrimensura Ltda., Engº. Luiz Miguel de Alvarenga e Engº. Clóvis Costa Antunes, pela colaboração prestada.

Aqueles que de forma direta ou indireta colaboraram com o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABELAS	II
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	III
LISTA DE SÍMBOLOS	IV
RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 GENERALIDADES	1
1.2 JUSTIFICATIVA	2
1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO	3
1.4 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	4
CAPÍTULO 2 – GEODÉSIA	6
2.1 GENERALIDADES	6
2.2 GEOMETRIA DA ELIPSE E DO ELIPSÓIDE	8
2.3 TRANSPORTE DE COORDENADAS NO ELIPSÓIDE	10
CAPÍTULO 3 – SISTEMAS DE PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA	22
3.1 INTRODUÇÃO	22
3.2 TIPOS DE PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA	23
3.3 A PROJEÇÃO UTM	25

3.4 CARACTERÍSTICAS DA PROJEÇÃO UTM.....	27
3.5 A NÃO EXCLUSIVIDADE DA PROJEÇÃO UTM	31
CAPÍTULO 4 – O SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL.....	33
4.1 HISTÓRICO.....	33
4.2 MÉTODOS DE OBSERVAÇÃO GPS	35
4.2.1 Método Estático.....	35
4.2.2 Métodos Rápidos	35
4.3 ESCOLHA DO LOCAL PARA COLETA DOS DADOS GPS	36
4.4 OBSERVAÇÃO GPS	37
4.5 PÓS-PROCESSAMENTO DAS OBSERVAÇÕES GPS	38
4.5.1 Ionosfera e Troposfera.....	38
4.5.2 Escolha do satélite referencia para os cálculos.....	39
4.5.3 Posicionamento dos pontos observados	39
4.6 SISTEMA DE COORDENADAS GPS.....	40
CAPÍTULO 5 – ESTUDO DE CASO	43
5.1 REDE DE VÉRTICES FUNDAMENTAIS	43
5.2 AS PARTICULARIDADES DAS COORDENADAS NA PROJEÇÃO UTM.....	44
5.3 LIMITAÇÃO DO TRANSPORTE DE COORDENADAS PLANAS UTM.....	47
CAPÍTULO 6 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
6.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS	49
6.2 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DOS TRABALHOS.....	50
6.3 – PLANEJAMENTO E MATERIALIZAÇÃO DA REDE GPS	51
6.4 - OBSERVAÇÃO DOS VETORES DA REDE GPS	53
6.5 - PÓS-PROCESSAMENTO DOS VETORES DA REDE GPS	55
6.6 - AJUSTAMENTO DOS VETORES OBSERVADOS NA REDE GPS	55
6.7 - TRANSFORMAÇÃO DAS COORDENADAS DA REDE GPS	56
6.8 - PLANEJAMENTO E MATERIALIZAÇÃO DA POLIGONAL DE ADENSAMENTO	56
6.9 - MEDIÇÃO DA POLIGONAL DE ADENSAMENTO	58
6.10 - TRATAMENTO DOS ELEMENTOS OBSERVADOS NA POLIGONAL	60
6.10.1 - Índice de Refração.....	60
6.10.2 - Ângulos horizontais e verticais	61

6.11 - TRANSPORTE DE ALTURAS GEOMÉTRICAS NA POLIGONAL	61
6.12 - REDUÇÃO DAS DISTÂNCIAS HORIZONTAIS AO NÍVEL MÉDIO DOS MARES	62
6.13 - REDUÇÃO DAS DISTÂNCIAS AO ELIPSÓIDE	63
6.14 - COORDENADAS GEOGRÁFICAS-GEODÉSICAS PELO MÉTODO CLÁSSICO	64
6.15 - OBSERVAÇÃO DOS VETORES GPS DA POLIGONAL DE ADENSAMENTO	65
6.16 - PÓS-PROCESSAMENTO DOS VETORES GPS DA POLIGONAL	65
6.17 - AJUSTAMENTO DOS VETORES GPS OBSERVADOS NA POLIGONAL	66
6.18 - TRANSFORMAÇÃO DAS COORDENADAS DA POLIGONAL DE ADENSAMENTO ...	66
6.19 - COMPARAÇÃO ENTRE COORDENADAS GEOGRÁFICAS-GEODÉSICAS	66
CAPÍTULO 7 – RESULTADOS	68
7.1 – REDE GPS	68
7.2 – POLIGONAL DE ADENSAMENTO.....	70
7.3 – TRANSPORTE DAS COORDENADAS DA POLIGONAL PELO MÉTODO CLÁSSICO	71
7.4 – COORDENADAS DA POLIGONAL OBTIDAS PELO MÉTODO CLÁSSICO	72
7.5 – TRANSPORTE DAS COORDENADAS DA POLIGONAL POR GPS	73
7.6 – COORDENADAS DA POLIGONAL OBTIDAS POR GPS	74
7.7 – RESULTADOS OBTIDOS NA COMPARAÇÃO ENTRE AS COORDENADAS	75
CAPÍTULO 8 – CONCLUSÕES.....	78
8.1 COMPARAÇÃO ANALÍTICA	78
8.2 AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO PRÁTICA DESENVOLVIDA	79
8.3 CONTRIBUIÇÃO DE CADA MÉTODO	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
ANEXO “A” - REDE GPS	85
CADERNETA DE CAMPO.....	85
RELATÓRIOS DE PÓS–PROCESSAMENTO DOS VETORES	85
RELATÓRIO DO AJUSTAMENTO DOS VETORES	85
A1. VETORES OBSERVADOS NA REDE GPS – “MERIDIANO 48º”	86
ANEXO “B” – A POLIGONAL PELO MÉTODO CLÁSSICO	97
OBSERVAÇÕES ANGULARES HORIZONTAIS E SUAS MÉDIAS	97

OBSERVAÇÕES ANGULARES VERTICAIS E SUAS MÉDIAS	97
DISTÂNCIAS BRUTAS INCLINADAS OBSERVADAS	97
CÁLCULO DO ÍNDICE DE REFRAÇÃO ATMOSFÉRICO.....	97
APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE REFRAÇÃO ÀS DISTÂNCIAS OBSERVADAS	97
REDUÇÃO DAS DISTÂNCIAS AO HORIZONTE.....	97
REDUÇÃO DAS DISTÂNCIAS AO NÍVEL MÉDIO DO MAR	97
REDUÇÃO DAS DISTÂNCIAS AO ELIPSÓIDE.....	97
TRANSPORTE DE ALTURAS GEOMÉTRICAS	97
TRANSPORTE CLÁSSICO DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS-GEODÉSICAS	97
B3. DISTÂNCIAS BRUTAS INCLINADAS SEM TRATAMENTO	108
ANEXO “C” – A POLIGONAL POR GPS	119
CADERNETA DE CAMPO.....	119
RELATÓRIOS DE PÓS–PROCESSAMENTO DOS VETORES	119
RELATÓRIO DO AJUSTAMENTO DOS VETORES	119
ANEXO “D” – TRANSFORMAÇÃO DE COORDENADAS	129
ENTRE OS ELIPSÓIDES WGS-84 E SAD-69.....	129
DE GEOGRÁFICAS PARA PLANAS NO ELIPSÓIDE WGS-84 (MC=45°).....	129
DE GEOGRÁFICAS PARA PLANAS NO ELIPSÓIDE WGS-84 (MC=51°).....	129
DE GEOGRÁFICAS PARA PLANAS NO ELIPSÓIDE SAD-69 (MC=45°).....	129
DE GEOGRÁFICAS PARA PLANAS NO ELIPSÓIDE SAD-69 (MC=51°).....	129
ANEXO “E” – MONOGRAFIAS E EQUIPAMENTOS	134
ITINERÁRIO E FOTO DOS VÉRTICES DA REDE GPS	134
ITINERÁRIO E FOTO DOS VÉRTICES DA POLIGONAL DE ADENSAMENTO.....	134
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	134
E3. EQUIPAMENTOS	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
APÊNDICE I : FORMULÁRIOS ADOTADOS PELA DSG	142
MÉTODO DIRETO	142
MÉTODO INVERSO	142
TABELA DE COEFICIENTES A, B, C, D, E E F.....	142

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – A forma da Terra	6
Figura 2.2 – A elipse elementar.....	8
Figura 2.3 – Projeção sobre o elipsóide	9
Figura 2.4 – Azimute e lado geodésicos	11
Figura 2.5 – Poligonal implantada na area do trabalho	21
Figura 3.1 – Projeções Cartográficas.....	23
Figura 3.2 – Projeção cilíndrica vertical e as deformações.....	25
Figura 3.3 – Projeção cilíndrica tangente com o cilindro na posição Transversa.....	26
Figura 3.4 – O Brasil dividido em fusos da projeção UTM.....	28
Figura 3.5 – O elipsóide cortado pelo cilindro secante.....	29
Figura 3.6 – Convergência Meridiana(γ)	30
Figura 3.7 – Informações padronizadas sobre a projeção adotada na carta.....	32
Figura 4.1 – Constelação GPS.....	34
Figura 4.2 – Definição das alturas	41
Figura 5.1 – A rede fundamental no Estado de São Paulo.....	44
Figura 5.2 – As coordenadas planas UTM em fusos diferentes.....	45
Figura 5.3 – O degrau no valor das coordenadas planas referenciadas ao eixo Este ..	46
Figura 6.1 – Localização da área de trabalho.....	51
Figura 6.2 – Planejamento de missão GPS em função da geometria da constelação.....	53
Figura 6.3 – Esquema da rede GPS – “ Meridiano 48° ”	54
Figura 6.4 – Esquema da poligonal de adensamento “Meridiano 48°”	59
Figura 7.1 – Elipses de erro da REDE GPS	69
Figura 7.2 – Elipses de erro da poligonal de adensamento “Meridiano 48°”.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Alguns elipsóides e seus parâmetros	31
Tabela 4.1 - Tempos de observação	37
Tabela 4.2 - Parâmetros do elipsóide WGS-84	41
Tabela 6.1 – Classificação de poligonais para levantamento planimétrico	57
Tabela 6.2 – Classificação de estações totais.....	58
Tabela 7.1 – Coordenadas GPS de partida para a rede.....	68
Tabela 7.2 – Processamento dos vetores da rede	69
Tabela 7.3 – Rede GPS “ Meridiano 48° ” – Coordenadas Ajustadas.....	70
Tabela 7.4 – Poligonal “ Meridiano 48° ” – valores finais.....	71
Tabela 7.5 – Vértices da REDE GPS utilizados para o transporte clássico.....	72
Tabela 7.6 – Diferenciais elipsoidais obtidos com o método clássico	72
Tabela 7.7 – Coordenadas geográficas-geodésicas pelo método clássico	73
Tabela 7.8 – Vértices da rede utilizados para o transporte com GPS.....	73
Tabela 7.9 – Processamento dos vetores da poligonal.....	74
Tabela 7.10 – Poligonal GPS “ Meridiano 48° ” – coordenadas ajustadas	74
Tabela 7.11 – Comparação entre elementos elipsoidais	76
Tabela 7.12 – Comparação entre coordenadas geográficas-geodésicas	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
C/A	- Coarse/Acquisition code
DOD	- Department of Defense
DSG	- Diretoria do Serviço Geográfico do Exército
GDOP	- Geometric Dilution of Precision
GPS	- Global Positioning System
FED-3	- Pilar implantado na Universidade Federal de São Carlos
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGG	- Instituto Geográfico e Cartográfico de São Paulo
NAD-69	- North American Datum 1969
NAVSTAR	- Navigation Satellite with Time and Ranging
PPM	- Partes por milhão
RMS	- Root Mean Square
S/A	- Selective Availability
SAD-69	- South American Datum 1969
SGB	- Sistema Geodésico Brasileiro
STT	- Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos
UTM	- Universal Transversa de Mercator
WGS-84	- World Geodetic System 1984

LISTA DE SÍMBOLOS

a	- semi-eixo maior do elipsóide
b	- semi-eixo menor do elipsóide
e	- primeira excentricidade do elipsóide
e	- pressão parcial do vapor de água
e'	- segunda excentricidade do elipsóide
D	- distância horizontal
D'	- distância inclinada
f	- achatamento do elipsóide
h	- altura geométrica
H	- altura ortométrica
H_m	- altitude média
K	- fator de deformação linear
K_0	- constante de redução de escala
N	- grande Normal
N'	- pequena Normal
P	- posição do observador na superfície física da Terra
R	- raio médio do lugar
S	- distância elipsoidal
S_n	- distância reduzida ao nível médio do mar
S_h	- distância reduzida ao horizonte
Z	- ângulo zenital
X	- cartesiana x
Y	- cartesiana y
Z	- cartesiana z

α	- azimuth elipsoidal direto
α'	- azimuth elipsoidal recíproco
$\delta\phi$	- correção da diferença logarítmica
ϕ	- latitude geodésica
λ	- longitude geodésica
φ	- fase da portadora
γ	- convergência meridiana
Δt	- tempo de percurso de onda
ΔZ	- redução ao centro

RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de apresentar a revisão do clássico procedimento geodésico, adotado pela DSG - Diretoria do Serviço Geográfico do Exército, para o cálculo do transporte de coordenadas geográficas-geodésicas dos vértices da rede fundamental implantados no Brasil entre 1940 e 1970, antes do surgimento das técnicas de posicionamento. Neste trabalho, uma aplicação prática do método foi desenvolvida, empregando-o na solução de um problema específico da projeção cartográfica UTM, que é o transporte de coordenadas na passagem do limite entre fusos. Para isto foi escolhida uma área localizada na divisa entre os municípios de São Carlos e Ibaté no Estado de São Paulo, atravessada pelo meridiano de 48°, limite entre os fusos 22 e 23 desta projeção. Na área implantou-se duas bases geodésicas determinadas através de técnicas de observação do Sistema de Posicionamento Global, sendo uma base posicionada no fuso 22 e outra no fuso 23. Inicialmente, entre estas bases, desenvolveu-se uma poligonal de adensamento constituída de 7 vértices, que teve seus lados e ângulos observados com estação total, possibilitando o cálculo de suas coordenadas geográficas-geodésicas pelo método clássico em pauta. Numa segunda etapa do trabalho, foram observados com receptores GPS de uma frequência, os 8 vetores relativos aos lados da poligonal de adensamento, empregando o método diferencial estático. Cada um dos 7 vértices da poligonal teve suas coordenadas geográficas-geodésicas determinadas por pós-processamento, permitindo a comparação entre os resultados obtidos nos dois procedimentos utilizados. Na etapa final, comparando-se os resultados obtidos pelos dois diferentes métodos, pode-se verificar que apesar da técnica em desuso empregada pelo método clássico, ela conduziu os cálculos com o rigor e aproximação adequados, produzindo coordenadas de valores significativamente próximos aos valores determinados pela mais avançada tecnologia empregada nos dias atuais que é a tecnologia GPS.

Palavras chave : coordenadas,utm,fuso,gps

ABSTRACT

MENZORI, MAURO (2001) Comparison between geodetic coordinates calculated by a private classic method and geodetic coordinates performed through the Global Positioning System Method.

The main objective of this job, is a review about the classic mathematical proceedings applied to the polygonals which cross the fuses limits of the Universal Traverse of Mercator projection. In this cases, the polygonal begin to be measured in a baseline located in a private fuse and finishes in a different baseline located in the next fuse, where the coordinates are refered to a different origin. In this conditions, the rules of UTM projection defines a range of 30 minutes over the fuse limit, where the coordinates can be calculated either in the first or int the second fuse. However, there are specials situations where the polygonals has a baseline for ending so far over this 30 minutes range. In this cases, the mathematical proceeding is to calculate the transportation of geodetic-coordinates in the ellipsoid obtaining the latitude ϕ and the longitude λ for all points in the polygonal and after, making the transformation, observing in which fuse each point is positioned, to get the UTM planned coordinates.

The Global Positioning System will be used in this job to do the control over the classic measurements and over the classic calculated coordinates, offering conditions to the comparison between them.

Key words : coordinates , utm, fuse, gps

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

Desde o início dos tempos, o homem procura meios que facilitem suas atividades diárias criando para isto instrumentos que permitam alcançar sempre melhores resultados com o menor dispêndio de tempo e esforço físico. Uma das ferramentas que o acompanha desde o princípio dos tempos é aquela utilizada para a demarcação de suas rotas, registrando um percurso entre pontos cuja posição possua algum interesse estratégico, seja para sua sobrevivência como acontecia na Idade da Pedra ou seja de natureza gerencial, política e comercial como acontece nos dias atuais.

No início, diversas e rústicas foram as técnicas utilizadas para este fim, que como exemplo podem ser citadas a marcação em rochas com sinais indicadores do caminho, ou a utilização de “nós”, que eram dados em pequenas mudas de árvores e arbustos encontrados ao longo do percurso ou ainda a orientação pelo sol e pelas estrelas. Atualmente, uma das ferramentas que se mostrou indispensável para o posicionamento do homem sobre o planeta é o Sistema de Posicionamento Global (GPS), o qual possibilita a determinação de uma posição instantaneamente.

O acúmulo de pontos de interesse, natural com o passar do tempo, requer um registro organizado e são os mapas a forma mais utilizada para se armazenar e acessar estas informações, identificando as posições de interesse em uma área de grandes proporções, seja ela urbana ou rural. Ainda que a região seja remota e não disponha de mapeamento convencional, as imagens de satélite por exemplo, são uma forma sofisticada de mapeamento que permitem a uma pessoa localizar-se e planejar seus deslocamentos. O mapa numa análise primária é “a representação gráfica,

geralmente em superfície plana e em determinada escala, das características naturais e artificiais, terrestres e subterrâneas ou ainda de outro planeta”(dicionário cartográfico). Dentre os diferentes tipos de mapa, encontram-se os produzidos na projeção UTM que representam esta superfície em coordenadas métricas e com pouca distorção, oferecendo grande facilidade de interpretação.

1.2 Justificativa

Existe atualmente a tendência de serem contratados levantamentos geodésicos e topográficos com o objetivo de produzir uma base cartográfica única, cuja finalidade é a de embasar um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Estes levantamentos envolvendo grandes áreas podem acontecer em regiões cobertas por fusos diferentes da projeção UTM. Nestas regiões cobertas por dois fusos surge a situação particular que justifica este trabalho, que é aquela onde uma poligonal tem como base de partida, dois vértices posicionados em um fuso e tem como base de fechamento outros dois vértices situados no fuso vizinho. Os critérios adotados para a produção de mapas referenciados a um fuso limitam o mapeamento até 30 minutos após a passagem do limite, criando uma faixa comum de transição, a partir de onde as deformações tornam-se muito grandes descaracterizando o mapa produzido. Desta maneira, as coordenadas planas são referenciadas ao meridiano central de um fuso até o limite desta faixa, quando então passam a ser referenciadas ao meridiano central do fuso vizinho. Assim uma poligonal iniciada no primeiro fuso, que não encontre base de fechamento na faixa de transição, deverá ser estendida, avançando sobre o fuso vizinho. Neste caso, ela só poderá ser calculada transportando coordenadas geográficas-geodésicas (latitude e longitude) para cada um dos pontos medidos ao longo de seu desenvolvimento.

Esta situação não deveria acontecer se a rede fundamental de vértices do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) fosse suficientemente adensada com vértices distribuídos em cada um dos fusos especialmente na faixa de transição. Acontece porém, que a rede não possui uma distribuição homogênea, havendo uma concentração de vértices em algumas regiões e intervalos maiores em outras. No

estado de São Paulo, região na qual a rede poderia ser considerada densa, existem vazios onde os vértices ainda não foram implantados. Se levarmos em consideração que esta rede hoje pertencente ao IBGE começou a ser implantada pelo extinto Instituto Geográfico e Geológico (IGG) na década de 50, e que devido à sua idade apresenta alto grau de deterioração, com muitos vértices destruídos, veremos que a situação da passagem entre fusos, está passível de tornar-se um caso comum.

1.3 Objetivos do trabalho

O principal objetivo deste trabalho é o de revisar o método clássico de transporte de coordenadas geodésicas empregado DSG entre 1940 e 1970 na determinação das coordenadas dos vértices da rede fundamental, aplicando-o à transposição do limite de fusos da projeção cartográfica UTM. O resultado deste procedimento clássico é verificado por determinações dos mesmos pontos através de observações GPS. Para isto, neste trabalho executou-se as seguintes atividades:

- Implantação de 4 vértices e determinação de suas coordenadas geográficas-geodésicas através de observações com equipamento GPS empregando o método diferencial estático;
- Ajustamento pelo método dos Mínimos Quadrados, dos vetores que interligam estes vértices aos pontos reconhecidos pela USP, denominados FED-3 e BASE-STT;
- Implantação de uma poligonal constituída de 7 pontos com origem e fechamento nos 4 vértices mencionados;
- Medição dos 7 vértices da poligonal utilizando Estação Total;
- Apresentação dos algoritmos utilizados para o transporte de coordenadas geográficas-geodésicas, no procedimento clássico adotado pela DSG;
- Cálculo das coordenadas geográficas-geodésicas dos 7 vértices medidos, utilizando o algoritmo apresentado;

- Observação com GPS, empregando método diferencial estático, dos 7 pontos da poligonal e o cálculo das suas coordenadas geográficas-geodésicas;
- Comparação dos resultados obtidos pelo método clássico e pela aplicação da tecnologia GPS.

Portanto, este trabalho constitui-se resumidamente em :

Desenvolver uma poligonal de adensamento, com início e fim em fusos distintos, sendo as coordenadas de seus pontos calculadas através do transporte clássico de coordenadas geográficas-geodésicas e comparadas utilizando a tecnologia GPS.

1.4 Apresentação do Trabalho

O presente volume é dividido em 8 capítulos cuja organização é apresentada abaixo.

Capítulo 1 - Apresenta as justificativas e objetivos do trabalho.

Capítulo 2 - Apresenta revisão bibliográfica feita acerca do tema: Geodésia. Aborda a forma clássica empregada para o transporte de coordenadas geográficas-geodésicas.

Capítulo 3 - Apresenta revisão bibliográfica feita acerca do tema: Sistemas de projeções cartográficas. Aborda a projeção Universal Transversa de Mercator e suas principais características destacando o item relativo à passagem de fusos.

Capítulo 4 - Apresenta revisão bibliográfica feita acerca do tema: GPS - Sistema Global de Posicionamento. Aborda a concepção do sistema, suas características e os procedimentos básicos para uma missão GPS.

Capítulo 5 - Apresenta o estudo de caso particular e aborda a forma clássica adotada para o transporte das coordenadas geográficas-geodésicas, numa região coberta pelos fusos 22 e 23 da projeção UTM. Para isto foi implantada e ajustada uma rede de pontos GPS que apoiou a medição convencional de uma poligonal de adensamento geodésico, cujo cálculo das coordenadas foi desenvolvido de forma manual. As coordenadas geográficas-geodésicas resultantes deste cálculo manual foram verificadas em campo, utilizando o sistema GPS.

Capítulo 6 - Detalha os materiais e métodos utilizados, bem como os cuidados e critérios aplicados tanto para a obtenção e pós processamento das observações GPS como para a obtenção e tratamento dos ângulos horizontais, verticais e distâncias observados pelo método convencional.

Capítulo 7 - Apresenta os resultados do trabalho alcançados na comparação entre elementos elipsoidais e entre coordenadas geográficas-geodésicas calculados pelos dois diferentes métodos: clássico e GPS.

Capítulo 8 - Apresenta os comentários sobre as concordâncias e divergências encontradas no Capítulo 7, e as conclusões e recomendações do autor.

CAPÍTULO 2 – GEODÉSIA

2.1 Generalidades

A Terra é um corpo celeste que apresenta reentrâncias e saliências em sua crosta que são os mares e as montanhas. Segundo SCHOFIELD (1993), por este motivo ela possui forma irregular e não pode ser diretamente representada em um plano sem que haja deformações.

Figura 2.1 – A forma da Terra

Nosso planeta, é uma esfera ligeiramente achatada nos pólos que possui uma circunferência equatorial aproximada de 40.074 quilômetros e uma circunferência polar da ordem de 39.942 quilômetros. Em outras palavras, significa dizer que o raio

Polar medindo 6.357 Km é imperceptivelmente menor em 21 quilômetros que o raio Equatorial que mede 6378 Km (Figura 2.1). O estudo da forma e dimensões da Terra são objetos de diferentes ciências, sendo que a Astronomia e a Geodésia posicionam-se entre as principais áreas de conhecimento neste estudo.

A Astronomia considera a Terra como o centro do universo e a estuda em conjunto com os demais planetas suspensos na Grande Esfera Celeste e por este motivo a Astronomia utiliza uma escala menor, desprezando a diferença existente entre os raios da Terra considerando-a como se fosse uma esfera, ou mais especificamente, um *esferóide* achatado nos pólos. A Geodésia por sua vez, preocupada exclusivamente com a Terra, leva esta diferença em consideração com o objetivo de trabalhar com a sua verdadeira forma e a considera com a forma aproximada à de um elipse. A determinação da forma e dimensão da Terra é o principal problema da Geodésia, TORGE(1980).

A primeira determinação das dimensões da Terra aconteceram na antiga Alexandria e foi Eratóstenes (276 A.C. - 195 A.C.), considerado o pai da Geodésia, quem as efetuou. Esta determinação foi feita no exato instante do solistício de verão, determinando a dimensão de um arco imaginário que ligava as cidades de Siena e Alexandria, possibilitando estimar à luz da Astronomia da época, que a Terra possuía a forma aproximada de uma esfera com um raio da ordem de 6.400 quilômetros. As determinações das dimensões da Terra continuaram a ser desenvolvidas por outros estudiosos ao longo dos últimos dois milênios e aprimoradas em função do avanço das técnicas desenvolvidas pelo homem.

No estudo da forma da Terra, um dos pilares da Geodésia Moderna, é o conceito de *Geóide* que considera que, se a gravidade fosse igual em todos os pontos do planeta e a superfície dos mares estivesse em equilíbrio, ela poderia ser prolongada imaginariamente para o interior dos continentes, criando a partir desta superfície equipotencial uma forma geométrica irregular. Como a gravidade não é igual ao longo da superfície do planeta, o Geóide não possui forma regular pois é sensível às perturbações provocadas pelas alterações no campo gravitacional da Terra, o que dificulta a sua representação matemática. Em Geodésia geométrica, o Geóide pode vantajosamente ser substituído pelo sólido matemático chamado de

elipsóide de revolução, que passa então a representar a forma da Terra para trabalhos que não exijam precisão de natureza científica.

2.2 Geometria da Elipse e do Elipsóide

A Geodésia possui três grandes subdivisões que são: a Geodésia Geométrica, a Geodésia Física e a Geodésia Espacial. Elas possuem diferentes particularidades, relativas à sua natureza, mas para o posicionamento de um ponto na superfície terrestre, estão fundamentadas nos conceitos matemáticos da figura básica que as sustenta, que é a elipse.

A elipse elementar é constituída dos elementos indicados na figura 2.2.

Figura 2.2 – A elipse elementar

A rotação da seção da elipse produz o sólido matemático conhecido como *elipsóide de revolução*, ao qual são referenciadas todas as medidas feitas pela Geodésia na superfície física terrestre.

Sabendo-se que o elipsóide possui uma superfície matematicamente traduzível, podemos desenvolver medidas na superfície física da Terra e reduzi-las ao elipsóide, conforme demonstra a figura 2.3, onde um ponto P pode ser representado pelo seu par coordenado (ϕ, λ) associado a um sistema elipsoidal

geodésico que, segundo TORGE (1980), define a principais medidas apresentadas na figura 2.3 a seguir.

Figura 2.3 – Projeção sobre o elipsóide

- Latitude Geográfica (ϕ) - é o ângulo medido ao longo do plano meridiano entre o plano equatorial do elipsóide e a superfície normal ao ponto P .
- Longitude Geográfica (λ) - é o ângulo medido no plano equatorial entre o meridiano de origem e o meridiano que passa pelo ponto P.
- Longitude Geográfica (N) - segmento contido no plano normal ao plano tangente ao elipsóide que vai desde o ponto P' até o ponto Q, posicionado sobre o semi-eixo menor da elipse meridiana.
- Pequena Normal (N') - ou *raio de curvatura meridiana* é o segmento contido no plano meridiano do ponto P' posicionado sobre o elipsóide, que vai até o ponto Q', podendo ou não estar posicionado sobre o semi-eixo maior da elipse meridiana.
- Cartesianas X, Y e Z . - são os valores das projeções do ponto P sobre os eixos cartesianos, cuja origem é o ponto O, centro geométrico do elipsóide.

As coordenadas latitude e longitude são ditas astronômicas se determinadas por processos astronômicos e são chamadas de geodésicas se determinadas por processos geodésicos. Este trabalho tratará sempre de latitudes e longitudes geográficas-geodésicas tendo em vista a forma de obtenção das coordenadas.

2.3 Transporte de coordenadas no elipsóide

A posição de um ponto sobre o elipsóide resulta sempre em coordenadas expressas em latitude, longitude e altura geométrica, independente da maneira utilizada para a sua determinação. Neste trabalho, as posições foram determinadas

através do transporte clássico de coordenadas geográficas-geodésicas e verificadas por GPS, sempre referenciadas ao elipsóide WGS-84. No transporte das coordenadas geográficas-geodésicas foram adotados procedimentos matemáticos que podem ser conceitualmente visualizados na figura 2.4 a seguir.

Figura 2.4 – Azimute e lado geodésicos

Nesta condição, conhecida a latitude e a longitude do ponto A, é possível calcular-se a latitude e longitude de B, se observarmos a distância elipsoidal S_{A-B} , que liga o segmento $\overline{AB}$ e também o azimute α_{A-B} da direção entre eles. No método clássico, as equações para os cálculos das diferenças de latitude, longitude e azimute procuradas, podem ser escritas abreviadamente conforme apresentado nas equações de 2.3, 2.4 e 2.5 a seguir.

$$-\Delta\phi = S * \cos \alpha * B + S^2 * \sin^2 \alpha * C + \delta\phi^2 * D - S * \cos \alpha * B * S^2 * \sin^2 \alpha * E \quad (2.3)$$

$$\Delta\lambda = S * \sin \alpha * \sec \phi' * A \quad (2.4)$$

$$-\Delta\alpha = \Delta\lambda * \sin \frac{1}{2}(\phi - \phi') * \sec \frac{1}{2}(\Delta\phi) + (\Delta\lambda)^3 * F \quad (2.5)$$

Os coeficientes A, B, C, D, E e F foram desenvolvidos nos E.U.A., referenciados ao elipsóide de Clarke, deduzidos sob a orientação do matemático e geodesta John F. Hayford (1848 - 1913) e adotados pelo “Coast and Geodetic Survey” para o transporte das coordenadas geográficas-geodésicas. Estes coeficientes constituem-se em passos do *método direto* do roteiro de cálculo para a obtenção das diferenças $-\Delta\phi$, $+\Delta\lambda$ e $-\Delta\alpha$ procuradas, sendo expressos pelas equações :

$$\text{coeficiente } A = \frac{1}{N * \text{Arc}1''} \quad (2.6)$$

$$\text{coeficiente } B = \frac{1}{N' * \text{Arc}1''} \quad (2.7)$$

$$\text{coeficiente } C = \frac{\text{tg } \phi}{2 * N' * N * \text{Arc}1''} \quad (2.8)$$

$$\text{coeficiente } D = \frac{\frac{3}{2} * (e^2 * \sin^2 \phi * \cos \phi * \text{Arc}1'')}{(1 - e^2 * \sin^2 \phi)^{3/2}} \quad (2.9)$$

$$\text{coeficiente } E = \frac{1 + 3\text{tg}^2 \phi}{6N^2} \quad (2.10)$$

$$\text{Coeficiente } F = \sin \phi_{\text{médio}} * \cos^2 \phi_{\text{médio}} * \sin^2 1'' \quad (2.11)$$

Além de deduzir esses coeficientes, Hayford os calculou de minuto em minuto abrangendo as latitudes entre 18° e 72° do Hemisfério Norte, organizando

seus valores em tabelas que foram publicadas no relatório de 1894 do “Coast and Geodetic Survey”. Sendo posteriormente, no relatório de 1901, publicada a expansão destas tabelas até o Equador. Na publicação de 1894, apêndice 9, sobre a dedução das respectivas fórmulas, Hayford escreveu :

“ Quando se conhecem as coordenadas geográficas, latitude e longitude, de um ponto na superfície terrestre, sua distância e azimuth em relação a outro ponto, o problema da determinação da latitude e longitude desse outro ponto e do azimuth recíproco pode ser feito por dois caminhos diferentes. Podemos resolver o triângulo esférico formado pelos dois pontos e o pólo, como um todo, encontrando as funções trigonométricas da co-latitude, do azimuth e da diferença de longitude pedidos, ou podemos desenvolver as expressões das diferenças das quantidades pedidas e dadas ”.

O Gabinete técnico de Geodésia do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro publicou no ano de 1944 este mesmo desenvolvimento, mas referenciando-o ao *Elipsóide Internacional*, tabelando os referidos coeficientes de minuto em minuto para o Hemisfério Sul, no intervalo de 0° e 35° de latitude, suficientes para o território brasileiro. A Diretoria do Serviço Geográfico do Exército decidiu aplicar o uso destes coeficientes, porque entre outras facilidades, a sua utilização ameniza o cálculo, possibilita a implantação de um roteiro que divide as equações principais em módulos, permitindo que eles possam ser processados por diferentes calculistas de maneira simultânea. Outra facilidade oferecida por estes coeficientes é que eles podem ainda ser utilizados para a resolução do **método inverso**, que é a determinação do azimuth e lado elipsoidais entre dois pontos, conhecidas suas coordenadas latitude e longitude. Assim o transporte de coordenadas geográficas-geodésicas pode ser efetuado desenvolvendo qualquer caminhamento entre bases geodésicas, respeitadas as normas de coleta das observações de campo. A DSG convencionalmente desenvolvia estes cálculos com base em valores logarítmicos para facilitar as operações matemáticas, conforme podem ser

visualizados nas cópias das planilhas relativas ao *método direto* e *método inverso*, que constam de Anexos D - item 5.

A seguir, apresentam-se dois exemplos, desenvolvidos análogamente à figura 2.4, com base nas planilhas da DSG (Apêndice I), empregando o software MathCad - versão 8.0 - Professional para a execução dos cálculos.

Exemplo 1: Aplicação do *método direto*, adotado pela DSG, para o cálculo das coordenadas geográficas-geodésicas de um ponto B `a vante, partindo de um ponto A. Deste ponto A, de latitude e longitude conhecidas, trabalha-se com valores angulares e lineares observados em campo, relativos ao ao segmento AB para determinarem-se as incógnitas ϕ_B , λ_B , α_{B-A} procuradas.

$$\begin{aligned}
 \text{ponto de partida A :} \quad \phi_A &:= 21 + \frac{58}{60} + \frac{31.60728}{3600} & \phi_A &= 21.975446467 \text{ (decimal)} \\
 \text{(FIANDEIRAS)} & & \phi_A &:= \frac{\phi_A \cdot \pi}{180} \div 1 \text{ (radianos)} \\
 & & \lambda_A &= 47.934353433 \text{ (decimal)} \\
 \lambda_A &:= 47 + \frac{56}{60} + \frac{3.67236}{3600} & \lambda_A &:= \frac{\lambda_A \cdot \pi}{180} \text{ (radianos)} \\
 & & \alpha_0 &:= \left(140 + \frac{22}{60} + \frac{16.38209}{3600} \right) \cdot \frac{\pi}{180} \text{ (contra-azimute de FIANDEIRAS-ADPM)} \\
 \alpha_0 &= 2.449939916 \text{ (radianos)}
 \end{aligned}$$

Elipsóide WGS-84

$$a := 6378137.000 \text{ (semi eixo maior)}$$

$$b := 6356752.314 \text{ (semi eixo menor)}$$

(1a. excentricidade)

$$e := \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} \quad e = 0.081819191$$

$$e^2 = 0.0066943801$$

$$\text{arc1} := \tan\left(\frac{1}{3600} \cdot \frac{\pi}{180}\right)$$

$$N := \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin(\phi_A)^2}}$$

(2a. excentricidade)

$$e' := \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{b^2}} \quad e' = 0.082094438$$

$$e'^2 = 0.0067394968$$

$$\text{arc1} = 0.0000048481$$

$$N = 6381128.635 \text{ (metros)} \\ \text{(grande Normal)}$$

$$N' := \frac{a \cdot (1 - e^2)}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin(\phi A)^2}} \quad N' = 6338410.935 \text{ (metros)} \\ \text{(pequena Normal)}$$

$$R := \frac{a \cdot (1 - e^2)}{(1 - e^2 \cdot \sin(\phi A)^2)^{\frac{3}{2}}} \quad R = 6344358.334 \text{ (metros)} \\ \text{(raio de curvatura da seção meridiana em A)}$$

1. determinação dos fatores A, B, C, D, E e F em função da latitude geodésica(ϕ) :

$$A := \frac{1}{N \cdot \arcl} \quad A = 0.0323241887$$

$$D := \frac{\frac{3}{2} \cdot e^2 \cdot \sin(\phi A) \cdot \cos(\phi A) \cdot \arcl}{(1 - e^2 \cdot \sin(\phi A)^2)^{\frac{3}{2}}} \quad D = -0.0000000169$$

$$B := \frac{1}{R \cdot \arcl} \quad B = 0.0325115316 \quad E := \frac{1 + 3 \cdot \tan(\phi A)^2}{6 \cdot N^2}$$

$$E = 6.092615710110^{-15}$$

$$C := \frac{\tan(\phi A)}{2 \cdot R \cdot N \cdot \arcl} \quad C = -0.0000000010 \quad F = \text{depende de } \phi \text{ médio, que será calculado adiante}$$

2. Cálculo de ϕ e λ do ponto vante, em função do ângulo e da distância observados em A

Dados de campo :

$$Hz := \left(146 + \frac{9}{60} + \frac{13.0}{3600} \right) \cdot \frac{\pi}{180} \quad (\text{ângulo horizontal ADPM-FIANDEIRAS-COQUEIRO})$$

$$Hz = 2.550861728 \text{ rad}$$

$$s := 1666.264 \text{ metros} \quad (\text{distância elipsoidal de FIANDEIRAS-COQUEIRO})$$

3 . Determinação do valor α , que é o valor do azimuth plano à vante, ao qual será adicionado posteriormente o valor $\Delta\alpha$ para obtermos o valor do azimuth elipsoidal à vante.

$$\alpha := \alpha_0 + Hz$$

$$\alpha = 5.000801644 \text{ rad}$$

$$\alpha = 286.524828358 \text{ deg (decimal)} \quad \text{azimute direto: FIANDEIRAS-COQUEIRO}$$

4. Cálculo da diferença $-\Delta\phi = h + \text{termo 2} + D(\delta\phi)^2 - \text{termo 4}$

$$h := B \cdot s \cdot \cos(\alpha)$$

$$h = -15.4084118429 \text{ segundos}$$

$$\text{termo2} := C \cdot s^2 \cdot \sin(\alpha)^2$$

$$\text{termo2} = -0.002623212 \text{ segundos}$$

$$\text{termo4} := E \cdot h \cdot s^2 \cdot \sin(\alpha)^2$$

$$\text{termo4} = -0.0000002396 \text{ segundos}$$

$$\delta\phi := h + \text{termo2} + \text{termo4}$$

$$\delta\phi = -15.4110352944 \text{ segundos}$$

$$\Delta\phi := (h + \text{termo2} + D \cdot \delta\phi^2 - \text{termo4})$$

$$\Delta\phi = -15.411038833 \text{ segundos}$$

$$\Delta\phi := \frac{\Delta\phi}{3600} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta\phi = -0.000074715 \text{ radianos}$$

5. Neste ponto do cálculo, tendo-se determinado o valor da diferença de latitude $\Delta\phi$, podemos calcular o valor da latitude ϕ_B do ponto à vante como sendo :

$$\phi_B := \phi_A - \Delta\phi \quad \phi_B = -0.383469181 \text{ radianos}$$

$$\phi_B = -21.9711656225 \text{ deg decimal}$$

latitude de COQUEIRO..... $\phi_B = - 21^\circ 58' 16,19624''$

6. Cálculo da diferença $\Delta\lambda = A \cdot s \cdot \sin(\alpha) \cdot \sec(\phi_B)$

$$A = 0.0323241887 \quad \Delta\lambda := A \cdot s \cdot \sin(\alpha) \cdot \frac{1}{\cos(\phi_B)}$$

$$s = 1666.264 \quad \Delta\lambda = 55.679909161 \text{ segundos}$$

$$\sin(\alpha) = 0.9586965706 \quad \Delta\lambda := \frac{\Delta\lambda}{3600} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\frac{1}{\cos(\phi_B)} = 1.078315627 \quad \Delta\lambda = 0.000269944 \text{ radianos}$$

7. Da mesma forma, tendo-se determinado o valor da diferença de latitude $\Delta\phi$, podemos calcular o valor da longitude λ_B do ponto à vante como sendo :

$$\lambda_B := \lambda_A + \Delta\lambda \quad \lambda_B = 0.836882236 \text{ radianos}$$

$$\lambda_B = 47.9498200748 \text{ deg}$$

longitude de COQUEIRO..... $\lambda_B = + 47^\circ 56' 59,35227''$

8. Determinação do valor $\Delta\alpha$, que adicionaremos ao valor a calculado no início e poderemos assim determinar o valor do azimuth elipsoidal à vante α_{AB}

$$\phi_{\text{medio}} := \frac{\phi_A + \phi_B}{2} \quad \phi_{\text{medio}} = -21.973306045 \text{ deg decimal}$$

$$F := \sin(\phi_{\text{medio}}) \cdot \cos(\phi_{\text{medio}})^2 \cdot \sin\left(\frac{1}{3600} \cdot \frac{\pi}{180}\right)^2 \quad F = -0.00000000007563$$

$$\Delta\lambda := \Delta\lambda \cdot \frac{180}{\pi} \cdot 3600 \quad \Delta\lambda = 55.679909161 \text{ segundos}$$

$$F \cdot \left(\frac{\Delta\lambda^3}{12}\right) = -0.0000001088 \quad \Delta\phi = -0.0000747148 \text{ rad}$$

$$\Delta\alpha := \left[\left(\Delta\lambda \cdot \sin(\phi_{\text{medio}}) \cdot \frac{1}{\cos\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)} \right) + F \cdot \left(\frac{\Delta\lambda^3}{12}\right) \right] \quad \Delta\alpha = -20.83400676 \text{ segundos}$$

$$\Delta\alpha := \frac{\Delta\alpha}{3600} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta\alpha = -0.000101006 \text{ radianos}$$

9. Por último, tendo-se determinado o valor da diferença azimutal $\Delta\alpha$, calcula-se o valor do azimuth elipsoidal α_{AB} para o ponto à vante como sendo:

$$\alpha' := \alpha - \Delta\alpha \quad \alpha' = 106.530615582 \text{ deg}$$

$$\alpha' = 106^\circ 31' 50,21609''$$

10. Resultados :

Dados iniciais :

Ponto : FIANDEIRAS	
latitude ϕ	= - 21° 58' 31,60728"
longitude λ	= + 47° 56' 03,67236"
ângulo horizontal	= 140° 22' 16,38209"
distância elipsoidal	= 1666,264 metros

Dados finais :

Ponto : COQUEIRO	
latitude ϕ	= - 21° 58' 16,19624"
longitude λ	= + 47° 56' 59,35227"
azimute direto	= 286° 31' 29,38209"
contra-azimute	= 106° 31' 50,21609"

Exemplo 2: Aplicação do *método inverso*, adotado pela DSG, para o cálculo da distância e dos azimutes elipsoidais, direto e recíproco, de uma base geodésica A-B. Partindo das coordenadas geográficas-geodésicas de seus pontos determinam-se as incógnitas S_{A-B} , α_{BA-B} e α_{B-A} procuradas.

1. Dados iniciais :

ponto A :

(FIBRAJATO)

$$\phi A := 21 + \frac{55}{60} + \frac{0.83340}{3600}$$

$$\lambda A := 48 + \frac{3}{60} + \frac{4.49973}{3600}$$

$$\phi A = 21.9168981667 \text{ (decimal)}$$

$$\lambda A = 48.051249925 \text{ (decimal)}$$

ponto B :

(SAU)

$$\phi B := 21 + \frac{54}{60} + \frac{49.31161}{3600}$$

$$\lambda B := 48 + \frac{2}{60} + \frac{36.72682}{3600}$$

$$\phi B = 21.9136976694 \text{ (decimal)}$$

$$\lambda B = 48.0435352278 \text{ (decimal)}$$

2. Elipsóide : WGS-84

$$a := 6378137.00 \text{ (semi eixo maior)}$$

$$b := 6356752.314 \text{ (semi eixo menor)}$$

(1a. excentricidade)

$$e := \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} \quad e = 0.081819191$$

$$e^2 = 0.0066943801$$

$$\text{arc1} := \tan\left(\frac{1}{3600} \cdot \frac{\pi}{180}\right)$$

(2a. excentricidade)

$$e' := \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{b^2}} \quad e' = 0.082094438$$

$$e'^2 = 0.0067394968$$

$$\text{arc1} = 0.0000048481 \text{ (metros)}$$

3. determinação da latitude e longitude médias:

$$\Delta\phi := \phi B - \phi A$$

$$\Delta\phi = -0.0032004972 \text{ (decimal)}$$

$$\Delta\phi \text{ seg} := \Delta\phi \cdot 3600$$

$$\Delta\phi \text{ seg} = -11.522 \text{ (segundos)}$$

$$\Delta\lambda := \lambda B - \lambda A$$

$$\Delta\lambda = -0.0077146972$$

$$\Delta\lambda \text{ seg} := \Delta\lambda \cdot 3600$$

$$\Delta\lambda \text{ seg} = -27.773$$

$$\frac{\Delta\phi}{2} = -0.0016002486 \text{ (decimal)}$$

$$\phi_{\text{medio}} := \phi A + \frac{\Delta\phi}{2}$$

$$\phi_{\text{medio}} = 21.9152979181 \text{ (decimal)}$$

$$\phi_{\text{medio}} := \phi_{\text{medio}} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\phi_{\text{medio}} = 0.3824941052 \text{ (radianos)}$$

$$\frac{\Delta\lambda}{2} = -0.0038573486 \text{ (decimal)}$$

$$\lambda_{\text{medio}} := \lambda A + \frac{\Delta\lambda}{2}$$

$$\lambda_{\text{medio}} = 48.0473925764 \text{ (decimal)}$$

$$\lambda_{\text{medio}} := \lambda_{\text{medio}} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\lambda_{\text{medio}} = 0.8385851975 \text{ (radianos)}$$

4. determinação do raio de curvatura meridiana e da 1ª. vertical, segundo a latitude média do lugar

$$R_{\text{medio}} := \frac{a \cdot (1 - e^2)}{(1 - e^2 \cdot \sin(\phi_{\text{medio}})^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$$R_{\text{medio}} = 6344311.924 \text{ (metros)}$$

(raio de curvatura meridiana)

$$N_{\text{medio}} := \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin(\phi_{\text{medio}})^2}}$$

$$N_{\text{medio}} = 6381113.076 \text{ (metros)}$$

(raio de curvatura 1ª. vertical)

5. determinação dos coeficientes A,B médios

$$A_{\text{medio}} := \frac{1}{N_{\text{medio}} \cdot \text{arc}1}$$

$$A_{\text{medio}} = 0.0323242675$$

$$B_{\text{medio}} := \frac{1}{R_{\text{medio}} \cdot \text{arc}1}$$

$$B_{\text{medio}} = 0.0325117694$$

6. Correção devida à diferença entre o arco e o seno, segundo Manual técnico-3º fascículo-pag.27 a 30
São 3 os casos onde aplica-se a correção e em todos considera-se a latitude média no Brasil=15°.

$$N_{15} := \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \left(\sin \left(15 \cdot \frac{\pi}{180} \right) \right)^2}}$$

$$N_{15} = 6379567.582$$

$$e := 2.71828182846$$

$$\mu := \log(e^1) \quad \mu = 0.4342944819$$

Caso 1 : Neste caso o argumento é a $\Delta\lambda$ em segundos de arco

$$\text{correção}_1 := \frac{\mu}{4} \cdot \frac{(\Delta\lambda \text{ seg}^2) \cdot \text{arc}1^2}{6}$$

$$\text{correção}_1 = 0.000000000328069$$

Caso 2 : Neste caso o argumento é a $\Delta\phi$ em segundos de arco

$$\text{correção}_2 := \frac{\mu}{4} \cdot \frac{(\Delta\phi \text{ seg}^2) \cdot \text{arc}1^2}{6} \quad \text{correção}_2 = 0.000000000056463$$

Caso 3: Neste caso o argumento é a distância S e somente será utilizado no item 9, após determiná-la.

7. Diferenciais de latitude e longitude corrigidas segundo o item 6

$$\begin{aligned} \Delta\phi \text{ seg} &:= \Delta\phi \text{ seg} - 1 & \Delta\lambda \text{ seg} &:= \Delta\lambda \text{ seg} - 1 \\ \Delta\phi \text{ seg} &= 11.5218 & \Delta\lambda \text{ seg} &= 27.7729 \\ \Delta\phi \text{ seg} &:= \log(\Delta\phi \text{ seg}, 10) - \text{correção}_2 & \Delta\lambda \text{ seg} &:= \log(\Delta\lambda \text{ seg}, 10) - \text{correção}_1 \\ \Delta\phi \text{ seg} &= 1.0615199553 & \Delta\lambda \text{ seg} &= 1.4436213865 \\ \Delta\phi \text{ seg} &:= 10^{\Delta\phi \text{ seg}} & \Delta\lambda \text{ seg} &:= 10^{\Delta\lambda \text{ seg}} \\ \Delta\phi \text{ seg} &= 11.52179 & \Delta\lambda \text{ seg} &= 27.77291 \end{aligned}$$

8. Montagem das equações para o cálculo da distância e do azimuth elipsoidais

- montagem da equação 1

$$S * \cos\alpha_{\text{médio}} = [\Delta\phi \text{ seg} * \cos(\Delta\lambda/2)] / B_{\text{médio}}$$

$$A_{\text{médio}} := \frac{\left(\Delta\phi \text{ seg} \cdot \cos\left(\frac{\Delta\lambda \cdot \pi}{2 \cdot 180}\right) \right)}{B_{\text{médio}}}$$

$$S_{\text{cosalfamedio}} = 354.38828 \quad (\text{equação 1})$$

- montagem da equação 2

$$S * \text{Sen}\alpha_{\text{médio}} = [\Delta\lambda \text{ seg} * \cos(\phi_{\text{médio}})] /$$

$$S_{\text{senalfamedio}} := \frac{\Delta\lambda \text{ seg} \cdot \cos(\phi_{\text{medio}})}{A_{\text{medio}}}$$

$$S_{\text{senalfamedio}} = 797.108 \quad (\text{equação 2})$$

$$F\Delta\lambda \text{ 3} := \frac{\Delta\lambda \text{ seg}^3}{12} \cdot \sin(\phi_{\text{medio}}) \cdot (\cos(\phi_{\text{medio}}))^2 \cdot \left(\sin\left(\frac{1 \cdot \pi}{3600 \cdot 180}\right) \right)^2$$

$$F\Delta\lambda \text{ 3} = 0.000000013479$$

9. Cálculo da distância e do azimuth elipsoidais

$$\Delta\alpha := \Delta\lambda \text{ seg} \cdot \sin(\phi_{\text{medio}}) \cdot \frac{1}{\cos\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)} + F\Delta\lambda \text{ 3} \quad \Delta\alpha = 10.366 \quad (\text{segundos})$$

$$\text{tangente de } \alpha_{\text{médio}} = (S * \text{sen}\alpha_{\text{médio}}) / (S * \cos\alpha_{\text{médio}})$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{medio}} := \frac{S_{\text{senalfamedio}}}{S_{\text{scosalfamedio}}} \text{ (equação 1 e 2)}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{medio}} = 2.2492516682$$

$$\alpha_{\text{medio}} := \operatorname{atan}(\operatorname{tg} \alpha_{\text{medio}})$$

$$\alpha_{\text{medio}} = 1.15244852676 \text{ (radianos)}$$

$$\alpha_{\text{medio}} = 66.0304366892 \text{ deg (decimal)}$$

- Cálculo da distância elipsoidal sem correção do arco

Utilizando a equação 1 :

$$S_1 := \frac{S_{\text{scosalfamedio}}}{\cos(\alpha_{\text{medio}})}$$

$$S_1 = 872.3376$$

Utilizando a equação 2 :

$$S_2 := \frac{S_{\text{senalfamedio}}}{\sin(\alpha_{\text{medio}})}$$

$$S_2 = 872.3376$$

$$\left. \begin{array}{l} S_1 = 872.3376 \\ S_2 = 872.3376 \end{array} \right\} s = 872.3376$$

Obtida a distância S , aplica-se o **caso 3** da correção(item6),segundo a latitude média no Brasil=15°

$$\text{correção no caso 3 é igual a: } \log\left(\frac{S}{N_{15}}\right) - \log\left(\sin\left(\frac{S}{N_{15}}\right)\right)$$

$$\text{correção}_3 := \frac{\mu}{4} \cdot \frac{s^2}{6 \cdot (N_{15})^2}$$

$$\text{correção}_3 = 0.000000003383$$

- Distância elipsoidal corrigida

$$\text{Scorr} := \log(s, 10) + \text{correção}_3$$

$$\text{Scorr} = 2.940684594 \text{ (log da distância corrigida)}$$

$$\text{Selipsoidal} := 10^{\text{Scorr}}$$

$$\text{Selipsoidal} = 872.338 \text{ (metros)}$$

- Azimutes elipsoidais

- azimute direto

$$\alpha_{\text{medio}} := \alpha_{\text{medio}} \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$\alpha_{\text{direto}} := \alpha_{\text{medio}} + \frac{\left(\frac{\Delta\alpha}{2}\right)}{3600}$$

$$\alpha_{\text{direto}} = 66.0318763904 \text{ (decimal)}$$

- azimute recíproco

$$\alpha_{\text{recip}} := \alpha_{\text{medio}} - \frac{\left(\frac{\Delta\alpha}{2}\right)}{3600} + 180$$

$$\alpha_{\text{recip}} = 246.0289969879 \text{ (decimal)}$$

10. dados de saída :

distância FIBRAJATO-SAU	=>	Selipsoidal = 872.338	metros
azimute direto FIBRAJATO-SAU	=>	α direto = 66.0318763904	66° 01' 54,75500"
azimute recíproco SAU-FIBRAJATO	=>	α recip = 246.0289969879	246° 01' 44,38915"

A aplicação prática destes exemplos pode ser vista nas planilhas contidas no Anexo B - item 6, pois foi este o procedimento clássico de cálculo utilizado na determinação das coordenadas geográficas-geodésicas dos vértices da poligonal implantada para este trabalho conforme figura 2.5 a seguir.

Figura 2.5 – Poligonal implantada na area do trabalho

CAPÍTULO 3 – SISTEMAS DE PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA

3.1 Introdução

Representar a superfície da Terra sobre objetos esféricos sempre foi mais simples do que representá-la em mapas, pois a imperceptível diferença existente entre seus raios e a pequena escala adotada na reprodução do modelo permite que a Terra seja fielmente reproduzida sobre uma esfera, assim como vemos nos mapas-múndi em forma de globo utilizados didaticamente nas escolas. Esta forma de representação mantém a exata proporção entre os continentes e oceanos, reproduzindo em escala as suas dimensões reais e conservando a posição relativa entre eles.

A planificação de um elipsóide, por sua vez, sempre constituiu-se num obstáculo para a confecção dos mapas, pois um elipsóide não pode ser representado em um plano sem que haja solução de continuidade em sua superfície e sem que surjam ao mesmo tempo distorções nos ângulos, distâncias e áreas das figuras. Por este motivo, utilizam-se as *projeções cartográficas* para a representação plana da Terra. Existem diferentes maneiras de representar sistematicamente uma parcela da superfície terrestre, projetando-a de um elipsóide para um plano, às quais dá-se o nome de *projeção cartográfica*. Uma projeção cartográfica, segundo LIBAULT (1975), “constitui-se na transferência sistemática de pontos posicionados na superfície terrestre, para um plano, através de processo analítico ou de construção geométrica, objetivando a representação dos paralelos de latitude, dos meridianos de longitude e dos detalhes de interesse na superfície, resultando num mapa ou carta”. A projeção *Universal Transversa de Mercator*, ou sistema UTM, é um tipo de projeção

cartográfica e como tal permite que parcelas da superfície terrestre sejam representadas em mapas.

3.2 Tipos de projeção cartográfica

A variedade dos tipos de projeções cartográficas é bastante ampla, o que favorece a escolha para a confecção do mapa, permitindo selecionar uma projeção que servirá como base para a representação de uma parcela de superfície. Ainda assim, cabe ressaltar que uma determinada projeção pode ser extremamente útil para uma área de características continentais e ser totalmente inadequada para o mapeamento de uma pequena ilha. Um exemplo da diversidade no uso de projeções, são os mapas militares e as cartas náuticas que são aplicações diferenciadas de tipos de projeção.

As projeções cartográficas são inicialmente agrupadas em: *cilíndricas*, *cônicas* e *tangentes* e são classificadas segundo o critério que adotam na produção do mapa.

Figura 3.1 – Projeções Cartográficas

Segundo CINTRA (1989), uma classificação simplificada das projeções cartográficas pode ser apresentada da seguinte forma :

♦ **Quanto à Propriedade:** que considera as propriedades conservadas no processo.

- a) **eqüidistante** - não apresenta deformação linear em uma ou em algumas direções
- b) **eqüivalentes** - não deformam áreas pequenas dentro de certos limites de extensão
- c) **conformes** - não deformam os ângulos dentro de certos limites, mantendo a forma das figuras
- d) **afiláticas** - não conservam qualquer propriedade individual, mas minimizam as deformações em conjunto.

♦ **Quanto ao Método:** que considera o método utilizado na sua construção.

- a) **geométricas** - baseiam-se no princípio geométrico da projeção, é onde situam-se as projeções gnômicas, estereográficas, ortográficas e cenográficas.
- b) **analíticas** - baseiam-se nas leis de correspondência matemática, podendo ser projeções simples ou modificadas.
- c) **convencionais** - baseiam-se nos princípios projetivos arbitrados para deduzir a expressão matemática.

♦ **Quanto ao tipo de superfície de projeção:** que considera a superfície empregada.

- a) **planas ou azimutais** - onde a superfície de projeção é um plano tangente ou secante ao elipsóide
- b) **por desenvolvimento** - que emprega uma superfície de projeção desenvolvível assim como as projeções cônicas, cilíndricas e poliédricas

Em cada caso, a projeção sempre busca a melhor representação dos detalhes que interessam ao usuário, um tipo difere do outro, pois destaca mais uma informação que outra.

3.3 A projeção UTM

A origem da projeção UTM, deve-se ao filósofo, matemático e cartógrafo belga, **Gerard de Cremère** (1512-1594), cujo nome latinizado é conhecido como **Gerardus Kremer Mercator**. No período entre 1535 e 1589 ele produziu uma série de mapas da Europa, França, Ilhas Inglesas, Palestina, Balcãs e Grécia. Contudo, Mercator ganhou reconhecimento internacional por ter elaborado com sucesso um mapa-múndi adotando a projeção cilíndrica para a sua representação. Para isto, ele trabalhou com o cilindro posicionado na vertical e tangenciando o elipsóide na linha equatorial (figura 3.2), o que mais tarde seria modificado por seus seguidores para minimizar as deformações (figura 3.3).

Figura 3.2 – Projeção cilíndrica vertical e as deformações

A forma de projeção da figura 3.2 passou então a ser denominada *Universal de Mercator*, onde uma das condições é a de que o elipsóide seja projetado para o cilindro que o tangencia na linha do Equador. Outra condição é a total coincidência do eixo polar do elipsóide com o eixo do cilindro. Quando o cilindro é retificado produzindo assim o plano de projeção, notam-se que as *deformações ao longo da linha equatorial não existem*, aparecendo contudo no sentido norte - sul e acentuando-se à medida que se afastam do Equador. O cilindro posicionado na

vertical propicia ainda uma projeção com deformações ao longo do meridiano e nenhuma ao longo da linha do Equador, o que não se constitui em grande vantagem, pois toda a superfície do planeta acaba sendo representada com deformações espalhadas pelo mapa, onde apenas a linha do Equador é fielmente reproduzida.

Pelo motivo descrito, adota-se na projeção UTM, a rotação do cilindro num ângulo de 90° , fazendo-o tangenciar o elipsóide segundo um meridiano em particular e fazendo com que o raio do cilindro passe a ser igual ao raio deste meridiano, que não é circular, mas assegurando que não ocorrerão deformações ao longo desta linha de tangência.

Figura 3.3 – Projeção cilíndrica tangente com o cilindro na posição Transversa

Aplicada a rotação, as deformações aparecem agora no sentido leste-oeste à medida que nos afastamos do meridiano tido como referência, e para evitar que as deformações se propaguem, *limitam-se as amplitudes* do mapeamento.

A projeção da maneira como foi descrita, com o cilindro na posição horizontal (figura 3.3), é o que se denomina de **Projeção Transversa de Mercator**, que apesar de atualmente reconhecida, ficou como tantas outras relegada à uma posição secundária durante muitas décadas, período em que foi utilizada quase que exclusivamente pelos navegadores holandeses em suas explorações marítimas. A Projeção Transversa de Mercator somente passou a ser considerada *Universal*, durante a Primeira Grande Guerra, em função das necessidades óbvias dos países aliados possuírem um só sistema de projeção que lhes permitisse integrar seus exércitos e objetivos. Na ocasião foi tomada a decisão de padronizar os mapeamentos

adotando a Projeção Cônica Polar para o mapeamento das calotas polares e adotando a Projeção Transversa de Mercator para mapear a superfície terrestre até a latitude de 80°. Desta forma nasceu a UTM ou projeção *Universal Transversa de Mercator*.

3.4 Características da projeção UTM

Com o passar do tempo, a padronização utilizando a Projeção *Universal Transversa de Mercator* estendeu-se aos mapeamentos cartográficos civis, que a confirmaram como uma projeção extremamente útil, capaz de produzir mapas de fácil interpretação desde que respeitadas as normas para a sua confecção. O método matemático utilizado na sua elaboração é extenso e minucioso, mas que pode conceitualmente ser expresso pelos seguintes parâmetros:

- 1) Adotar da projeção Conforme de Mercator, na sua posição transversa;
- 2) Aplicar a subdivisão da superfície terrestre em *fusos iguais com 6° de amplitude*, numerados a partir do antimeridiano de Greenwich coincidentes com os fusos da Carta Internacional ao Milionésimo. Cada fuso abrange 3° de amplitude para cada lado do meridiano central, limitando assim o campo de mapeamento, como um dos meios de minimizar as deformações. Na figura 3.5, onde o Brasil aparece dividido em fusos, destaca-se a região de São Carlos-SP que aparece cortada pelo meridiano de 48° de longitude.
3. Na ligação entre dois fusos contíguos, prolongar a amplitude por mais 30' sobre o fuso vizinho, criando assim uma área de sobreposição de 1° de largura na passagem dos fusos. Nesta região de deformação extrema, as coordenadas planas UTM podem ser calculadas referenciadas a um e a outro meridiano central relativo a cada fuso.

Figura 3.4 – O Brasil dividido em fusos da projeção UTM

4. Utilizar no meridiano central do fuso, o fator de redução de escala $K_0 = 0,9996$, fazendo com que o cilindro se posicione secante ao elipsóide através da redução de seu raio, o que oferece mais facilidades do que a tangência, pois cria duas linhas de verdadeira grandeza, onde não existem deformações. Assim, a criação dessas linhas estabelece uma região de redução e duas regiões de amplitude linear. Segundo LIBAULT (1975) não se pode falar em uma só escala tratando-se da projeção de Mercator. O coeficiente de deformação linear, denominado $kappa(K)$, é o elemento que informa como uma medida linear se deformou ao ser projetada para o cilindro. Na região de redução linear (figura 3.6), este valor fica entre 0,9996 e 1 significando que as dimensões lineares obtidas no mapa estão nela representadas num tamanho menor que o sua homóloga no terreno, na

proporção direta deste coeficiente. De maneira análoga, o coeficiente fica entre o valor 1 e 1,001 na região de ampliação linear, informando o quanto a medida no mapa é maior do que sua homóloga no terreno.

Figura 3.5 – O elipsóide cortado pelo cilindro secante

5. Adotar coordenadas planas, *em cada fuso*, com origem no cruzamento do equador com o meridiano central de cada fuso, acrescidas das constantes +10.000.000 de metros no sentido do Meridiano para o hemisfério Sul e + 500.000 de metros no sentido do Paralelo.

6. Calcular a Convergência Meridiana (γ) necessária para correlacionar os azimutes planos aos azimutes elipsóidicos. Na projeção UTM, o meridiano central é uma linha reta que indica o Norte de Quadricula (NQ) enquanto que os demais meridianos são linhas curvas indicando o Norte Geográfico (NG) . A diferença entre ambas num ponto qualquer, produz um ângulo variável conhecido como *Convergência Meridiana* (γ) que é utilizada para a transformação do azimuth geográfico em azimuth plano e vice-versa. O valor da convergência calculado segundo CINTRA (1988), utilizando a seguinte equação :

$$\gamma = \Delta\lambda * \sin\phi * \left[1 + \frac{(\Delta\lambda * \cos\phi)^2}{3} * \left(1 + 3 * n^2 + 2 * n^4 + \frac{(\Delta\lambda * \cos\phi)^2}{5} * (2 - t^2) \right) \right] \quad (3.1)$$

onde : $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$ (tomado em radianos)

$$n^2 = e'^2 * \cos^2 \phi$$

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$$

$$t = \tan \phi$$

Esta equação permite o cálculo da convergência meridiana em função das coordenadas geográficas-geodésicas de um ponto qualquer. O sinal da convergência pode ser visualizado na figura 3.7, que o detalha em função da posição relativa do ponto considerado ao cruzamento do Meridiano Central com o Equador.

Figura 3.6 – Convergência Meridiana(γ)

Se tomarmos por exemplo, o ponto Pilar 3 da UFSCAR (FED-3), posicionado dentro da área de sobreposição de fusos, que possui coordenadas: 21° 58' 54.92420"

Sul e 47° 52' 38.57831" Oeste, referenciadas elipsóide SAD-69, podemos calcular a convergência em relação aos Meridianos Centrais de 45° e 51° , que resultará nos valores a seguir:

- 1° 10' 11.47036" referenciado ao MC = 51°

+1° 04' 40.21546" referenciado ao MC = 45°

Os sinais da convergência meridiana, determinados analiticamente, são os mesmos representados na figura 3.7, cada um em função da sua posição relativa à origem de referencia.

3.5 A não exclusividade da projeção UTM

A *Projeção Universal Transversa de Mercator*, não é exclusiva de um elipsóide em particular, pois sendo um processo matemático de transferência de pontos do elipsóide para o cilindro, ela pode ser adotada para elipsóides de diferentes dimensões. Isso permite a sua utilização a partir de elipsóides oficiais, militares ou particulares de natureza acadêmica ou não.

Tabela 3.1 – Alguns elipsóides e seus parâmetros

Elipsóide	Semi-eixo maior(a)	Achatamento f	Região
WGS-84	6.378.137,00	1/298,257	Mundial
SAD-69	6.378.163,00	1/298,250	América do Sul
Córrego Alegre	6.378.388,00	1/297,000	Brasil
Internacional	6.378.388,00	1/297,000	América Sul, China e Austrália
Clarke 1880	6.378.249,14	1/293,465	África e Oriente Médio
Everest	6.377.276,35	1/300,801	Índia e Indochina
Bessel	6.377.397,15	1/299,152	Rússia, Manchúria e Japão

Além de ser possível a produção de mapas planos UTM, é comum, serem utilizados parâmetros de um mesmo elipsóide referenciados a mais de um datum. Um

exemplo deste caso, é o sistema adotado pela PETROBRÁS, que utiliza o datum “Aratú”, com os parâmetros do Elipsóide Internacional. Na tabela 3.1 estão listados alguns elipsóides que um dia foram utilizados ou que ainda estão em uso para a produção de mapas na projeção UTM. O elipsóide adotado como origem para a confecção do mapa é informado em cada uma das folhas de mapa produzidas, no quadro “legenda e simbologia”, que contém ainda informações sobre o datum horizontal, o datum vertical e o meridiano central do fuso entre outras informações. A forma de publicação é padronizada conforme exemplo abaixo, contido em carta do IGC na escala 1:10.000, que cobre a região dos trabalhos.

Figura 3.7 – Informações padronizadas sobre a projeção adotada na carta

Assim, a projeção *Universal Transversa de Mercator* trabalha à partir de coordenadas geodésicas posicionadas no elipsóide e referenciadas horizontalmente ao Meridiano Origem de Greenwich, transferindo-as para o cilindro secante posicionado na horizontal, possibilitando a representação plana da parcela de superfície terrestre contida em um ou mais fusos de abrangência.

CAPÍTULO 4 – O SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL

4.1 Histórico

Um dos mais marcantes passos dado pela humanidade foi sem dúvida alguma, o lançamento de satélites artificiais, ocorrido em 1957, abrindo infinitas possibilidades para a conquista do espaço e marcando o início da Era Espacial. Neste momento, ocorria também uma mudança nos rumos da Geodésia Clássica, que passou a dispor de uma ferramenta até então nunca empregada, que é o posicionamento utilizando satélites artificiais. Segundo BLIZTKOW (1995), foi dos cientistas Guier e Weiffenbach a primeira idéia de utilizar o efeito Doppler-Fizeau na determinação das órbitas desses satélites artificiais.

O sistema Navy Navigation Satellite System 9 (NNSS), conhecido como sistema TRANSIT, foi desenvolvido em 1964 pela Universidade John Hopkins nos Estados Unidos, que aplicou esta idéia de maneira inversa. O método utiliza a frequência Doppler de um satélite em órbita conhecida para posicionar um observador na superfície terrestre. Este sistema, ainda em operação, mostrou suas limitações depois de alguns anos de uso, o que levou o Departamento de Defesa dos E.U.A. a pesquisar novas alternativas.

Segundo HOFMANN-WELLENHOF & LICHTNEGGER & COLLINS (1997) o predecessor imediato deste sistema foi o Sistema NAVSTAR/GPS ou Navigation Satellite with Time and Ranging que resultou da união de dois projetos de posicionamento, o *TIMATION* (Time Navigation) da Marinha e o *projeto 621B* da Força Aérea Americana. Este sistema conhecido como Global Positioning System (GPS), permite determinar a posição instantânea e a velocidade de um ponto na superfície terrestre ou próxima a ela.

Figura 4.1 – Constelação GPS

O sistema GPS é constituído de três segmentos: o espacial, o de controle e o de usuário. No segmento espacial, atualmente o GPS é constituído de uma constelação mínima de 24 satélites que orbitam a Terra à uma altitude média de 20.200 Km. Os satélites são distribuídos em 6 diferentes órbitas inclinadas em 55° com relação ao Equador (Figura 4.1), assegurando desta forma uma cobertura de pelo menos 4 satélites observáveis em qualquer lugar do planeta, durante 24 horas.

Os segmentos de controle e de usuário, recebem estes os sinais enviados pelos satélites através de antenas receptoras posicionadas em terra (ou em aeronave) que identificam o satélite emissor e suas coordenadas de posição na constelação, armazenam os dados enviados para então processar e determinar a posição do observador. O segmento de controle é constituído de estações de monitoramento do sistema que rastreiam os satélites, corrigem as efemérides transmitidas, determinam o tempo GPS e fazem previsões acerca do comportamento dos relógios dos satélites, atualizando periodicamente a mensagem de navegação de cada um deles. Os usuários civis ou militares utilizam-se de diferentes tipos de equipamentos, aplicando métodos de observação para determinar uma posição, sendo que a combinação equipamento e método leva à uma precisão diferenciada nas coordenadas resultantes do ponto observado.

4.2 Métodos de observação GPS

Conhecendo-se as vantagens e limitações das classes do receptor GPS, deve-se levar em consideração a precisão com que se pretende determinar as coordenadas de um determinado ponto, pois esta precisão implica na utilização de um método de observação compatível. Os métodos variam em função dos procedimentos e dos tempos de observação, sendo divididos em método estático e métodos rápidos.

4.2.1 Método Estático

Este método é bastante empregado em trabalhos geodésicos e oferece alta precisão. Trabalhando com receptores de simples ou dupla frequências para linhas base com até 50 quilômetros de extensão, ele geralmente alcança a precisão exigida em trabalhos geodésicos. Nele, utilizam-se pelo menos dois conjuntos de receptor e antena trabalhando com as antenas dos receptores estacionadas sobre os pontos que estão sendo medidos. Uma das antenas receptoras utiliza tripé ou pino de centragem forçada para permanecer fixo num ponto de coordenadas conhecidas e o outro conjunto da mesma forma fixo, num ponto de coordenadas a determinar. O tempo de coleta das observações varia em função do número de satélites disponíveis e em função da distância entre as antenas, período em que os receptores ficam medindo a fase dos sinais das portadoras da mesma constelação de satélites. Atualmente, após a liberação do efeito S/A (Selective Availability) feita pelo DOD em 01/05/2000, pode-se determinar com equipamentos de uma frequência, vetores com até 20 km de extensão que apresentarão erros da ordem de 40 a 50 milímetros, se observados com uma constelação mínima de 4 satélites, com taxa de coleta de 15 segundos, durante um período de 1 hora.

4.2.2 Métodos Rápidos

Os métodos rápidos, também chamados de métodos cinemáticos, são aqueles que segundo SEGANTINE (1995), “uma antena mantém-se fixa numa estação,

enquanto que uma segunda antena, chamada de antena remota (ou móvel), é transportada para as estações subseqüentes da trajetória da sessão”. Esses métodos rápidos podem ser chamados de: cinemático, semi-cinemático, pseudocinemático, cinemático verdadeiro, rápido cinemático, stop and go, etc... , caracterizando-se basicamente pelo fato de que pelo menos uma antena trabalha em movimento, na condição de permanente contato com os satélites de uma constelação, que ofereça um pequeno valor de GDOP, preferencialmente inferior a 6.

É fundamental na aplicação destes métodos rápidos, que se criem condições de fixação da ambigüidade, que é a fixação do numero inteiro de ciclos entre a antena do receptor e a antena do satélite, antes do início do levantamento móvel propriamente dito. Para isto existem algumas técnicas de inicialização dos métodos cinemáticos, que pode consistir na troca de antenas, ou na ocupação de uma base de coordenadas previamente conhecidas, ou ainda na determinação de uma nova base, através do método estático antes do desenvolvimento do método rápido. Independente da forma de inicialização, uma vez executada, ela oferece condições de solução da ambigüidade, que é transferida para os demais pontos da sessão.

4.3 Escolha do local para coleta dos dados GPS

Diversas são as fontes de erro *identificáveis* em observações GPS, sendo consideradas como fundamentais as seguintes: erro do relógio do satélite, erro do relógio do receptor, erro de dados das efemérides, presença do efeito S/A (Selective Availability), dentre outros. Estes erros são do tipo corrigíveis pois são erros repetitivos e que estão presentes nos dados coletados nos dois extremos de qualquer linha base. Contudo, existem ainda outros erros causados por interferências de natureza local que estão presentes apenas no ponto em que se fazem as observações. Estes erros são aleatórios e portanto não são corrigíveis, o que faz com que a escolha do local onde será estacionada a antena do receptor seja de vital importância para o sucesso da missão.

Escolhendo-se locais que minimizem os erros provenientes de *multicaminhamento* e *perda de ciclo*, com certeza as coordenadas do ponto terão uma

maior confiabilidade. O *multicaminhamento* é uma interferência local, causada por sinais refletidos, que são recebidos pela antena, misturados aos sinais recebidos de forma direta e que podem descaracterizar todo o conjunto de dados coletados, levando à coordenadas incorretas ou com alto grau de imprecisão. A *perda de ciclo*, caracteriza-se pela interrupção que pode acontecer no recebimento do sinal que chega à antena de um ou mais satélites, afetando a fase da portadora. Interferências causadas por sinal fraco, condições ionosféricas inadequadas, presença corpos densos como montanhas e edifícios, situados entre o satélite e antena podem levar ao reinício da contagem interna de ciclos iniciada quando o receptor foi ligado. A solução da *ambigüidade*, é o núcleo da determinação GPS. Por este motivo, quanto menos interrupções ocorrerem na contagem dos ciclos mais preciso será o resultado da ambigüidade fixada.

4.4 Observação GPS

A determinação de coordenadas tridimensionais (ϕ , λ , h) confiáveis de um ponto, depende diretamente da extensão da linha base, do número de satélites observados e sua geometria (GDOP), das condições de ionosfera e troposfera e naturalmente do tempo de duração da observação. O tempo de observação isoladamente não garante o sucesso da observação, mas guiando-nos pelas recomendações do fabricante do equipamento utilizado neste trabalho, desenvolveu-se a observação dos vetores com os tempos da tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Tempos de observação

método	mínimo de satélites	comprimento da linha base	durante o dia
Estático	4 ou mais	até 20 Km	1 hora
	4 ou mais	de 20 a 30 Km	2 horas
	4 ou mais	de 30 a 50 Km	3 horas

Fonte: manual técnico do equipamento GSS1A

4.5 Pós-processamento das observações GPS

Ao completar a sessão de observação, obtém-se atualmente para o ponto uma coordenada absoluta com erro da ordem de ± 15 metros. A precisão da coordenada do ponto será melhorada na etapa de pós-processamento das observações. Esta etapa é feita com software de cálculo desenvolvido pelo fabricante do equipamento que em geral é um pacote fechado, sem acesso ao algoritmo nele contido, mas que permite ao usuário a tomada de algumas decisões para o desenvolvimento dos cálculos.

Em geral a participação do usuário limita-se à introdução de dados meteorológicos para correção da troposfera, à escolha do modelo a ser utilizado para a correção da ionosfera, à escolha do satélite de referência, à definição do ângulo de corte e à interpretação das curvas de desvio padrão “à posteriori”. O uso combinado destas opções leva à seleção dos satélites observados, desativando os indesejados para um novo processamento de dados. Cada uma destas etapas é abordada a seguir.

4.5.1 Ionosfera e Troposfera

Estando os satélites orbitando à aproximadamente 20.200 Km de altitude e sendo a Terra um corpo sólido envolvido por gases, o sinal enviado pelos satélites para a antena posicionada na superfície tem que atravessar um meio diversificado. Este meio é constituído principalmente pela *Ionosfera* que é uma camada com presença de ions livres, situada entre as altitudes de 100 km e 1000 km e pela *Troposfera* que é uma camada gasosa com umidade e temperatura variável que vai desde a superfície até a altitude de 40 Km.

Ao atravessar a Ionosfera, o sinal transmitido pelo satélite sofre uma perturbação proporcional ao número de elétrons encontrados ao longo do caminho que ocasiona um atraso na modulação da portadora. De maneira análoga, acontece outra perturbação quando o sinal atravessa a Troposfera resultando em outro atraso, agora função da refração troposférica. A Troposfera pode ser calculada através da coleta dos dados meteorológicos de temperatura seca, temperatura úmida e pressão. A Ionosfera pode ser modelada, mas é comum os softwares utilizarem-se de

procedimentos matemáticos para eliminar seus efeitos. Para linhas base com extensão inferior a 10 Km o atraso ionosférico pode ser eliminado matematicamente, através da dupla e da tripla diferença de fases pelo fato de que os sinais captados pelas antenas nos dois extremos da linha base atravessarem a mesma região da Ionosfera .

4.5.2 Escolha do satélite referencia para os cálculos

Para o procedimento matemático de fixação da ambigüidade, é escolhido um satélite dentre os que foram observados e que será utilizado como base para interagir com os demais satélites da sessão. A escolha pode ser feita de duas maneiras, sendo que a primeira considera o satélite que tenha ficado visível no horizonte do observador por mais tempo. O inconveniente deste procedimento é que o satélite possa ter orbitado com baixa elevação e geometria inadequada durante todo o período. A segunda maneira considera sempre o satélite mais alto, com o inconveniente da troca do satélite base quando houver outro mais elevado que ele, mas assegurando a boa geometria. Neste caso, o usuário deve se certificar que o software utilizado nos cálculos possua estratégias específicas para não produzir perda de ciclo na troca de satélites de referência.

4.5.3 Posicionamento dos pontos observados

O princípio do posicionamento de pontos utilizando o sistema GPS está fundamentado no conceito de que o sinal precisamente cronometrado enviado pelo satélite é captado e também cronometrado pelo receptor, permitindo assim que conhecendo-se a velocidade de percurso da onda e o tempo de percurso (Δt) entre a emissão e recepção do sinal, possa se determinar a distância entre eles. Contudo, sabe-se que erros e perturbações introduzidos nesse conceito acabam distorcendo os resultados e desta forma é vital a aplicação da etapa de pós-processamento para a obtenção de coordenadas precisas. A etapa de pós-processamento das observações

tem por objetivo eliminar os erros de: órbita do satélite, relógio do satélite, relógio do receptor, ionosfera, troposfera, ruído do código no receptor, ruído da portadora no receptor e de multicaminhamento. No entanto, erros oriundos dos efeitos de degradação impostos pelo DOD, não são eliminados, senão por usuários autorizados. No meio civil, o posicionamento pode ser feito usando o código C/A ou usando a fase das portadoras L1 e L2. Como este trabalho utilizou a fase da portadora, não serão abordados detalhes sobre o posicionamento através do código C/A.

O posicionamento relativo estático usando a fase da portadora (φ) é o método mais comum em trabalhos geodésicos e pode ser desenvolvido aplicando combinações entre os receptores, entre os satélites e entre instantes para a solução do posicionamento. Associadas à estas combinações adotam-se os métodos da simples, da dupla e da tripla diferença de fases. Sobre estas aplicações combinadas, pode-se dizer que:

- A aplicação da simples diferença de fases entre dois satélites que são observados por um mesmo receptor, elimina o erro do relógio deste receptor
- A aplicação da dupla diferença de fases cancela a maior parte do erro proveniente da ionosfera.
- A aplicação da tripla diferença de fases permite identificar e remover o erro proveniente da perda de ciclo, assim como é utilizada para a eliminação da ambigüidade.

4.6 Sistema de coordenadas GPS

O sistema referencial de coordenadas utilizado pelo GPS é o sistema World Geodetic System 1984 (WGS-84), que é um sistema terrestre fixo, associado ao elipsóide equipotencial geométrico de revolução cujos parâmetros são na tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Parâmetros do elipsóide WGS-84

Parâmetros	valores
semi-eixo maior	$a = 6\,378\,137$ metros
Achatamento	$f = 1/298,257223563$
coeficiente zonal de 2º grau	$J_2 = 1\,082\,630 * 10^{-9}$
velocidade angular da Terra	$\omega_e = 7\,292\,115 * 10^{-11}$ rad/s
constante gravitacional da Terra	$\mu = 3\,986\,005 * 10^8$ m ³ /s ²

Como resultado da etapa de pós-processamento, obtém-se a posição do ponto onde esteve estacionada a antena, expresso na forma de coordenadas geocêntricas, que na seqüência são transformadas para o elipsóide WGS-84 e sua posição resulta em coordenadas geodésicas ϕ , λ e h . Segundo HOFMANN-WELLENHOF & LICHTNEGGER & COLLINS (1997), a altitude deste conjunto de coordenadas é conhecida como *altura geométrica* ou "altitude GPS" por estar referenciada ao elipsóide e possuir valor diferente da *altura ortométrica* (H) do mesmo ponto que é referenciada ao Geóide. A figura 4.3 apresenta a relação estas alturas demonstrando que a diferença entre a altitudes do satélite (geométrica) e a altitude ortométrica é conhecida como *altura geoidal* (N).

Figura 4.2 – Definição das alturas

Assim, a determinação de coordenadas de pontos na superfície terrestre com a utilização do GPS, pode parecer ao leigo como sendo uma atividade simples e que não requer grandes cuidados. Porém, é uma atividade laboriosa, que vai além do apertar de alguns botões e requer conhecimentos básicos e atenção, desde o planejamento da missão até o pós-processamento das observações, numa proporção direta à qualidade dos dados que se pretenda alcançar.

CAPÍTULO 5 – ESTUDO DE CASO

5.1 Rede de Vértices Fundamentais

A projeção UTM é fundamentada numa rede de pontos de apoio terrestre referenciados ao Meridiano Origem de Greenwich, associados à um determinado sistema elipsoidal geodésico ao qual necessariamente corresponde um elipsóide de revolução denominado Datum Geodésico Horizontal, VERONEZ (1998). Esta malha de pontos foi determinada desde o princípio por triangulações geodésicas clássicas e mais recentemente com a utilização da técnica de posicionamento global GPS. Os pontos da rede são materializados no terreno e existem para apoiar a produção de novos mapas e para atualização de mapas existentes. Partindo destes pontos, um levantamento sempre produzirá um conjunto de mapas georreferenciado e expresso em coordenadas geográficas-geodésicas.

A condição ideal, mas nem sempre encontrada, para o desenvolvimento de uma poligonal, é que exista sempre um par de vértices para início do levantamento e outro par no final, para o fechamento. Em levantamentos geodésicos no estado de São Paulo, um dos fatores que limita esta condição é que a rede fundamental foi implantada seguindo os meridianos e paralelos que atravessam o estado, conforme figura 5.1 publicada pelo IBGE. Nela vê-se que apesar de bem distribuída, a rede não apresenta uma densidade homogênea, deixando grandes áreas sem um vértice sequer. Outro fator negativo é que a rede foi implantada antes da década de 60 e encontra-se atualmente muito deteriorada em função da baixa manutenção dos marcos e do ritmo acelerado de desenvolvimento registrado nestes últimos 40 anos. Mais comum do que encontrar os marcos de partida e fechamento, é o fato de localizarem-se marcos

isolados, sem o seu respectivo par à ré ou à vante, inclusive com a perda dos marcos de referência e das miras azimutais.

Figura 5.1 – A rede fundamental no Estado de São Paulo

5.2 As particularidades das coordenadas na projeção UTM

Dentre as normas adotadas para a elaboração de mapas na projeção UTM, existe aquela que traz implicitamente em seu bojo a limitação ao transporte das coordenadas planas. O transporte das coordenadas encontra um obstáculo em função da limitação da amplitude dos fusos, conforme descrito no capítulo 3, onde uma das diretrizes de produção do mapa na projeção UTM recomenda:

As coordenadas planas, em cada fuso, iniciam-se no cruzamento do Equador com o Meridiano Central de cada fuso, acrescidas das constantes +10.000.000 de metros no sentido do Meridiano para o Hemisfério Sul e + 500.000 de metros no sentido do Paralelo.

Para os usuários pouco familiarizados com os detalhes desta projeção, este item produz pelo menos duas situações inesperadas: a repetição das coordenadas fuso a fuso e o degrau no valor das coordenadas referenciadas ao eixo *ESTE*, formado na passagem entre eles. A primeira situação deve-se ao fato de que as coordenadas geradas na forma como estão prescritas e recomendadas, não posicionam um ponto de maneira inequívoca e individual, mas repetem suas coordenadas de fuso para fuso. A segunda situação define um intervalo máximo para o referenciamento das abscissas em cada um dos fusos, produzindo uma brusca interrupção nos valores do eixo *ESTE*, quando se chega ao limite do fuso (considerada a área de sobreposição), para recomeçar a contagem dos valores, repetindo o mesmo intervalo no fuso vizinho.

Uma vez analisada projeção UTM no âmbito do mapeamento que abrange mais de um fuso, fica evidenciado que um ou mais pontos podem possuir coordenadas iguais se estiverem na mesma posição relativa à origem do fuso a que pertencem.(figura 5.2).

Figura 5.2 – As coordenadas planas UTM em fusos diferentes

Observando a área de abrangência dos fusos de número 22 e 23, que cobrem o estado de São Paulo, especificamente na região dos municípios de São Carlos e Ibatê identificamos essa situação onde os municípios são mapeados em dois fusos.

Nessa posição particular, demonstrada na figura 5.3, estes municípios possuem coordenadas referenciadas ao Meridiano Central de 45° (fuso 23) e referenciadas ao Meridiano Central de 51° (fuso 22), e apresentam o degrau mencionado nos valores das coordenadas referenciadas ao eixo *ESTE*, quando cruzam o meridiano de 48° que é o limite entre ambos.

Figura 5.3 – O degrau no valor das coordenadas planas referenciadas ao eixo ESTE

Devido a esta particularidade, os levantamentos geodésicos convencionais nesta região, deveriam iniciar em uma base localizada no primeiro fuso e terminar em outra base localizada na área de sobreposição. Por consequência, o cálculo das coordenadas planas dos pontos que compõem a poligonal deveriam ser feitos

referenciados ao meridiano central do primeiro fuso ou então referenciados ao meridiano central do segundo fuso, podendo inclusive ser referenciado à ambos.

5.3 Limitação do transporte de coordenadas planas UTM

O que acontece com frequência nas regiões cobertas por fusos diferentes, é que as poligonais de adensamento geodésico podem não conseguir bases de fechamento dentro da área de sobreposição de 30 minutos, tendo que fazer seu fechamento além deste limite. Uma poligonal nestas condições não pode ser calculada da forma usual, produzindo coordenadas planas referenciadas à um ou outro meridiano central. Dois são os motivos principais que impossibilitam o cálculo, o primeiro devido às grandes distorções que as coordenadas planas acabariam impondo ao mapa produzido a partir de seus pontos e o segundo devido ao fato de que as coordenadas *ESTE* de origem e fechamento da poligonal sendo referenciadas a fusos diferentes apresentam o intervalo mencionado em seus valores na grandeza aproximada de 600.000 metros. Assim, independente da distância que seja necessário avançar além do limite de 30 minutos, para alcançar uma base de fechamento, a poligonal deve ser calculada transportando suas coordenadas geográficas-geodésicas, que estarão referenciadas exclusivamente ao meridiano de Greenwich. Uma vez determinadas as coordenadas geográficas-geodésicas ϕ e λ pode-se transformar individualmente cada ponto da poligonal referenciando-o ao meridiano central a que pertence. O ponto **FED-3** por exemplo, que possui coordenadas geográficas-geodésicas $\phi = 21^\circ 58' 54,92420''$, $\lambda = 47^\circ 52' 38,57831''$ e $h = 850,686\text{m}$ referenciadas ao elipsóide SAD-69, está situado na área de sobreposição entre fusos e pode suas coordenadas planas UTM referenciadas à dois meridianos centrais diferentes, conforme apresentado abaixo:

$$\begin{array}{l|l} \text{Norte} = 7.566.371,082 \text{ m} & \text{meridiano central: } 45^\circ \text{ W} \\ \text{Este} = 202.864,893 \text{ m} & \end{array}$$

$$\begin{array}{l|l} \text{Norte} = 7.565.873,946 \text{ m} & \text{meridiano central: } 51^\circ \text{ W} \\ \text{Este} = 822.476,874 \text{ m} & \end{array}$$

Desta maneira, adotando a transformação mais conveniente chega-se às coordenadas planas UTM adequadas à produção do mapa cujas distorções estarão dentro dos limites da norma.

CAPÍTULO 6 – MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 – Considerações Iniciais

Neste capítulo são descritos os equipamentos utilizados, bem como os procedimentos e métodos empregados no desenvolvimento do trabalho. Inicialmente é detalhada a posição geográfica da área escolhida para a execução do trabalho, assim como os locais escolhidos para as duas bases GPS, e o desenvolvimento do polígono para interligá-las. Em linhas gerais o trabalho desdobrou-se em :

- Observação de uma rede com 11 vetores interligando as duas bases implantadas aos pontos oficiais reconhecidos pela USP-EESC-STT. Esta atividade foi desenvolvida utilizando receptor GPS, marca SOKKIA, modelo GSS1A, de uma frequência, com aplicação do método diferencial estático;
- Pós-processamento dos vetores observados na rede GPS, com a utilização do software SOKKIA – Spectrum Survey - versão 1.20A;
- Ajustamento pelo método dos Mínimos Quadrados, dos vetores observados na rede GPS, com a utilização do software SOKKIA - GSPnetA - versão 1.03;
- Medição dos 7 vértices que constituem a poligonal de adensamento, através da coleta e armazenamento de ângulos horizontais, ângulos verticais e

distâncias observados com Estação Total SOKKIA, modelo POWERSET-3000;

- Utilização dos softwares MathCad – Versão 8 – Professional e Microsoft – Excel para o cálculo manual do transporte das coordenadas geográficas-geodésicas (ϕ, λ) transportadas para os pontos da poligonal empregando o algoritmo adotado pela Diretoria do Serviço Geográfico do Exército;
- Observação dos 8 vetores relativos aos lados que compõem a poligonal, utilizando receptor GPS, marca SOKKIA, modelo GSS1A, de uma frequência, com aplicação do método diferencial estático;
- Ajustamento pelo método dos Mínimos Quadrados, dos vetores observados na poligonal, com a utilização do software SOKKIA - GSPnetA - versão 1.03;
- Comparação entre as coordenadas geográficas-geodésicas calculadas por transporte manual utilizando o algoritmo empregado pela DSG e as coordenadas determinadas por GPS.

6.2 – Localização da área dos trabalhos

A região do estado de São Paulo mostrada na figura 6.1, onde desenvolveram-se os trabalhos, foi escolhida devido à sua particularidade de estar posicionada no limite entre o fuso 22 e o fuso 23 da projeção UTM. Nela foram escolhidos os locais para materialização de duas bases GPS, sendo uma posicionada no município de Ibaté, pertencente ao fuso 22 e a outra posicionada no município de São Carlos, pertencente ao fuso 23. A poligonal de adensamento que interligou estas bases, foi escolhida ao longo da Rodovia Washington Luiz (SP-310) entre quilômetros 240 e 254.

Figura 6.1 – Localização da área de trabalho

6.3 – Planejamento e materialização da REDE GPS

Como o objetivo da poligonal de adensamento era cruzar o meridiano de 48° de longitude, foi feito o planejamento de uma REDE GPS, procurando oferecer para a poligonal uma base de partida e outra de fechamento posicionadas em fusos diferentes. Os locais escolhidos para a sua materialização, possuem posições abertas e desobstruídas, afastadas dos fundos de vale, permitindo tanto as observações com estação total, como a coleta dos dados GPS, livre de interferências físicas, minimizando desta maneira a presença de perturbações como perda de ciclo e multicaminhamento.

A distância estabelecida entre dois marcos definidores de uma mesma base, guiou-se pela precisão do equipamento GPS para que não houvesse a introdução de erro angular superior à 2 segundos no azimuth da linha. Colocando em destaque a menor das bases implantadas (figura 6.3), que liga os vértices SAU-FIBRAJATO, com a extensão de 872,470 metros, e considerando que ela foi medida com

receptores de $\pm (5 + 2\text{ppm} \times \text{Distância})\text{mm}$ de precisão, o erro máximo ser introduzido foi de 6,36 milímetros por eixo de projeção, ou seja, o ponto pode estar deslocado aproximadamente 8,99 milímetros para mais ou para menos em relação à posição real. Em um lado de 872,470 metros, este deslocamento impõe um erro azimutal da ordem de 1,5 segundos aproximadamente. Desta maneira, foram escolhidos e materializados os vértices cujas monografias, itinerários detalhados e fotos ilustrativas encontram-se em Anexos D - item 3, relativos aos locais abaixo:

- 1) “**ADPM**” - localizado no trevo defronte à Associação Desportiva da Polícia Militar em São Carlos;
- 2) “**FIANDEIRAS**” - localizado na rodovia SP-310, em São Carlos, junto à cerca da Malharia Fiandeiras;
- 3) “**SAU**” - localizado no gramado do Serviço de Atendimento ao Usuário no Km 254 da rodovia SP-310;
- 4) “**FIBRAJATO**” - localizado na Empresa Fibrajato, nos fundos da antiga estação ferroviária Tamoio, em Ibaté.

A materialização destes vértices foi feita com marcos de concreto em formato tronco piramidal, nas dimensões 10x10cm no topo, por 30x30cm na base com 60cm de altura, enterrados em cavas de 50x 50cm com fundo piloadado, um mês antes das observações.

Os pontos de origem utilizados para a transferência de coordenadas, foram os vértices **FED-3**, localizado na Universidade Federal de São Carlos e o vértice **BASE-STT**, localizado na laje de cobertura do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos.

6.4 - Observação dos vetores da REDE GPS

Para a etapa das observações e coleta dos dados enviados pelos satélites GPS, foi inicialmente aberto no dia 30/08/2000 um arquivo de 30 minutos que coletou épocas numa taxa de 15 segundos, com o objetivo de armazenar o arquivo almanaque dos satélites para o posterior planejamento dos melhores horários para a missão. A figura 6.2 que orientou o planejamento da missão foi gerada pelo software da marca SOKKIA, modelo Spectrum Survey - versão 1.20A, com base nas efemérides contidas neste arquivo.

Figura 6.2 – Planejamento de missão GPS em função da geometria da constelação

Atenção especial foi dispensada aos horários em que seriam feitas as observações procurando-se trabalhar numa condição onde o DOP (Dilution of Precision) estivesse abaixo de 3.0, escolhendo-se preferencialmente os horários das 8:00 h as 12:00 h e das 14:00 h as 18:00 h, para a execução das missões .

A rede GPS materializada foi batizada como: “REDE GPS – MERIDIANO 48°” cuja geometria é apresentada esquematicamente na figura 6.3. Os vetores que a compõem foram observados individualmente, e a tabela com os horários e número dos arquivos encontra-se Anexos A – item 1.

Figura 6.3 – Esquema da rede GPS – “ Meridiano 48° ”

Durante as missões somente foram observados vetores independentes, e a coleta dos dados foi feita pelo método diferencial estático num período de observação de 1 hora, armazenando os dados numa taxa de 15 segundos. Para isto foram utilizados receptores GPS de simples frequência, marca SOKKIA, modelo GSS1A, conforme Anexos D – item 4, que possuem precisão nominal da ordem de $\pm(5 + 2\text{ppm} \times D)\text{mm}$ quando operado neste método.

6.5 - Pós-processamento dos vetores da REDE GPS

A etapa de pós-processamento dos vetores observados foi feita sempre adotando a opção que utiliza *o satélite mais elevado* como base para os cálculos das reiterações e fixação da ambigüidade. Trabalhando desta forma, busca-se uma melhor configuração da geometria dos satélites envolvidos no cálculo. A possibilidade do satélite mais elevado produzir uma combinação geométrica mais adequada com os demais satélites é maior do que a possibilidade desta combinação ocorrer, trabalhando com satélite que tenha orbitado em baixa elevação.

A correção da Ionosfera foi aplicada, sendo que o software não explicita o modelo de correção ionosférico utilizado. Para a correção da Troposfera este software oferece duas alternativas: a primeira através da utilização do modelo HOPFIELD e a segunda através do modelo SAASTAMONIAN. Neste trabalho as correções de Troposfera foram feitas seguindo orientações do fabricante do software e adotando-se o modelo HOPFIELD, que é um modelo mais adequado à regiões tropicais.

O critério de aceitação dos vetores pós-processados deu-se em função de sua qualidade, baseando-se no parâmetro de RMS nunca superior a 0,011 que é o limite máximo aconselhado pelo fabricante para bases de comprimento entre 0 e 10 quilômetros. Neste trabalho, todos os vetores ficaram dentro deste limite, inclusive o maior deles com 18,4 Km, ligando o vértice BASE-STT ao vértice FIBRAJATO que alcançou o RMS(Root Mean Square) de 0,009. Os relatórios dos vetores pós-processados na REDE GPS encontram-se em Anexos A - item 2.

6.6 - Ajustamento dos vetores observados na REDE GPS

Para o ajustamento dos vetores observados na rede, aplicou-se o Método dos Mínimos Quadrados e construiu-se equações de condição em função dos diferenciais geocêntricos Δx , Δy e Δz e suas respectivas matrizes variância - covariância. As coordenadas determinadas no ajustamento da rede foram referenciadas ao elipsóide WGS-84, e encontram-se em Anexos A – item 3.

6.7 - Transformação das coordenadas da REDE GPS

As coordenadas geográficas-geodésicas dos 4 vértices da rede, inicialmente ajustadas em WGS-84, foram processadas no software comercial T DAT, versão DOS, e transformadas para o elipsóide SAD-69, produzindo assim tanto coordenadas geográficas-geodésicas, como coordenadas planas UTM nos dois sistemas de referência. Os relatórios da transformação encontram-se em Anexos D – item 1 .

6.8 - Planejamento e materialização da Poligonal de Adensamento

A poligonal de adensamento foi planejada com o objetivo de cruzar o meridiano de 48°, e está à luz da norma NBR 13133 da ABNT, classificada como do *tipo 3*, isto é, “poligonal apoiada e fechada em direções e pontos distintos com desenvolvimento retilíneo”. A escolha dos locais para materialização dos 7 vértices que a constituem foi feita buscando a perenidade dos vértices, desobstrução e o melhor campo de visão para as observações que seriam feitas com a Estação Total e com receptores GPS. O traçado foi escolhido ao longo da Rodovia Washington Luiz, entre os quilômetros 240 e 254, sendo os vértices sempre implantados dentro da faixa de domínio da rodovia, o que implicou em negociação com a concessionária responsável pelo trecho rodoviário, que para emitir a autorização, impôs a condição de estrito atendimento às normas de segurança. Estas normas exigiam a notificação dos dias e horários das missões, obrigando ao uso de equipamento de proteção individual (EPI) como coletes refletivos, botas e capacetes para o pessoal e equipamentos de sinalização como giroflex e cones para os veículos. A autorização foi expedida após assinatura de documento que eximia a concessionária de quaisquer responsabilidades quanto a acidentes com pessoal e veículos envolvidos na campanha.

No estabelecimento da distância entre marcos consecutivos da poligonal foi considerada a sua finalidade que era o adensamento da rede geodésica e foram respeitadas as condições prescritas na referida norma em sua tabela 7 para o

desenvolvimento de poligonal da *classe IP*. Desta maneira o lado maior possui 2041,490 m, o lado menor com 1247,174m e o lance médio com 1669,546m.

Tabela 6.1 – Classificação de poligonais para levantamento planimétrico

Classe	Medição		Desenvolvimento			Número máximo de vértices	Materia-lização
	angular	linear	Extensão Máxima (L)	Mínimo (Dmin)	Médio (Dmédio)		
IP	Método das direções : três séries de leituras conjugadas direta e inversa, horizontal e vertical, teodolito classe 3	Leituras recíprocas (vante e ré) com distanciômetro eletrônico classe 2. Correção de temperatura e pressão	50 Km	1 Km	menor ou igual a 1.5Km	11	Marcos De concreto ou Pinos

Fonte: Norma 13133 da Associação Brasileira de Normas Técnicas

Com base nesses parâmetros, foram escolhidos e materializados os vértices cujas monografias, itinerários detalhados e fotos ilustrativas encontram-se em Anexos D - item 3, relativos aos locais abaixo:

- 1) “**COQUEIRO**” - localizado no Km 252 da rodovia, no sentido Ibaté-São Carlos;
- 2) “**FÁTIMA**” - localizado defronte ao posto N.S. de Fátima, no sentido São Carlos-Ibaté;
- 3) “**PESQUEIRO**”- localizado no trevo de acesso ao pesqueiro estrela, sentido Ibaté-São Carlos;
- 4) “**POSTE**” - localizado no trevo de acesso à cidade de Ibaté, sentido São Carlos-Ibaté;

- 5) “**PLACA**” - localizado defronte à fabrica de tratores, no sentido Ibaté-São Carlos;
- 6) “**VITÓRIAS**” - localizado próximo ao portal de acesso à fazenda N.S. das Vitórias;
- 7) “**SCÂNIA**” - localizado próximo à placa de propaganda, no sentido Ibaté-São Carlos.

A materialização destes vértices foi feita com marcos de concreto nas dimensões 10x10cm no topo, por 10x10cm na base com 60cm de altura, implantados um mês antes das observações para eliminação do efeito da acomodação do solo.

6.9 - Medição da Poligonal de Adensamento

A poligonal de adensamento foi batizada como “POLIGONAL – MERIDIANO 48° ” e seu traçado é o apresentado na figura 6.4. Os vértices que a constituem foram medidos com Estação Total marca SOKKIA, modelo POWERSET-3000, que possui precisão nominal de 1” na leitura angular e de $\pm(2+2\text{ppm} \times D)\text{mm}$ na linear, conforme Anexos D – item 4. A estação total utilizada na medição da poligonal, está enquadrada na *classe 3* das estações totais, considerada de alta precisão, conforme demonstra a tabela 6.2. deste trabalho, que é uma reprodução da tabela 4 da norma NBR 13133.

Tabela 6.2 – Classificação de estações totais

Classes da estações totais	Desvio – padrão Precisão angular	Desvio – padrão Precisão linear
1 – precisão baixa	$\leq \pm 30''$	$\pm (5\text{mm} + 10\text{ppm} \times D)$
2 – precisão média	$\leq \pm 07''$	$\pm (5\text{mm} + 5\text{ppm} \times D)$
3 – precisão alta	$\leq \pm 02''$	$\pm (3\text{mm} + 3\text{ppm} \times D)$

Fonte: Norma 13133 da Associação Brasileira de Normas Técnicas

Figura 6.4 – Esquema da poligonal de adensamento “Meridiano 48°”

Nas atividades de campo, trabalhou-se no horário das 5:30 h até as 18:00 h para a execução das medições, evitando-se o horário das 10:30h até as 14:30h considerado inadequado para as sessões de observação, devido às elevadas temperaturas registradas. Em cada sessão de medição, a Estação Total trabalhou sempre protegida por guarda-sol, fazendo visadas em prismas fixos sobre tripés estacionados à ré e à vante, coletando e armazenando de forma digital os ângulos horizontais, os ângulos verticais e as distâncias brutas inclinadas. No início e no final de cada sessão foram coletadas as informações de temperatura seca, temperatura úmida e pressão para o cálculo do índice da refração presente na medida da distância.

6.10 - Tratamento dos elementos observados na Poligonal

6.10.1 - Índice de Refração

Segundo MUELLER & RAMSAYER(1979), considera-se como *refração terrestre*, o ângulo formado entre a direção geométrica de um raio e o seu desvio ocasionado em função de sua passagem por diferentes níveis de densidade do ambiente que atravessa.

Segundo ASÍN(1990), em todos os distanciômetros, sejam os que utilizam ondas luminosas, ondas de rádio ou microondas, a distância medida é função da velocidade da onda através da atmosfera. A distância fornecida pelo distanciômetro vem determinada por valores padrão internos de temperatura e pressão, que precisam ser adequados aos valores externos presentes no momento da medição. Desta forma, considera que:

$$Distância_{real} = Distância_{obtida} + Correção da refração \quad (6.1)$$

No cálculo do *índice de refração* para um lado medido, objetivando trabalhar com *distâncias precisas*, deve-se levar em consideração a pressão ambiente P, a umidade relativa do ar representada por *e*, que é a pressão parcial do vapor de água e a temperatura seca Ts. Assim, a equação adotada foi :

$$ppm = 278,96 - \frac{0,2904 * P(hpa) + 0,0044735 * e}{1 + 0,003661 + Ts(^{\circ}C)} \quad (6.2)$$

Neste trabalho, no início e no final de cada sessão de observação foram registradas nos extremos de cada linha base, as condições de temperatura seca, temperatura úmida e pressão ambientes para permitir o cálculo descrito, determinando assim a correção a ser introduzida em cada uma das distâncias brutas inclinadas observadas. As leituras de temperatura seca e úmida foram feitas com psicômetros da marca INCOTERM, que possuem dois bulbos com escala graduada em graus celsius, sendo um deles bulbo normal e o outro, bulbo dotado de dispositivo de umidificação que deve ser ativado pelo menos três minutos antes da

realização da medição. Simultaneamente à essas leituras foi também lida a pressão ambiente com altímetro digital da marca PRETEL, modelo K2, que fornece o valor da pressão em milibares, milímetros de mercúrio ou Hpa, segundo uma configuração prévia. Os valores médios deste procedimento encontra-se em Anexos B - item 4.

6.10.2 - Ângulos horizontais e verticais

No tratamento dos ângulos horizontais observados em cada série, determinou-se inicialmente o ângulo médio lido em cada giro individual. Posteriormente calculou-se a média dos giros e identificando qual o giro que apresentou desvio maior do que 5 segundos em relação à média para que fosse descartado, escolhendo-se desta maneira pelo menos três séries que representariam a ocupação angular horizontal do vértice. Os ângulos verticais foram analisados em conjunto distribuindo-se a diferença encontrada entre a visada direta e a visada invertida, compensando desta forma o ângulo vertical observado em cada série para no final adotar-se uma média dos giros representativa do ângulo vertical observado na estação. Os valores médios estabelecidos encontram-se em Anexos B - itens 1 e 2.

6.11 - Transporte de alturas geométricas na Poligonal

A norma NBR 13133 da ABNT prescreve que para o nivelamento trigonométrico com lances superiores a 500 metros a tolerância de fechamento é dada pela expressão $T_h = 0,05 * \sqrt{\Sigma \delta^2}$, sendo δ^2 o comprimento do lance em quilômetros, que resulta T_h em metros. Segundo SILVA & ERWES (1997), utilizando os ângulos verticais médios, as respectivas distâncias inclinadas corrigidas e também utilizando o conjunto recíproco, desenvolveu-se o cálculo das diferenças de nível entre as estações da poligonal, aplicando-se a *redução ao centro*(ΔZ) e o procedimento de correção da *esfericidade e refração*, através das seguintes fórmulas:

$$\text{Esfericidade} + \text{refração} = 68.398 * 10^{-12} * D^2 \quad (6.3)$$

$$\Delta Z = \frac{(206265 * \Sigma * \text{sen } Z)}{D'} \quad (6.4)$$

Onde :

D' = Distância Inclinada	Σ = Esfericidade + refração + H_i – H_s
D = Distância Horizontal	H_i = Altura do instrumento
Z = Ângulo Zenital observado	H_s = Altura do sinal(prisma)

Os resultados desta etapa, expressos em diferença de altura entre os pontos medidos, foram utilizados para transportar a altura geométrica para os pontos da poligonal, sempre referenciadas ao elipsóide WGS-84. No trabalho não foi efetuado o transporte da altura ortométrica (altitude) para qualquer ponto tendo em vista que a comparação foi feita diretamente com os resultados do pós-processamento GPS. Os resultados encontram-se em Anexos B item 5.

6.12 - Redução das distâncias horizontais ao nível médio dos mares

Trabalhando com as distâncias horizontais médias, tratadas do índice de refração e com as alturas geométricas dos vértices da poligonal, foram calculadas as distâncias reduzidas ao nível médio do mar com base na equação:

$$s_n = s_h - \left(\frac{H_m}{R} \right) - sh \left(\frac{H_m^2}{R^2} \right) \quad (6.5)$$

onde : s_n = distância reduzida ao nível médio do mar

s_h = distância reduzida ao horizonte

H_m = altura geométrica média dos pontos que definem o lado

R = raio de curvatura segundo a latitude média

Desprezou-se o termo destacado pela quadricula tracejada na equação 6.5, porque para o maior lado medido, com $sh = 2041,490$ metros, ele é inexpressivo como demonstra o cálculo abaixo:

$$sh \left(\frac{Hm^2}{R^2} \right) = 2041,490 * \left(\frac{800^2}{6378^2} \right) = 0,000032m$$

6.13 - Redução das distâncias ao elipsóide

De acordo com QUINTÃO (1970)¹, a obtenção das distâncias reduzidas ao elipsóide, deve ser feita utilizando as distâncias reduzidas ao nível médio do mar e empregando a fórmula :

$$c = 1,027 * sn^3 * 10^{-15} \quad (6.6)$$

No entanto, neste trabalho as distâncias não foram reduzidas ao elipsóide em virtude de que nas distâncias inferiores a 8 Km esta redução é desprezível. O exemplo de redução efetuado abaixo, utilizando a maior distância medida na poligonal, cujo valor é de 2041,226m, demonstra o fato conforme segue:

$$c = 1,027 * 2041,226^3 * 10^{-15} = 0,00008m$$

Por este motivo, nos procedimentos seguintes, as distâncias reduzidas ao nível do mar foram sempre tomadas no lugar das distâncias elipsoidais. Os valores determinados nesta atividade encontram-se no em Anexos B – item 4.

¹ QUINTÃO J.O. (IGG - Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo)

6.14 - Coordenadas geográficas-geodésicas pelo método clássico

Com base nos ângulos horizontais médios e nas distâncias elipsoidais, desenvolveu-se o cálculo manual para obtenção das coordenadas geográficas-geodésicas transportadas para os pontos da poligonal. O procedimento manual foi feito sempre referenciado ao elipsóide WGS-84, com a utilização dos softwares MathCad - versão 8 - Professional e Microsoft Excel 97. O cálculo foi executado em 4 etapas :

- 1) Na primeira etapa, foram aplicados os algoritmos utilizados pela Diretoria do Serviço Geográfico, *na sua forma inversa*, conforme apresentado no Capítulo 2 – item 2.3, utilizando os coeficientes A, B, C, D, E e F, que possibilitaram a determinação dos lados elipsoidais e o cálculo dos azimutes direto e recíproco da base de partida FIANDEIRAS - ADPM e da base de fechamento SAU - FIBRAJATO.
- 2) Na segunda etapa, foram aplicados os algoritmos utilizados pela Diretoria do Serviço Geográfico, *na sua forma direta*, conforme apresentado no Capítulo 2 – item 2.3, utilizando os coeficientes A, B, C, D, E e F, com a obtenção elementos referenciados ao elipsóide WGS-84. Desta maneira, partindo-se da base GPS FIANDEIRAS-ADPM, foram calculados os valores dos azimutes transportados (diretos e recíprocos) de cada um dos 8 lados da poligonal “ Meridiano 48° ” , inclusive o azimuth transportado para a base de fechamento SAU-FIBRAJATO. Como resultado desta etapa, identificou-se o erro de fechamento angular.
- 3) Na terceira etapa, o erro angular encontrado, foi distribuído igualmente para cada um dos ângulos horizontais médios. Assim, trabalhando-se com os ângulos horizontais compensados e com as distâncias elipsoidais, foi desenvolvido novo cálculo para a obtenção de coordenadas geográficas-geodésicas transportadas, de cada um dos 7 vértices da poligonal, inclusive as coordenadas transportadas para o vértice de fechamento

“SAU” . Como resultado desta etapa identificou-se o erro de fechamento linear (Anexo B-item 6).

- 4) Nesta ultima etapa, o erro linear encontrado foi distribuído igualmente para cada um dos vértices da poligonal, obtendo-se as coordenadas geográficas-geodésicas compensadas.

6.15 - Observação dos vetores GPS da Poligonal de Adensamento

Para que fosse possível comparar os resultados obtidos no transporte clássico das coordenadas, foi executada uma missão GPS específica para a determinação das coordenadas dos vértices da “POLIGONAL MERIDIANO 48”. Nela, todos os critérios adotados no planejamento e observação da REDE GPS foram respeitados, fazendo-se as observações de todos os 8 lados que a compõem. As observações foram feitas em sessões independentes, pelo método diferencial estático num período de observação de 1 hora, armazenando os dados numa taxa de 15 segundos. Para isto utilizaram-se os mesmos receptores descritos no item 6.4. A tabela com os horários e número dos arquivos encontra-se em Anexos C – item 1 .

6.16 - Pós-processamento dos vetores GPS da Poligonal de Adensamento

A etapa de pós-processamento dos 8 vetores observados na poligonal também foi feita utilizando software da marca SOKKIA, modelo Spectrum versão 1.20A . Os critérios de: escolha do satélite base, correção da Ionosfera, correção da Troposfera e aceitação dos vetores pós-processados foram os mesmos adotados no item 5 deste capítulo e os relatórios de pós-processamento dos vetores observados na poligonal encontram-se em Anexos C -item 2.

6.17 - Ajustamento dos vetores GPS observados na Poligonal

Para o ajustamento dos vetores da poligonal observada, também utilizou-se o software marca SOKKIA - modelo GPSnetA - versão 1.03, que aplica o Método dos Mínimos Quadrados e constrói equações de condição em função dos diferenciais geocêntricos Δx , Δy e Δz e suas respectivas matrizes variância-covariância. Da mesma forma, as coordenadas empregadas no ajustamento da poligonal foram referenciadas ao elipsóide WGS-84. O resultado do ajustamento encontra-se em Anexos C – item 3.

Ao final do ajustamento, resultaram as coordenadas dos 7 vértices da poligonal, a partir das quais, utilizando-se o *método inverso* empregado pela DSG, foram calculados os elementos elipsoidais de azimuth direto, azimuth recíproco e distância elipsoidal. Estes elementos puderam ser comparados com as observações colhidas com estação total, devidamente tratadas e reduzidas, numa etapa anterior à comparação das coordenadas, conforme capítulo 7 – item 7.7.

6.18 - Transformação das coordenadas da Poligonal de Adensamento

As coordenadas geográficas-geodésicas, dos 7 vértices da poligonal, inicialmente ajustadas em WGS-84, foram processadas no software comercial TDAT, versão DOS, e transformadas para o elipsóide SAD-69, produzindo assim tanto coordenadas geográficas-geodésicas como coordenadas planas UTM nos dois sistemas de referência. Os relatórios da transformação encontram-se em Anexos D – item 2.

6.19 - Comparação entre coordenadas geográficas-geodésicas

De posse das coordenadas ϕ , λ e h da poligonal de adensamento, obtidas através do método clássico no item 6.14 e das coordenadas ϕ' , λ' e h' para os

mesmos pontos, obtidas por GPS no item 6.15, procedeu-se à comparação dos valores que pode ser encontrada no Capítulo7 – item 7.7.

CAPÍTULO 7 – RESULTADOS

7.1 – Rede GPS

A rede GPS “MERIDIANO 48”, foi ajustada adotando como pontos fixos os vértices reconhecidos pela EESC-USP, apresentados na tabela 7.1.

Tabela 7.1 – Coordenadas GPS de partida para a rede

Coordenadas referenciadas ao sistema WGS-84			
Vértice	Latitude (ϕ)	Longitude (λ)	Altura geométrica
FED-3 (Pilar 3 Federal)	21° 58' 56,65713" S	47° 52' 40,20484" W	843,426 m
BASE-STT (EESC)	22° 00' 17,78425" S	47° 53' 57,02520" W	822,050 m

Fonte: Departamento de Transportes da EESC

Com início nesses pontos foram observados os 11 vetores que constituem a rede GPS (figura 7.1) e para o ajustá-los utilizou-se o software GSPnetA-versão 1.03. No ajustamento, este software trabalha com os valores das diferenças das coordenadas cartesianas obtidas na etapa de pós - processamento de cada vetor, ou seja, utiliza os valores Δx , Δy e Δz implícitos entre as coordenadas geocêntricas do ponto origem e as coordenadas geocêntricas do ponto desconhecido. Esses valores diferenciais Δx , Δy e Δz constituem-se nas componentes vetoriais calculadas, que o processamento pelo Método dos Mínimos Quadrados considera como valores verdadeiros acrescidos algebricamente de um resíduo($\ell_i + v_i$). Na tabela 7.2 são mostrados os valores dos componentes Δx , Δy e Δz de cada vetor, calculados na etapa de pós-processamento, cujos relatórios encontram-se me Anexos A - item 2.

Tabela 7.2 – Processamento dos vetores da rede

diferenciais geocêntricos			
vetor	Δx	Δy	Δz
ADPM-FIBRAJATO	-7.911,2137	- 11.007,1821	+7.349,5498
ADPM-SAU	-7.233,9993	- 10.568,0698	+7.680,8100
FED3-ADPM	-3.616,2478	- 2.962,5939	- 598,9530
FED3-FIANDEIRAS	-4.129,6225	- 4.137,4379	+ 709,1342
FIANDEIRAS-ADPM	+ 513,3930	+ 1.174,8388	-1.308,1161
FIANDEIRAS-FIBRAJATO	-7.397,8186	- 9.832,3837	+6.041,4141
FIANDEIRAS-SAU	-6.720,6010	- 9.393,2562	+6.372,6591
FIBRAJATO-SAU	+ 677,2035	+ 439,1391	+ 331,2954
BASESTT-ADPM	-1.341,2481	- 2.192,7581	+1.707,0707
BASESTT-FIBRAJATO	-9.252,4643	-13.199,9415	+9.056,6256
BASESTT-SAU	-8.575,4287	-12.760,7777	+9.387,8149

Na figura 7.1 são apresentadas as elipses de erro determinadas em função do ajustamento dos vetores observados na REDE GPS.

Figura 7.1 – Elipses de erro da REDE GPS

As correções aplicadas às coordenadas geográficas-geodésicas (ϕ , λ e h) de cada um dos vértices da rede é apresentada na tabela 7.3.

Tabela 7.3 – Rede GPS “ Meridiano 48° ” – Coordenadas Ajustadas

Correções aplicadas				Coordenadas ajustadas (WGS-84)		
Vértice	C _φ (_m)	C _λ (_m)	C _h (_m)	Latitude S (φ)	Longitude W (λ)	Altura geométrica
ADPM	- 0,007	+ 0,020	+ 0,009	21°59'17,46473"	47°55'22,95272"	857,895 m
FIANDEIRAS	+ 0,011	+ 0,008	- 0,016	21°58'31,60728"	47°56'03,67236"	857,955 m
FIBRAJATO	- 0,020	+ 0,005	+ 0,037	21°55'00,83340"	48°03'04,49973"	784,644 m
SAU	+ 0,001	+ 0,014	-0,001	21°54'49,31161"	48°02'36,72682"	778,014 m

O relatório do ajustamento da rede, que contém os diferenciais geocêntricos Δx , Δy e Δz de cada um dos vetores adotados inicialmente, bem como o cálculo pormenorizado das correções aplicadas, as elipses de erro, os desvios padrão em cada ponto encontra-se em Anexos A – item 3.

7.2 – Poligonal de Adensamento

As observações feitas com estação total nos 7 vértices que constituem a poligonal de adensamento, produziram:

- ângulos horizontais e ângulos verticais médios;
- distâncias horizontais;
- distâncias reduzidas ao nível do mar e
- distâncias elipsoidais.

O tratamento aplicado às observações angulares e lineares encontra-se em Anexos B – itens 3 e 4 cujo resumo é apresentado na tabela 7.4.

Tabela 7.4 – Poligonal “ Meridiano 48° ” – valores finais

Vértice	ré / vante	Ângulo Horizontal (média)	Ângulo Vertical (média)	Distância Elipsoidal (média)
estação : FIANDEIRAS	ré : ADPM	146° 09' 13,0"	90° 01' 37,3"	1.666,265 m
	vante : Coqueiro		90° 50' 51,3"	
estação : COQUEIRO	ré : Fiandeiras	183° 33' 43,0"	89° 09' 59,1"	1.805,414 m
	vante : Fátima		90° 22' 00,0"	
estação : FÁTIMA	ré : Coqueiro	184° 11' 35,9"	89° 39' 25,7"	1.757,338 m
	vante : Pesqueiro		89° 22' 51,7"	
estação : PESQUEIRO	ré : Fátima	196° 00' 24,6"	90° 38' 01,9"	1.488,109 m
	vante : Poste		90° 30' 49,2"	
estação : POSTE	ré : Pesqueiro	175° 46' 51,5"	89° 29' 50,2"	2.041,226 m
	vante : Placa		90° 22' 22,4"	
estação : PLACA	ré : Poste	183° 35' 29,6"	89° 38' 42,6"	1.680,715 m
	vante : Vitórias		90° 18' 35,7"	
estação : VITÓRIAS	ré : Placa	176° 26' 42,8"	89° 42' 45,4"	1.668,559 m
	vante : Scânia		90° 14' 50,9"	
estação : SCÂNIA	ré : Vitórias	183° 36' 43,1"	87° 47' 06,3"	1.247,020 m
	vante : SAU		91° 01' 10,0"	
Estação : SAL	ré : Scânia	116° 16' 10,9"	89° 00' 02,6"	-
	vante : Fibrajato		89° 34' 14,6"	

7.3 – Transporte das coordenadas da poligonal pelo método clássico

O transporte das coordenadas geográficas-geodésicas ϕ e λ para os vértices da poligonal (figura 6.4), utilizando o método clássico adotado pela DSG, foi feito referenciado ao Elipsóide WGS-84, com base nas observações dos ângulos horizontais médios e das distâncias elipsoidais devidamente tratadas, seguindo o roteiro apresentado no *Capítulo 2 – item 2.3*. Nesta etapa, foram utilizados como pontos de partida e fechamento, os vértices da REDE GPS, apresentados na tabela 7.5, cabendo lembrar que eles possuem altura geométrica e não altura ortométrica, pois na altimetria da REDE GPS foram utilizadas as diferenças de altura determinadas por GPS e os pontos não foram nivelados a partir de referência nível oficial ou corrigidos da altura geoidal.

Tabela 7.5 – Vértices da REDE GPS utilizados para o transporte clássico

Coordenadas referenciadas ao sistema WGS-84			
Vértice	Latitude (ϕ)	Longitude (λ)	Altura geométrica
ADPM	21° 59' 17,46473" S	47° 55' 22,95272" W	857,895 m
FIANDEIRAS	21° 58' 31,60728" S	47° 56' 03,67236" W	857,955 m
SAU	21° 54' 49,31161" S	48° 02' 36,72682" W	778,014 m
FIBRAJATO	21° 55' 00,83340" S	48° 03' 04,49973" W	784,644 m

Na determinação das coordenadas geográficas-geodésicas dos pontos da poligonal de adensamento trabalhou-se com as diferenças de latitude, longitude e altura geométrica apresentadas na tabela 7.6, cujos relatórios encontram-se em Anexos B – item 6.

Tabela 7.6 – Diferenciais elipsoidais obtidos com o método clássico

Observações			
l a d o	$\Delta\phi$	$\Delta\lambda$	$\Delta\alpha$
FIANDEIRAS-COQUEIRO	-15,41104 "	+55,67991 "	-20,8340 "
COQUEIRO-FÁTIMA	-20,16753 "	+59,09668 "	-22,1077 "
FÁTIMA-PESQUEIRO	-23,50677 "	+55,82514 "	-20,8784 "
PESQUEIRO-POSTE	-31,29653 "	+39,55039 "	-14,7868 "
POSTE-PLACA	-39,09438 "	+57,48188 "	-21,4818 "
PLACA-VITÓRIAS	-34,89647 "	+45,06859 "	-16,8353 "
VITÓRIAS-SCÂNIA	-31,99284 "	+46,95294 "	-17,5321 "
SCÂNIA-SAU	-25,92777 "	+33,40291 "	-12,4682 "

7.4 – Coordenadas da Poligonal obtidas pelo método clássico

O transporte das coordenadas geográficas-geodésicas, iniciou na base posicionada no município de São Carlos–SP (fuso 23), constituída dos vértices FIANDEIRAS - ADPM e desenvolveu -se considerando os diferenciais apresentados

na tabela 7.6, até chegar à base posicionada no município de Ibaté – SP (fuso 22), permitindo a identificação dos erros angulares e lineares presentes no trabalho. Estes erros são detalhados nos relatórios em Anexos B – item 6, e foram distribuídos de forma linear, resultando nas coordenadas compensadas apresentadas na tabela 7.7.

Tabela 7.7 – Coordenadas geográficas-geodésicas pelo método clássico

Coordenadas compensadas referenciadas ao sistema WGS-84			
Vértice	Latitude (ϕ)	Longitude (λ)	Altura geométrica (m)
COQUEIRO	-21° 58' 16,19587" S	47° 56' 59,35181"W	833,510
FÁTIMA	-21° 57' 56,02796" S	47° 57' 58,44800"W	822,381
PESQUEIRO	-21° 57' 32,52084" S	47° 58' 54,27262"W	841,568
POSTE	-21° 57' 01,22416" S	47° 59' 33,82241"W	828,373
PLACA	-21° 56' 22,12917" S	48° 00' 31,30362"W	815,420
VITÓRIAS	-21° 55' 47,23257" S	48° 01' 16,37176"W	806,679
SCÂNIA	-21° 55' 15,23880" S	48° 02' 03,32426"W	799,916

7.5 – Transporte das coordenadas da Poligonal por GPS

O transporte das coordenadas geográficas-geodésicas ϕ e λ utilizando o sistema GPS foi feito através de observações de todos os vetores relativos aos lados que compõem a poligonal de adensamento, conforme procedimento detalhado no capítulo 6 – do item 6.15 ao item 6.16. Na tabela 7.8, são apresentados os vértices da REDE GPS utilizados como pontos de partida e fechamento da poligonal.

Tabela 7.8 – Vértices da rede utilizados para o transporte com GPS

Coordenadas referenciadas ao sistema WGS-84			
Vértice	Latitude S (ϕ)	Longitude W (λ)	Altura geométrica
FIANDEIRAS	21° 58' 31,60728"	47° 56' 03,67236"	857,955 m
SAU	21° 54' 49,31161"	48° 02' 36,72682"	778,014 m

De maneira similar ao procedimento descrito no item 7.1, partindo desses vértices foram observados os 8 vetores que constituem a poligonal de adensamento e que foram ajustados utilizando-se o software GSPnetA-versão 1.03. No ajustamento, trabalhou-se com os diferenciais geocêntricos Δx , Δy e Δz (tabela 7.9), obtidas na etapa de pós-processamento de cada vetor. Esses valores diferenciais foram utilizados no processamento pelo Método dos Mínimos Quadrados, cujos relatórios encontram-se em Anexos C- item 2.

Tabela 7.9 – Processamento dos vetores da poligonal

diferenciais geocêntricos em metros			
vetor	Δx	Δy	Δz
FIANDEIRAS-COQUEIRO	-1.082,5382	-1.185,0888	+448,7861
COQUEIRO-FÁTIMA	-1.110,8278	-1.300,2601	+579,5233
FÁTIMA-PESQUEIRO	-996,9975	-1.286,5513	+663,4740
PESQUEIRO-POSTE	-610,5696	-1017,9599	+897,8787
POSTE-PLACA	-933,2163	-1.428,9244	+1.120,3263
PLACA-VITÓRIAS	-698,6825	-1.157,3134	+999,0923
VITÓRIAS-SCÂNIA	-760,3469	-1.169,7913	+915,5085
SCÂNIA-SAL	-527,4564	-847,3471	+748,1198

7.6 – Coordenadas da Poligonal obtidas por GPS

Do ajustamento, conduzido conforme procedimento detalhado no Capítulo 6 – item 6.17, resultaram as correções e elipses de erro apresentadas a seguir.

Tabela 7.10 – Poligonal GPS “ Meridiano 48° ” – coordenadas ajustadas

Correções aplicadas				Coordenadas ajustadas (WGS-84)		
Vértice	C_ϕ (m.)	C_λ (m.)	C_h (m.)	Latitude S (ϕ)	Longitude W (λ)	Altura Geométrica
COQUEIRO	0,000	+0,009	-0,134	21°58'16,19634"	47°56'59,35183"	833,511 m
FÁTIMA	0,000	+0,012	-0,133	21°57'56,02879"	47°57'58,44813"	822,365 m
PESQUEIRO	0,000	+0,015	-0,131	21°57'32,52181"	47°58'54,27315"	841,557 m
POSTE	+0,001	+0,017	-0,130	21°57'01,22518"	47°59'33,82339"	828,339 m
PLACA	+0,001	+0,020	-0,128	21°56'22,13034"	48°00'31,30488"	815,435 m
VITÓRIAS	+0,002	+0,022	-0,128	21°55'47,23257"	48°01'16,37384"	806,665 m
SCÂNIA	+0,002	+0,025	-0,126	21°55'15,23973"S	48°02'03,32488"W	799,897 m

A tabela 7.10, apresenta as correções que foram aplicadas às coordenadas geográficas-geodésicas (ϕ , λ e h) preliminares de cada um dos pontos da poligonal de adensamento, e suas respectivas coordenadas ajustadas. Na figura 7.2, são apresentadas as elipses de erro identificadas em cada ponto da poligonal, calculadas após o ajustamento dos vetores observados.

Figura 7.2 – Elipses de erro da poligonal de adensamento “Meridiano 48°”

O relatório do ajustamento da poligonal, que contém os diferenciais geocêntricos Δx , Δy e Δz de cada vetor adotados inicialmente, bem como o cálculo pormenorizado das correções aplicadas, as elipses de erro, os desvios padrão em cada ponto encontram-se em Anexos C – item 3.

7.7 – Resultados obtidos na comparação entre as coordenadas

Tabela 7.11 – Comparação entre elementos elipsoidais

l a d o		elementos referenciados ao elipsóide WGS-84								
		método clássico			método GPS			diferenças		
		azimute	distância	Δh	azimute	distância	desnível	azimute	distância	desnível
FIANDEIRAS	COQUEIRO	286° 31'30,12"	1.666,265 m	-24,466 m	286° 31'29,47"	1.666,251 m	-24,444 m	-0,65 "	-0,014m	+0.022m
COQUEIRO	FÁTIMA	290° 05'34,70"	1.805,414 m	-11,150 m	290° 05'33,73"	1.805,404 m	-11,146 m	-0,97 "	-0,010m	+0.004m
FÁTIMA	PESQUEIRO	294° 17'33,44"	1.757,338 m	19,166 m	294° 17'32,12"	1.757,337 m	+19,192m	-1,32 "	-0,001m	+0.026m
PESQUEIRO	POSTE	310° 18'19,66"	1.488,109 m	-13,216 m	310° 18'17,44"	1.488,107 m	-13,218 m	-2,22 "	-0,002m	-0.002m
POSTE	PLACA	306° 05'26,69"	2.041,226 m	-12,975 m	306° 05'24,86"	2.041,225 m	-12,904 m	-1,83 "	-0,001m	+0.071m
PLACA	VITÓRIAS	309° 41'18,51"	1.680,715 m	- 8,762 m	309° 41'17,06"	1.680,748 m	- 8,770 m	-1,45 "	+0,033m	-0.008m
VITÓRIAS	SCÂNIA	306° 08'18,89"	1.668,559 m	- 6,784 m	306° 08'17,74"	1.668,514 m	- 6,768 m	-1,15 "	-0,045m	+0.016m
SCÂNIA	SAU	309° 45'20,26"	1.247,020 m	-21,923 m	309° 45'18,69"	1.247,005 m	-21,883 m	-1,57 "	-0,015m	+0.040m

Tabela 7.12 – Comparação entre coordenadas geográficas-geodésicas

VÉRTICE	coordenadas referenciadas ao elipsóide WGS – 84				diferenças encontradas			
	método clássico		método GPS					
	Latitude (φ)	Longitude (λ)	Latitude (φ)	Longitude (λ)	em segundos de arco (φ) (λ)		em metros (φ) (λ)	
COQUEIRO	-21° 58' 16,19587” S	47° 56' 59,35181”W	21° 58' 16,19634” S	47° 56' 59,35183” W	+0.00047	+0.00002	+0,015	+0,001
FÁTIMA	-21° 57' 56,02796” S	47° 57' 58,44800”W	21° 57' 56,02879” S	47° 57' 58,44813” W	+0.00083	+0.00013	+0,026	+0,004
PESQUEIRO	-21° 57' 32,52084” S	47° 58' 54,27262”W	21° 57' 32,52181” S	47° 58' 54,27315” W	+0.00097	+0.00053	+0,030	+0,016
POSTE	-21° 57' 01,22416” S	47° 59' 33,82241”W	21° 57' 01,22518” S	47° 59' 33,82339” W	+0.00102	+0.00098	+0,032	+0,030
PLACA	-21° 56' 22,12917” S	48° 00' 31,30362”W	21° 56' 22,13034” S	48° 00' 31,30488” W	+0.00117	+0.00126	+0,036	+0,039
VITÓRIAS	-21° 55' 47,23257” S	48° 01' 16,37176”W	21° 55' 47,23257” S	48° 01' 16,37384” W	0.00000	+0.00208	0,000	+0,064
SCÂNIA	-21° 55' 15,23880” S	48° 02' 03,32426”W	21° 55' 15,23973” S	48° 02' 03,32488” W	+0.00093	+0.00062	+0,029	+0,019

Neste item, chegou-se ao objetivo da proposta apresentada no título da dissertação, que é justamente a possibilidade de comparação de resultados obtidos por dois diferentes métodos. O método clássico e o método GPS, diferem em procedimentos e equipamentos, mas são essencialmente o mesmo por tratarem cada um a seu modo, da determinação da posição geográfica de um ponto desconhecido através dos elementos diferenciais que o ligam à um ponto conhecido. São apresentadas as tabelas 7.11 e 7.12, que contém os dados resultantes dos processamentos desenvolvidos neste trabalho, sempre referenciado ao sistema WGS-84, e que possibilitam as comparações pretendidas. A tabela 7.11, apresenta os elementos elipsoidais obtidos na fase intermediária dos cálculos e a tabela 7.12 apresenta os valores finais das coordenadas geográficas-geodésicas determinadas. Portanto:

- Na tabela 7.11, faz-se comparação entre azimutes e distâncias elipsoidais determinadas por GPS e azimutes e distâncias elipsoidais medidos com estação total na superfície física da Terra e devidamente tratadas e reduzidas ao elipsóide;
- Ainda na tabela 7.11, faz-se também a comparação entre as diferenças de altura geométrica determinadas por GPS e com a estação total;
- Na tabela 7.12, faz-se a comparação direta entre as coordenadas geográficas-geodésicas obtidas pelos dois métodos.

Desta forma, comparados os valores, torna-se possível tecer alguns comentários acerca dos métodos aplicados, que serão apresentados no capítulo a seguir.

CAPÍTULO 8 – CONCLUSÕES

Partindo da premissa que este trabalho teve como objetivo principal a comparação entre dois diferentes métodos de determinação das coordenadas geográficas-geodésicas e que a aplicação destes métodos no cálculo de uma poligonal de adensamento que interligasse dois fusos da projeção UTM teve apenas um cunho prático e secundário, seria suficiente concluir este trabalho abordando três aspectos relevantes que são:

- 1) Comparação analítica dos valores alcançados nos dois métodos;
- 2) Avaliação da aplicação prática desenvolvida;
- 3) Contribuição de cada método para os profissionais de engenharia, levando em consideração o estado de avanço da tecnologia atual.

8.1 Comparação Analítica

A comparação analítica relativa aos elementos elipsoidais de azimuth, distância e desnível, apresentada na tabela 7.11, permite concluir que sendo a maior diferença entre os azimuths da ordem de 2,22" (segundos), ela está compatível com os equipamentos utilizados nos dois diferentes métodos, mas conclui-se também que o valor do sinal desta comparação resultando sempre negativo, indicando que o valor do azimuth no método clássico é sempre maior que o azimuth determinado no transporte com GPS, sugere no mínimo a repetição do experimento, ou uma revisão bibliográfica que justifique e explique tal fato, o que não foi objetivo deste trabalho.

A comparação da distância elipsoidal e da diferença de alturas determinadas nos dois métodos apresentou resultados aparentemente aleatórios, com os valores e sinais sem um padrão sistemático. As duas maiores diferenças encontradas foram nos lados PLACA-VITÓRIAS e VITÓRIAS-SCÂNIA, com +0,033m e -0,045m respectivamente, acabaram por se compensar. No entanto, elas indicam que algo anormal aconteceu no ponto VITÓRIAS, sendo a conclusão mais lógica, que a antena do receptor GPS não tenha permanecido corretamente centrada para a coleta dos dados do vetor anterior e posterior à este ponto, pois o equipamento permaneceu fixo e programado medindo o vetor para o ponto PLACA e não foi movido até completar a medição para o ponto VITÓRIAS que foi feita também por programação.

A comparação analítica relativa às coordenadas geográficas-geodésicas, transportadas pelos dois diferentes métodos e apresentada na tabela 7.12, demonstra que os valores finais alcançados por ambos ficaram muito próximos, sendo a maior diferença constatada no ponto SCÂNIA, que resultou em + 0,064 m, o que coloca a precisão do trabalho numa ordem superior a 1:100.000, uma vez que o percurso desenvolvido é de 13,35 quilômetros.

8.2 Avaliação da aplicação prática desenvolvida

A aplicação do método clássico adotado pela DSG, na etapa de campo, requer praticamente os mesmos cuidados que um levantamento topográfico simples feito com estação total. As atividades de campo são muito parecidas, pois o critérios de reconhecimento, materialização e medição dos vértices, desenvolvem-se de maneira similar. Na fase de reconhecimento busca-se pontos de fácil acesso, com boa intervisibilidade para os pontos à vante e à ré, procurando-se escolher um local perene para a implantação do marco e que principalmente facilite a atividade de medição dos lados envolvidos. Na atividade de medição, cuidados extras são necessários, com a situação ambiente, proteção dos equipamentos e repetição das série de coleta de observações. No entanto, apesar da facilidade apresentada, quando comparado o método clássico com o método GPS, aparece uma diferença muito

expressiva, que justifica a sua substituição por técnicas de posicionamento. Para se ter uma idéia, a medição dos 8 lados que compõem a poligonal, pelo método clássico consumiu 15 dias, entre as observações e reocupações, empregando uma equipe composta de 2 técnicos, 4 auxiliares e 2 veículos leves, ao passo que pelo método GPS, foram gastos 1 dia com 3 receptores e 2 dias com 2 receptores, empregando uma equipe composta de 2 técnicos e 2 veículos leves.

Na etapa de escritório, a aplicação do método clássico foi uma experiência rica e gratificante, pois permitiu uma revisão detalhada de pormenores da Geodésia Geométrica, obrigando à uma detida análise dos procedimentos utilizados nos cálculos com logaritmos. O cálculo das coordenadas geográficas-geodésicas da poligonal desenvolvida no trabalho, foi feito totalmente referenciado ao Elipsóide WGS-84 e transportou-se alturas geométricas para os pontos, uma vez que não foram feitos nivelamentos geométricos, nem se trabalhou com carta geoidal para determinar as suas alturas ortométricas.

O cálculo pelo método clássico, transcorreu de maneira gradual, impondo um avanço lento, uma vez que cada passo do procedimento logarítmico foi interpretado e entendido para posteriormente ser transcrito e transformado em rotinas de programação do software MathCad. Em paralelo este cálculo foi sempre apoiado por verificações feitas no software Excel, permitindo uma comparação de resultados intermediários com o objetivo de assegurar o avanço correto da transcrição do método clássico para o uso com valores naturais. A quantificação do tempo dispendido nesta etapa não foi cronometrada, mas consumiu pelo menos um mês nas atividades de: interpretação do método, montagem do programa, cálculos preliminares e cálculo definitivo das coordenadas. Apesar de ter exigido este montante de horas, quando concluído, o programa de cálculo praticamente não apresentou diferença de tempo no cálculo das coordenadas, quando comparado com o software para cálculo do pós-processamento GPS.

Sem dúvida, se considerarmos o tempo total necessário para concluir as atividades de campo e escritório, o GPS oferece uma larga vantagem sobre o método clássico, que se torna ainda maior se os levantamentos acontecerem no período noturno.

8.3 Contribuição de cada método

Numa abordagem simplista sobre a contribuição de cada método, temos pelo menos que considerar, que o método clássico já cumpriu seu papel como instrumento de produção e que nos dias atuais oferece somente uma colaboração de cunho acadêmico, enquanto a tecnologia GPS estabeleceu-se como um instrumento de liderança nas técnicas de posicionamento, demonstrando que veio para ficar. O método clássico, durante o período em que foi mais utilizado no Brasil, entre 1940 e 1970, deu a sua principal contribuição na determinação das coordenadas geográficas-geodésicas da rede fundamental brasileira implantada neste período. Ele também ajudou a colocar em destaque profissionais da área civil e militar, que o utilizaram com grande destreza. O método de posicionamento GPS, por sua vez, nascido na década de 60, torna-se cada vez mais presente, sempre oferecendo rapidez, precisão e baixo custo relativo de operação. Com estas vantagens, o método GPS, tem pela frente um período indeterminado de atuação, mas que pelo que hoje presenciamos, dará a sua contribuição à engenharia e humanidade ainda por várias décadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (1994). Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 13133 – Execução de Levantamento Topográfico, Rio de Janeiro.

ASÍN, FERNANDO M. (1990). Geodesia y Cartografia Matemática- 3^a edição editado pelo Instituto Nacional de Espanha e impresso no Instituto Geográfico Nacional de Espanha.

BONFORD, GUY (1987). Geodesy, publicado pela Oxford University Press, New York, U.S.A.

CHAVES, ELIANA E. D. (1998). Análise da qualidade de dados georreferenciados utilizando a tecnologia GPS. Dissertação(Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

FONSECA JR., EDIVALDO S.(1996). Estudo e Avaliação Metodológica da Rede GPS do Estado de São Paulo. Dissertação(Mestrado) – Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo.

GEMAEL,CAMIL (1994) Introdução ao Ajustamento de Observações. Editora da Universidade Federal do Paraná.

GEMAEL,CAMIL (1974) Elipse e Elipsóide dos Erros. Editora da Universidade Federal do Paraná.

GRIPP, JOEL & SIMÕES, ANTONIO (1997). Geodésia Geométrica. Editado pelo Setor de Agrimensura da Universidade Federal de Viçosa.

HEMPEL, CARL . G . (1966). Philosophy of Natural Science, 1st. Edition, editado pela Editora Prentice – Hall.

HEISKANEN, W.A. (1958). The Earth and Its Gravity Field , editado pela editora McGraw-Hill Book Company, Inc.

HOSMER, GEORGE. L. (1946). Geodesy, Astronomical Observations, Gravity Measurements and Method of Least Square , publicado pela editora John Wiley & Sons, Inc.

HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTNEGGER, H., COLLINS, G. (1997). Global Positioning System, Theory and Practice, editado por Springer-Verlag Wien.

LIBAULT, ANDRÉ (1975). Geocartografia, publicado pela Companhia Editora Nacional

McCORMAC, JACK C. (1983) Suveying Fundamentals , publicado pela editora Prentice – Hall Inc.

MAIA, TULE C. B. (2000). Estudo e análise de poligonais segundo a NBR 13133 e o Sistema Global de Posicionamento, M217e . Dissertação(Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MUELLER & RAMSAYER(1979). Introduction to Surveying, publicado por Frederick Ungar Publishing Co.

OLIVEIRA, C. Dicionário Cartográfico, 2a. Edição, editado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

PACILÉO NETTO, NICOLA(1984). Apoio Geodésico para Controle e Locação de Projetos e Obras de Engenharia. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

RAPP, RICHARD H. (1989). Geometric Geodesy - part I , Department of Geodetic Science and Surveying, Ohio State University

ROCHA, CESAR P. (2000). Obtenção e Análise de Azimutes por Astronomia Clássica e pelo Sistema de Posicionamento Global. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SEGANTINE, PAULO C. L.(1999). GPS – Sistema de Posicionamento Global, Apostila editada pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SCHOFIELD, W. (1993). Engineering Surveying 4th edition , editado por Oxford, Butterworth & Heinemann

SILVA & ERWES (1997). III curso de atualização em Topografia e GPS - Apostila publicada pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

TORGE , W. (1980). Geodesy, editado por Walter de Gruyter & Co. Berlim

VERONEZ, MAURICIO R. (1998). Proposta de Parâmetros de Transformação entre os Sistemas WGS-84 e SAD-69 para a região de São Carlos - SP Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ANEXO “A” - Rede GPS

Caderneta de campo

Relatórios de pós-processamento dos vetores

Relatório do ajustamento dos vetores

A1. Vetores observados na REDE GPS – “Meridiano 48”

CADERNETA DE CAMPO

data	horário local		arquivo	vértice	antena (m)	pressão (hpa)	t.seca (°C)	t.úmido (°C)
29/09/2000	14:20	15:3	3330	FIBRAJATO	1.68	926	35	28
			3331	SAU	1.74	927	34	28
	16:30	17:3	3332A	FIANDEIRAS	1.75	917	29	25
			3333A	ADPM	1.63	917	29	25
	14:39	15:1	b2731	BASE-STT	0.221	917	29	25

data	horário local		arquivo	vértice	antena (m)	pressão (hpa)	t.seca (°C)	t.úmido (°C)
30/09/2000	8:00	9:00	3334	FIBRAJATO	1.71	927	24	21
			3335	FIANDEIRAS	1.74	920	24	18
	10:20	11:2	3336R	FIBRAJATO	1.71	927	30	27
			3337R	ADPM	1.60	920	24	22
	11:50	12:5	3338	ADPM	1.60	920	28	22
			3339	SAU	1.71	920	24	22
	8:40	12:0	b2741	BASE-STT	0.221	920	28	22

data	horário local		arquivo	vértice	antena (m)	pressão (hpa)	t.seca (°C)	t.úmido (°C)
01/10/2000	13:20	14:2	3340	FED-3	0.24	919	30	21
			3341	FIANDEIRAS	1.74	917	30	24
	14:35	15:3	3342	FED-3	0.24	919	30	21
			3343	ADPM	1.67	916	30	24
	16:35	17:3	3344	SAU	1.71	924	30	23
			3345	FIANDEIRAS	1.77	916	29	23

Data	horário local		arquivo	vértice	antena (m)	pressão (hpa)	t.seca (°C)	t.úmido (°C)
06/10/2000	10:30	11:3	3346	SAU	1.65	924	26	22
			3347	FIANDEIRAS	1.66	915	29	24

A2. Relatórios do pós processamento dos vetores observados na REDE GPS

GPS Static Survey Calculation Report-Sokkia Spectrum Survey Version1.20A Build12
2000-10-22 10:10:24

Fixed Ambiguity Double Difference Solution Observations 1599
Observations Used 1599 Search Method Ratio 3.35

Fixed Ambiguity

6-23 -417492.0000 cycle
15-23 -365045.0000 cycle
17-23 -614509.0000 cycle
21-23 4855936.0000 cycle
22-23 -814315.0000 cycle
26-23 -1627905.0000 cycle
30-23 -824552.0000 cycle

rms 0.010 meters

WGS84

FED3-PILAR

Latitude -21° 58' 56.65713"
Longitude -47° 52' 40.20484"
Ellip. Ht. 843.4260

ECEF Cartesian

Fixed Point

X 3969281.139m
Y -4389475.603m
Z -2372922.042m

ADPM

-21° 59' 17.46452"
-47° 55' 22.95341"
857.8860

Solution Point

Delta

3965664.891m -3616.248m
-4392438.197m -2962.594m
-2373520.995m -598.953m
Chord Length 4713.062m
Azimuth 262° 11' 09.4915"

Variance/Covariance [m²]

Standard Deviation

	X	Y	Z	WGS84	Local Datum
X	9.682e-07	-8.743e-07	-3.598e-07	X 0.0010m	Lat. 0.0006m
Y		1.583e-06	5.181e-07	Y 0.0013m	Lon. 0.0006m
Z			6.222e-07	Z 0.0008m	Ht. 0.0015m

GPS Static Survey Calculation Report-Sokkia Spectrum Survey Version1.20A Build12
2000-10-22 09:59:38

Fixed Ambiguity Double Difference Solution Observations 1112
Observations Used 1112 Search Method Ratio 6.39

Fixed Ambiguity

5-30 -60011.0000 cycle
6-30 22462.0000 cycle
10-30 19794.0000 cycle
17-30 8277.0000 cycle
23-30 282045.0000 cycle

rms 0.006 meters

WGS84

FED3-PILAR

Latitude -21° 58' 56.65713"
Longitude -47° 52' 40.20484"
Ellip. Ht. 843.4260

ECEF Cartesian

Fixed Point

X 3969281.139m
Y -4389475.603m
Z -2372922.042m

FIANDEIRAS

-21° 58' 31.60767"
-47° 56' 03.67266"
857.9716

Solution Point

Delta

3965151.516m -4129.623m
-4393613.041m -4137.438m
-2372212.907m 709.134m
Chord Length 5888.552m
Azimuth 277° 30' 31.6972"

Variance/Covariance [m²]

Standard Deviation

	X	Y	Z	WGS84	Local Datum
X	2.361e-06	-6.628e-07	-5.916e-07	X 0.0015m	Lat. 0.0004m
Y		6.207e-07	2.480e-07	Y 0.0008m	Lon. 0.0010m
Z			3.224e-07	Z 0.0006m	Ht. 0.0015m

GPS Static Survey Calculation Report-Sokkia Spectrum Survey Version1.20A Build12
2000-10-22 10:20:20

Fixed Ambiguity Double Difference Solution Observations 1920
Observations Used 1920 Search Method Ratio 3.40
Fixed Ambiguity

4-9 18648396.0000 cycle
5-9 6857349.0000 cycle
6-9 17415563.0000 cycle
10-9 20764543.0000 cycle
17-9 19370844.0000 cycle
24-9 2219679.0000 cycle
30-9 19055928.0000 cycle

rms 0.007 meters

WGS84 BASE-STT
Latitude -22° 00' 17.78425"
Longitude -47° 53' 57.02520"
Ellip. Ht. 822.0500
ECEF Cartesian Fixed Point
X 3967006.162m
Y -4390245.425m
Z -2375228.081m

ADPM
-21° 59' 17.46494"
-47° 55' 22.95248"
857.8966

Solution Point Delta
3965664.914m -1341.248m
-4392438.183m -2192.758m
-2373521.011m 1707.071m
Chord Length 3085.648m
Azimuth 306° 57' 55.6737"

Variance/Covariance [m²]

	X	Y	Z
X	5.506e-07	-4.780e-07	-1.944e-07
Y		7.491e-07	2.263e-07
Z			2.780e-07

Standard Deviation

	WGS84	Local Datum
X	0.0007m	Lat. 0.0004m
Y	0.0009m	Lon. 0.0004m
Z	0.0005m	Ht. 0.0011m

GPS Static Survey Calculation Report-Sokkia Spectrum Survey Version1.20A Build12
2000-10-22 10:28:49

Fixed Ambiguity Double Difference Solution Observations 1335
Observations Used 1331 Search Method Ratio 2.94
Fixed Ambiguity

4-9 11499189.0000 cycle
5-9 7057599.0000 cycle
6-9 17830506.0000 cycle
10-9 21041350.0000 cycle
24-9 2295985.0000 cycle
30-9 15475674.0000 cycle

rms 0.011 meters

WGS84 BASE-STT
Latitude -22° 00' 17.78425"
Longitude -47° 53' 57.02520"
Ellip. Ht. 822.0500
ECEF Cartesian Fixed Point
X 3967006.162m
Y -4390245.425m
Z -2375228.081m

FIBRAJATO
-21° 55' 00.83304"
-48° 03' 04.49907"
784.6162

Solution Point Delta
3957753.698m -9252.464m
-4403445.366m -13199.941m
-2366171.456m 9056.626m
Chord Length 18489.700m
Azimuth 301° 47' 47.6653"

Variance/Covariance [m²]

	X	Y	Z
X	1.477e-06	-1.159e-06	-6.387e-07
Y		1.883e-06	7.045e-07
Z			1.109e-06

Standard Deviation

	WGS84	Local Datum
X	0.0012m	Lat. 0.0008m
Y	0.0014m	Lon. 0.0007m
Z	0.0011m	Ht. 0.0018m

GPS Static Survey Calculation Report-Sokkia Spectrum Survey Version1.20A Build12
2000-10-22 10:35:46

Floating Ambiguity Double Difference Solution Observations 877
Observations Used 877 Search Method Ratio 4.90
Fixed Ambiguity

6-17 2898031.0000 cycle
15-17 13810979.0000 cycle
21-17 18377335.0000 cycle
22-17 18763954.0000 cycle
23-17 7222322.0000 cycle
26-17 20191567.0000 cycle
30-17 631185.0000 cycle
rms 0.010 meters

WGS84 BASE-STT **SAU**
Latitude -22° 00' 17.78425" **-21° 54' 49.31601"**
Longitude -47° 53' 57.02520" **-48° 02' 36.72993"**
Ellip. Ht. 822.0500 **777.9028**
ECEF Cartesian Fixed Point Solution Point Delta
X 3967006.162m 3958430.733m -8575.429m
Y -4390245.425m -4403006.202m -12760.778m
Z -2375228.081m -2365840.266m 9387.815m
Chord Length 18014.064m
Azimuth 304° 05' 32.2351"
Variance/Covariance [m²] Standard Deviation
X Y Z WGS84 Local Datum
X 4.761e-04 8.672e-05 -2.240e-05 X 0.0218m Lat. 0.0086m
Y 1.380e-04 -1.308e-05 Y 0.0117m Lon. 0.0203m
Z 5.777e-05 Z 0.0076m Ht. 0.0136m

GPS Static Survey Calculation Report-Sokkia Spectrum Survey Version1.20A Build12
2000-10-22 11:06:22

Fixed Ambiguity Double Difference Solution Observations 1291
Observations Used 1278 Search Method Ratio 2.66
Fixed Ambiguity

4-9 -7149207.0000 cycle
5-9 200250.0000 cycle
6-9 414943.0000 cycle
10-9 276807.0000 cycle
24-9 76306.0000 cycle
30-9 -3580254.0000 cycle
rms 0.010 meters

WGS84 ADPM **FIBRAJATO**
Latitude -21° 59' 17.46452" **-21° 55' 00.83277"**
Longitude -47° 55' 22.95341" **-48° 03' 04.49991"**
Ellip. Ht. 857.8860 **784.6083**
ECEF Cartesian Fixed Point Solution Point Delta
X 3965664.891m 3957753.677m -7911.214m
Y -4392438.197m -4403445.379m -11007.182m
Z -2373520.995m -2366171.445m 7349.550m
Chord Length 15419.509m
Azimuth 300° 46' 21.1887"
Variance/Covariance [m²] Standard Deviation
X Y Z WGS84 Local Datum
X 1.233e-06 -9.689e-07 -5.190e-07 X 0.0011m Lat. 0.0007m
Y 1.578e-06 5.527e-07 Y 0.0013m Lon. 0.0007m
Z 8.755e-07 Z 0.0009m Ht. 0.0016m

GPS Static Survey Calculation Report-Sokkia Spectrum Survey Version1.20A Build12
2000-10-22 11:12:25

Fixed Ambiguity Double Difference Solution Observations 1254
Observations Used 1254 Search Method Ratio 3.49
Fixed Ambiguity

6-5 -65051.0000 cycle
9-5 -2223.0000 cycle
10-5 7327.0000 cycle
17-5 108926.0000 cycle
24-5 -4910944.0000 cycle
30-5 -48644.0000 cycle
rms 0.009 meters

WGS84	ADPM	SAU	
Latitude	-21° 59' 17.46452"	-21° 54' 49.31168"	
Longitude	-47° 55' 22.95341"	-48° 02' 36.72733"	
Ellip. Ht.	857.8860	778.0149	
ECEF Cartesian	Fixed Point	Solution Point	Delta
X	3965664.891m	3958430.892m	-7233.999m
Y	-4392438.197m	-4403006.267m	-10568.070m
Z	-2373520.995m	-2365840.185m	7680.810m
		Chord Length	14933.509m
		Azimuth	303° 30' 30.3433"

Variance/Covariance [m²]		Standard Deviation
	X Y Z	WGS84 Local Datum
X	1.967e-06 -1.431e-06 -5.595e-07	X 0.0014m Lat. 0.0007m
Y	1.810e-06 5.855e-07	Y 0.0013m Lon. 0.0007m
Z	6.142e-07	Z 0.0008m Ht. 0.0019m

GPS Static Survey Calculation Report-Sokkia Spectrum Survey Version1.20A Build12
2000-10-22 10:44:06

Fixed Ambiguity Double Difference Solution Observations 1393
Observations Used 1391 Search Method Ratio 7.40
Fixed Ambiguity

3-21 627611.0000 cycle
6-21 -1235544.0000 cycle
15-21 -121987.0000 cycle
17-21 -908555.0000 cycle
22-21 -486619.0000 cycle
23-21 -1029377.0000 cycle
28-21 -1119920.0000 cycle
29-21 712643.0000 cycle
rms 0.004 meters

WGS84	FIANDEIRAS	ADPM	
Latitude	-21° 58' 31.60767"	-21° 59' 17.46519"	
Longitude	-47° 56' 03.67266"	-47° 55' 22.95306"	
Ellip. Ht.	857.9716	857.9117	
ECEF Cartesian	Fixed Point	Solution Point	Delta
X	3965151.516m	3965664.909m	513.393m
Y	-4393613.041m	-4392438.202m	1174.839m
Z	-2372212.907m	-2373521.024m	-1308.116m
		Chord Length	1831.662m
		Azimuth	140° 22' 16.7185"

Variance/Covariance [m²]		Standard Deviation
	X Y Z	WGS84 Local Datum
X	5.041e-07 -4.174e-07 -2.177e-07	X 0.0007m Lat. 0.0003m
Y	4.976e-07 2.168e-07	Y 0.0007m Lon. 0.0003m
Z	2.126e-07	Z 0.0005m Ht. 0.0010m

GPS Static Survey Calculation Report-Sokkia Spectrum Survey Version1.20A Build12
2000-10-22 11:29:27

Fixed Ambiguity Double Difference Solution Observations 1281
Observations Used 1270 Search Method Ratio 2.90
Fixed Ambiguity

2-26 -246302.0000 cycle
4-26 914231.0000 cycle
5-26 581653.0000 cycle
7-26 -404674.0000 cycle
9-26 1128364.0000 cycle
24-26 1159698.0000 cycle
rms 0.006 meters

WGS84	FIANDEIRAS		FIBRAJATO	
Latitude	-21° 58' 31.60767"		-21° 55' 00.83365"	
Longitude	-47° 56' 03.67266"		-48° 03' 04.50044"	
Ellip. Ht.	857.9716		784.6705	
ECEF Cartesian	Fixed Point		Solution Point	Delta
X	3965151.516m		3957753.698m	-7397.819m
Y	-4393613.041m		-4403445.425m	-9832.384m
Z	-2372212.907m		-2366171.493m	6041.414m
			Chord Length	13707.741m
			Azimuth	298° 12' 29.8903"
Variance/Covariance [m²]			Standard Deviation	
	X	Y	Z	WGS84 Local Datum
X	1.117e-06	-1.003e-06	-6.621e-07	X 0.0011m Lat. 0.0004m
Y		1.195e-06	6.597e-07	Y 0.0011m Lon. 0.0004m
Z			6.319e-07	Z 0.0008m Ht. 0.0016m

GPS Static Survey Calculation Report-Sokkia Spectrum Survey Version1.20A Build12
2000-10-22 11:00:48

Fixed Ambiguity Double Difference Solution Observations 1367
Observations Used 1350 Search Method Ratio 2.71
Fixed Ambiguity

4-9 84658.0000 cycle
5-9 44443.0000 cycle
6-9 -26437.0000 cycle
10-9 48712.0000 cycle
17-9 795643.0000 cycle
24-9 63986.0000 cycle
30-9 19965.0000 cycle
rms 0.011 meters

WGS84	FIANDEIRAS		SAU	
Latitude	-21° 58' 31.60767"		-21° 54' 49.31205"	
Longitude	-47° 56' 03.67266"		-48° 02' 36.72743"	
Ellip. Ht.	857.9716		778.0607	
ECEF Cartesian	Fixed Point		Solution Point	Delta
X	3965151.516m		3958430.915m	-6720.601m
Y	-4393613.041m		-4403006.297m	-9393.256m
Z	-2372212.907m		-2365840.212m	6372.695m
			Chord Length	13191.322m
			Azimuth	301° 12' 17.1597"
Variance/Covariance [m²]			Standard Deviation	
	X	Y	Z	WGS84 Local Datum
X	2.686e-06	-2.344e-06	-9.500e-07	X 0.0016m Lat. 0.0008m
Y		3.167e-06	9.953e-07	Y 0.0018m Lon. 0.0008m
Z			9.591e-07	Z 0.0010m Ht. 0.0024m

GPS Static Survey Calculation Report-Sokkia Spectrum Survey Version1.20A Build12
2000-10-22 11:18:10

Fixed Ambiguity Double Difference Solution Observations 1508
Observations Used 1479 Search Method Ratio 7.59

Fixed Ambiguity

5-17 2849731.0000 cycle
6-17 725586.0000 cycle
15-17 -2864053.0000 cycle
21-17 6949774.0000 cycle
22-17 2603918.0000 cycle
23-17 2971137.0000 cycle
26-17 2154797.0000 cycle
30-17 -764876.0000 cycle

rms 0.006 meters

WGS84

FIBRAJATO

SAU

Latitude -21° 55' 00.83304"

-21° 54' 49.31123"

Longitude -48° 03' 04.49907"

-48° 02' 36.72615"

Ellip. Ht. 784.6162

777.9844

ECEF Cartesian

Fixed Point

Solution Point

Delta

X 3957753.698m

3958430.901m

677.203m

Y -4403445.366m

-4403006.227m

439.139m

Z -2366171.456m

-2365840.160m

331.295m

Chord Length

872.470m

Azimuth 66° 01' 54.5677"

Variance/Covariance [m²]

Standard Deviation

	X	Y	Z
X	3.755e-07	-3.414e-07	-1.466e-07
Y		7.050e-07	2.181e-07
Z			2.562e-07

	WGS84	Local Datum
X	0.0006m	Lat. 0.0004m
Y	0.0008m	Lon. 0.0004m
Z	0.0005m	Ht. 0.0010m

A3. Relatório do ajustamento dos vetores observados na REDE GPS

GPS 3D Network Adjustment - SOKKIA GSPnetA Ver.1.03

Date: 2000-10-20

Title REDE GPS - MERIDIANO 48

Sub Title .. COM CORREÇÃO DE IONOSFERA

Options Used

- Adjustment Type constrained
- Computation Level .. upto inversion

- Additional Parameters:

- def. of vertical (N-S)	not used
- def. of vertical (E_W)	not used
- horizontal rotation	not used
- scale difference	not used

- Iteration Criteria:

- maximum iteration number	5
- maximum coordinate diff.	0.0010 m

- Reference Ellipsoid:

- name **SAD-69**
 - major axis 6378160.00000000 m
 - flattening 1 / 298.250000044000

- Weight Options:

- use modeled standard deviations
 - use individual weighting scale

- Modeled Standard Deviations:

- GPS_X_comp. 5.0 mm + 2.0 ppm
 - GPS_Y_comp. 5.0 mm + 2.0 ppm
 - GPS_Z_comp. 5.0 mm + 2.0 ppm

- Transformation to Map Coord. System ... yes

- system name U.T.M.
 - projection type Transverse Mercator
 - zone number 23

- origin: latitude 0 0 0.00000 N
 longitude 45 0 0.00000 W
 false Northing 10000000.000
 false Easting 500000.000
 scale 0.9996000000

Summary of Adjustment Statistics

- Number of Stations:	hori. fixed & height fixed	2
	hori. fixed & height free	0
	hori. free & height fixed	0
	hori. free & height free	4

	total	6
- Number of Unknowns:	latitude	4
	longitude	4
	height	4
	additional parameter	0

	(a) total	12
- Number of Observations:	GPS_X_comp.	11
	GPS_Y_comp.	11
	GPS_Z_comp.	11

	(b) total	33
- Number of Rank Defect	(c)	0
- Number of Total Redundancy	(b) + (c) - (a)	21
- Iteration Used		2

- Additional Parameters:

Parameter	Status	Value	S.D.
def. of vertical (N-S)	not used		
def. of vertical (E_W)	not used		
horizontal rotation	not used		
scale difference	not used		

- Standard Deviations of Unit Weight:

Value	Data type	Number	PVV	Redundancy	S.D.	Bound.
	GPS_X_comp.	11	9.22e+000	7.00e+000	1.15	
	GPS_Y_comp.	11	5.99e+000	7.00e+000	0.93	
	GPS_Z_comp.	11	5.07e+000	7.00e+000	0.85	

-total	33	2.03e+001	21	0.98	[0.70 - 1.30]	

Input Coordinates and Corrections

Point No. (Stn.Name)	Input Coordinates				Corrections	Hori.Vector
	°	'	"	"	m	m
1	B	21	58	54.92420 S	fixed (	0.000)
(PILAR3 - FEDERAL)	L	47	52	38.57831 W	fixed (	0.000)
	H			850.686 m	fixed	0.000
2	B	22	0	16.05096 S	fixed (	0.000)
(BASE - STT)	L	47	53	55.39756 W	fixed (	0.000)
	H			829.273 m	fixed	0.000
3	B	21	58	29.87542 S	0.00035(	0.011)
(MALHARIA FIANDEIRAS)	L	47	56	2.04456 W	0.00029(	0.008)
	H			865.196 m	-0.016	
4	B	21	59	15.73195 S	-0.00024(	-0.007)
(POLICIA MILITAR)	L	47	55	21.32550 W	0.00068(	0.020)
	H			865.107 m	0.009	
5	B	21	54	59.10262 S	-0.00066(	-0.020)
(EMPRESA FIBRAJATO)	L	48	3	2.86904 W	0.00016(	0.005)
	H			791.798 m	0.037	
6	B	21	54	47.58151 S	0.00004(	0.001)
(SERVICO AT. USUARIO)	L	48	2	35.09672 W	0.00049(	0.014)
	H			785.214 m	-0.001	

Adjusted Coordinates and Standard Deviations

SAD-69

Point No.	(Stn.Name)	Adjusted Coordinates	S.D.	95% Ellipse
		Ø ' " 0.001sec. mm		mm
1	B 21 58 54.92420 S	fixed (0.0) major	0.0	
(PILAR3 - FEDERAL)	L 47 52 38.57831 W	fixed (0.0) azm.	0deg.	
	H 850.686 m	fixed 0.0 minor	0.0	
2	B 22 0 16.05096 S	fixed (0.0) major	0.0	
(BASE - STT	)L 47 53 55.39756 W	fixed (0.0) azm.	0deg.	
	H 829.273 m	fixed 0.0 minor	0.0	
3	B 21 58 29.87507 S	0.23 (7.0) major	17.2	
(MALHARIA FIANDEIRAS)	L 47 56 2.04427 W	0.25 (7.0) azm.	90deg.	
	H 865.180 m	7.0 minor	17.2	
4	B 21 59 15.73219 S	0.18 (5.7) major	13.8	
(POLICIA MILITAR)	L 47 55 21.32482 W	0.20 (5.7) azm.	90deg.	
	H 865.116 m	5.7 minor	13.8	
5	B 21 54 59.10328 S	0.46 (14.2) major	34.7	
(EMPRESA FIBRAJATO)	L 48 3 2.86888 W	0.49 (14.2) azm.	0deg.	
	H 791.835 m	14.2 minor	34.7	
6	B 21 54 47.58147 S	0.46 (14.2) major	34.9	
(SERVICO AT. USUARIO)	L 48 2 35.09623 W	0.50 (14.2) azm.	0deg.	
	H 785.213 m	14.2 minor	34.9	

Observations and Residuals

Point No.	Observations	Variance	Covariance	Residuals	Test
Val.					
from to	m	mm*mm	mm*mm	mm	
4 5	X -7911.2137	xx 976.04	xy 0.00	3.2	0.11
	Y -11007.1821	yy 976.04	xz 0.00	-25.5	-0.91
p= 1.00	Z 7349.5498	zz 976.04	yz 0.00	-22.5	-0.80
4 6	X -7233.9993	xx 917.04	xy 0.00	-7.7	-0.29
	Y -10568.0698	yy 917.04	xz 0.00	0.5	0.02
p= 1.00	Z 7680.8100	zz 917.04	yz 0.00	11.5	0.43
1 4	X -3616.2478	xx 113.85	xy 0.00	18.2	2.03
	Y -2962.5939	yy 113.85	xz 0.00	8.8	0.98
p= 1.00	Z -598.9530	zz 113.85	yz 0.00	-10.3	-1.15
1 3	X -4129.6225	xx 163.70	xy 0.00	-0.5	-0.05
	Y -4137.4379	yy 163.70	xz 0.00	13.1	1.24
p= 1.00	Z 709.1342	zz 163.70	yz 0.00	15.7	1.48
3 4	X 513.3930	xx 38.42	xy 0.00	0.5	0.17
	Y 1174.8388	yy 38.42	xz 0.00	0.9	0.32
p= 1.00	Z -1308.1161	zz 38.42	yz 0.00	3.0	1.09

3	5	X	-7397.8186	xx	776.61	xy	0.00	1.5	0.06
		Y	-9832.3837	yy	776.61	xz	0.00	15.9	0.66
p=	1.00	Z	6041.4141	zz	776.61	yz	0.00	0.1	0.00
3	6	X	-6720.6010	xx	721.04	xy	0.00	-12.5	-0.54
		Y	-9393.2562	yy	721.04	xz	0.00	26.6	1.16
p=	1.00	Z	6372.6951	zz	721.04	yz	0.00	13.3	0.58
5	6	X	677.2035	xx	28.04	xy	0.00	0.0	0.03
		Y	439.1391	yy	28.04	xz	0.00	-0.8	-0.78
p=	1.00	Z	331.2954	zz	28.04	yz	0.00	-1.2	-1.16
2	4	X	-1341.2481	xx	63.08	xy	0.00	-11.2	-2.05
		Y	-2192.7581	yy	63.08	xz	0.00	-7.9	-1.45
p=	1.00	Z	1707.0707	zz	63.08	yz	0.00	0.2	0.03
2	5	X	-9252.4643	xx	1392.48	xy	0.00	-5.5	-0.16
		Y	-13199.9415	yy	1392.48	xz	0.00	-32.1	-0.93
p=	1.00	Z	9056.6256	zz	1392.48	yz	0.00	-27.4	-0.80
2	6	X	-8575.4287	xx	1323.03	xy	0.00	162.4	2.03
		Y	-12760.7777	yy	1323.03	xz	0.00	-57.6	-0.72
p=	1.00	Z	9387.8149	zz	1323.03	yz	0.00	77.4	0.97

 ** END **

ANEXO “B” – A POLIGONAL PELO MÉTODO CLÁSSICO

Observações angulares horizontais e suas médias

Observações angulares verticais e suas médias

Distâncias brutas inclinadas observadas

Cálculo do índice de refração atmosférico

Aplicação do índice de refração às distâncias observadas

Redução das distâncias ao horizonte

Redução das distâncias ao nível médio do mar

Redução das distâncias ao elipsóide

Transporte de alturas geométricas

Transporte clássico de coordenadas geográficas-geodésicas

1. Tratamento das observações feitas com a Estação Total

B1. Angulares Horizontais

vértice	altura	HORIZONTALIS								
		observação						média/giro		
		g	m	s	g	m	s	g	m	s
FIANDEIRAS	1.59									
ADPM	1.47	139	16	5						
ADPM	1.47	319	16	2	g	m	s			
COQUEIRO	1.72	285	25	15	146	9	10	g	m	s
COQUEIRO	1.72	105	25	15	146	9	13	146	9	11.5
FIANDEIRAS	1.59									
ADPM	1.47	319	16	14						
ADPM	1.47	139	16	19	g	m	s			
COQUEIRO	1.72	105	25	28	146	9	14	g	m	s
COQUEIRO	1.72	285	25	34	146	9	15	146	9	14.5
FIANDEIRAS	1.59									
ADPM	1.47	319	16	8						
ADPM	1.47	139	16	3	g	m	s			
COQUEIRO	1.72	105	25	19	146	9	11	g	m	s
COQUEIRO	1.72	285	25	17	146	9	14	146	9	12.5
FIANDEIRAS	1.59									
ADPM	1.47	319	16	9						
ADPM	1.47	139	16	0	g	m	s			
COQUEIRO	1.72	105	25	21	146	9	12	g	m	s
COQUEIRO	1.72	285	25	15	146	9	15	146	9	13.5
média entre ADPM-FIANDEIRAS-COQUEIRO								146	9	13.0

vértice	altura	HORIZONTALIS								
		observação						média/giro		
		g	m	s	g	m	s	g	m	s
COQUEIRO	1.55									
FIANDEIRAS	1.65	1	29	27						
FIANDEIRAS	1.65	181	29	25	g	m	s			
FÁTIMA	1.62	185	3	10	183	33	43	g	m	s
FÁTIMA	1.62	5	3	9	183	33	44	183	33	43.5
COQUEIRO	1.55									
FIANDEIRAS	1.65	1	29	25						
FIANDEIRAS	1.65	181	29	29	g	m	s			
FÁTIMA	1.62	185	3	9	183	33	44	g	m	s
FÁTIMA	1.62	5	3	10	183	33	41	183	33	42.5
COQUEIRO	1.55									
FIANDEIRAS	1.65	1	29	29						
FIANDEIRAS	1.65	181	29	27	g	m	s			
FÁTIMA	1.62	185	3	12	183	33	43	g	m	s
FÁTIMA	1.62	5	3	13	183	33	46	183	33	44.5
COQUEIRO	1.55									
FIANDEIRAS	1.65	1	29	29						
FIANDEIRAS	1.65	181	29	25	g	m	s			
FÁTIMA	1.62	185	3	9	183	33	40	g	m	s
FÁTIMA	1.62	5	3	8	183	33	43	183	33	41.5
média entre FIANDEIRAS-COQUEIRO-FÁTIMA								183	33	43.0

vértice	altura	HORIZONTAIS								
		observação						média/giro		
		g	m	s	g	m	s	g	m	s
FÁTIMA	1.58									
COQUEIRO	1.71	225	49	5						
COQUEIRO	1.71	45	49	13	g	m	s			
PESQUEIRO	1.67	50	0	42	184	11	37	g	m	s
PESQUEIRO	1.67	230	0	47	184	11	34	184	11	35.5
FÁTIMA	1.58									
COQUEIRO	1.71	225	49	8						
COQUEIRO	1.71	45	49	2	g	m	s			
PESQUEIRO	1.67	50	0	43	184	11	35	g	m	s
PESQUEIRO	1.67	230	0	40	184	11	38	184	11	36.5
FÁTIMA	1.58									
COQUEIRO	1.71	225	49	8						
COQUEIRO	1.71	45	48	55	g	m	s			
PESQUEIRO	1.67	50	0	42	184	11	34	g	m	s
PESQUEIRO	1.67	230	0	29	184	11	34	184	11	34.0
FÁTIMA	1.58									
COQUEIRO	1.71	225	49	9						
COQUEIRO	1.71	45	49	5	g	m	s			
PESQUEIRO	1.67	50	0	45	184	11	36	g	m	s
PESQUEIRO	1.67	230	0	43	184	11	38	184	11	37.0
FÁTIMA	1.58									
COQUEIRO	1.71	225	49	12						
COQUEIRO	1.71	45	49	0	g	m	s			
PESQUEIRO	1.67	50	0	45	184	11	33	g	m	s
PESQUEIRO	1.67	230	0	36	184	11	36	184	11	34.5
FÁTIMA	1.58									
COQUEIRO	1.71	225	49	4						
COQUEIRO	1.71	45	49	1	g	m	s			
PESQUEIRO	1.67	50	0	40	184	11	36	g	m	s
PESQUEIRO	1.67	230	0	41	184	11	40	184	11	38.0
média entre COQUEIRO - FÁTIMA - PESQUEIRO								184	11	35.9

vértice	altura	HORIZONTAIS								
		observação						média/giro		
		g	m	s	g	m	s	g	m	s
PESQUEIRO	1.62									
FÁTIMA	1.61	225	0	1						
FÁTIMA	1.61	44	59	54	g	m	s			
POSTE	1.70	61	0	25	196	0	24	g	m	s
POSTE	1.70	241	0	23	196	0	29	196	0	26.5
PESQUEIRO	1.62									
FÁTIMA	1.61	225	0	2						
FÁTIMA	1.61	44	59	53	g	m	s			
POSTE	1.70	61	0	24	196	0	22	g	m	s
POSTE	1.70	241	0	19	196	0	26	196	0	24.0
PESQUEIRO	1.62									
FÁTIMA	1.61	225	0	10						
FÁTIMA	1.61	44	59	56	g	m	s			
POSTE	1.70	61	0	36	196	0	26	g	m	s
POSTE	1.70	241	0	20	196	0	24	196	0	25.0
PESQUEIRO	1.62									
FÁTIMA	1.61	225	1	15						
FÁTIMA	1.61	45	1	4	g	m	s			
POSTE	1.70	61	1	38	196	0	23	g	m	s
POSTE	1.70	241	1	29	196	0	25	196	0	24.0
PESQUEIRO	1.62									
FÁTIMA	1.61	225	1	14						
FÁTIMA	1.61	45	1	5	g	m	s			
POSTE	1.70	61	1	37	196	0	23	g	m	s
POSTE	1.70	241	1	33	196	0	28	196	0	25.5
PESQUEIRO	1.62									
FÁTIMA	1.61	225	1	14						
FÁTIMA	1.61	45	1	3	g	m	s			
POSTE	1.70	61	1	36	196	0	22	g	m	s
POSTE	1.70	241	1	26	196	0	23	196	0	22.5
média entre FATIMA-PESQUEIRO-POSTE								196	0	24.6

vértice	altura	HORIZONTAIS								
		observação						média/giro		
		g	m	s	g	m	s	g	m	s
POSTE	1.59									
PESQUEIRO	1.64	241	1	41						
PESQUEIRO	1.64	61	1	37	g	m	s			
PLACA	1.63	56	48	35	175	46	54	g	m	s
PLACA	1.63	236	48	27	175	46	50	175	46	52.0
POSTE	1.59									
PESQUEIRO	1.64	241	1	35						
PESQUEIRO	1.64	61	1	36	g	m	s			
PLACA	1.63	56	48	26	175	46	51	g	m	s
PLACA	1.63	236	48	25	175	46	49	175	46	50.0
POSTE	1.59									
PESQUEIRO	1.64	241	1	35						
PESQUEIRO	1.64	61	1	24	g	m	s			
PLACA	1.63	56	48	24	175	46	49	g	m	s
PLACA	1.63	236	48	17	175	46	53	175	46	51.0
POSTE	1.59									
PESQUEIRO	1.64	241	1	24						
PESQUEIRO	1.64	61	1	27	g	m	s			
PLACA	1.63	56	48	18	175	46	54	g	m	s
PLACA	1.63	236	48	19	175	46	52	175	46	53.0
média entre		PESQUEIRO - POSTE - PLACA						175	46	51.5

vértice	altura	HORIZONTALIS								
		observação						média/giro		
		g	m	s	g	m	s	g	m	s
PLACA	1.65									
POSTE	1.67	236	48	25						
POSTE	1.67	56	48	11	g	m	s			
VITORIAS	1.63	60	23	55	183	35	30	g	m	s
VITORIAS	1.63	240	23	42	183	35	31	183	35	30.5
PLACA	1.65									
POSTE	1.67	236	48	3						
POSTE	1.67	56	48	3	g	m	s			
VITORIAS	1.63	60	23	33	183	35	30	g	m	s
VITORIAS	1.63	240	23	30	183	35	27	183	35	28.5
PLACA	1.65									
POSTE	1.67	236	47	58						
POSTE	1.67	56	48	7	g	m	s			
VITORIAS	1.63	60	23	28	183	35	30	g	m	s
VITORIAS	1.63	240	23	33	183	35	26	183	35	28.0
PLACA	1.65									
POSTE	1.67	236	48	5						
POSTE	1.67	56	48	1	g	m	s			
VITORIAS	1.63	60	23	39	183	35	34	g	m	s
VITORIAS	1.63	240	23	32	183	35	31	183	35	32.5
PLACA	1.65									
POSTE	1.67	236	47	53						
POSTE	1.67	56	47	53	g	m	s			
VITORIAS	1.63	60	23	24	183	35	31	g	m	s
VITORIAS	1.63	240	23	19	183	35	26	183	35	28.5
média entre		POSTE - PLACA - VITORIAS						183	35	29.6

vértice	altura	HORIZONTAIS								
		observação						média/giro		
		g	m	s	g	m	s	g	m	s
VITORIAS	1.62									
PLACA	1.60	240	23	35						
PLACA	1.60	60	23	25	g	m	s			
SCANIA	1.65	56	50	17	176	26	42	g	m	s
SCANIA	1.65	236	50	11	176	26	46	176	26	44.0
VITORIAS	1.62									
PLACA	1.60	240	23	33						
PLACA	1.60	60	23	21	g	m	s			
SCANIA	1.65	56	50	14	176	26	41	g	m	s
SCANIA	1.65	236	50	5	176	26	44	176	26	42.5
VITORIAS	1.62									
PLACA	1.60	240	23	35						
PLACA	1.60	60	23	27	g	m	s			
SCANIA	1.65	56	50	16	176	26	41	g	m	s
SCANIA	1.65	236	50	10	176	26	43	176	26	42.0
VITORIAS	1.62									
PLACA	1.60	240	23	27						
PLACA	1.60	60	23	21	g	m	s			
SCANIA	1.65	56	50	8	176	26	41	g	m	s
SCANIA	1.65	236	50	5	176	26	44	176	26	42.5
média entre PLACA - VITORIAS - SCANIA		176	26	42.8						

vértice	altura	HORIZONTAIS								
		observação						média/giro		
		g	m	s	g	m	s	g	m	s
SCANIA	1.68									
VITORIAS	1.61	236	50	3						
VITORIAS	1.61	56	49	40	g	m	s			
SAU	1.60	60	26	46	183	36	43	g	m	s
SAU	1.60	240	26	21	183	36	41	183	36	42.0
SCANIA	1.68									
VITORIAS	1.61	236	49	55						
VITORIAS	1.61	56	49	59	g	m	s			
SAU	1.60	60	26	42	183	36	47	g	m	s
SAU	1.60	240	26	44	183	36	45	183	36	46.0
SCANIA	1.68									
VITORIAS	1.61	236	50	2						
VITORIAS	1.61	56	50	6	g	m	s			
SAU	1.60	60	26	45	183	36	43	g	m	s
SAU	1.60	240	26	47	183	36	41	183	36	42.0
SCANIA	1.68									
VITORIAS	1.61	236	50	2						
VITORIAS	1.61	56	50	4	g	m	s			
SAU	1.60	60	26	45	183	36	43	g	m	s
SAU	1.60	240	26	46	183	36	42	183	36	42.5
média entre VITORIAS - SCANIA - S A U		183	36	43.1						

vértice	altura	HORIZONTAIS								
		observação						média/giro		
		g	m	s	g	m	s	g	m	s
SAU	1.59									
SCANIA	1.61	240	26	38						
SCANIA	1.61	60	26	38	g	m	s			
FIBRAJATO	1.67	356	42	50	116	16	12	g	m	s
FIBRAJATO	1.67	176	42	49	116	16	11	116	16	11.5
SAU	1.59									
SCANIA	1.61	240	26	59						
SCANIA	1.61	60	26	41	g	m	s			
FIBRAJATO	1.67	356	43	10	116	16	11	g	m	s
FIBRAJATO	1.67	176	42	52	116	16	11	116	16	11.0
SAU	1.59									
SCANIA	1.61	240	26	46						
SCANIA	1.61	60	26	31	g	m	s			
FIBRAJATO	1.67	356	42	57	116	16	11	g	m	s
FIBRAJATO	1.67	176	42	43	116	16	12	116	16	11.5
SAU	1.59									
SCANIA	1.61	240	26	45						
SCANIA	1.61	60	26	30	g	m	s			
FIBRAJATO	1.67	356	42	55	116	16	10	g	m	s
FIBRAJATO	1.67	176	42	39	116	16	9	116	16	9.5
média entre		SCANIA - S A U - FIBRAJATO 116 16 10.9								

Resumo dos ângulos horizontais médios

re' / estação / vante	horizontal médio		
	g	m	s
ADPM - FIANDEIRAS - COQUEIRO	146	9	13.0
FIANDEIRAS - COQUEIRO - FÁTIMA	183	33	43.0
COQUEIRO - FÁTIMA - PESQUEIRO	184	11	35.9
FÁTIMA - PESQUEIRO - POSTE	196	0	24.6
PESQUEIRO - POSTE - PLACA	175	46	51.5
POSTE - PLACA - VITORIAS	183	35	29.6
PLACA - VITORIAS - SCANIA	176	26	42.8
VITORIAS - SCANIA - S A U	183	36	43.1
SCANIA - S A U - FIBRAJATO	116	16	10.9

B2. Angulares Verticais

vértice	altura	VERTICAIS								
		observação			S			média/giro		
		g	m	s	g	m	s	g	m	s
FIANDEIRAS	1.59									
ADPM	1.47	90	1	21						
ADPM	1.47	269	58	2	g	m	s	g	m	s
COQUEIRO	1.72	90	50	43	359	59	23	90	1	39.5
COQUEIRO	1.72	269	8	48	359	59	31	90	50	57.5
FIANDEIRAS	1.59									
ADPM	1.47	90	1	22						
ADPM	1.47	269	58	11	g	m	s	g	m	s
COQUEIRO	1.72	90	50	31	359	59	33	90	1	35.5
COQUEIRO	1.72	269	8	57	359	59	28	90	50	47.0
FIANDEIRAS	1.59									
ADPM	1.47	90	1	41						
ADPM	1.47	269	58	18	g	m	s	g	m	s
COQUEIRO	1.72	90	50	39	359	59	59	90	1	41.5
COQUEIRO	1.72	269	8	57	359	59	36	90	50	51.0
FIANDEIRAS	1.59									
ADPM	1.47	90	1	19						
ADPM	1.47	269	58	14	g	m	s	g	m	s
COQUEIRO	1.72	90	50	39	359	59	33	90	1	32.5
COQUEIRO	1.72	269	9	0	359	59	39	90	50	49.5
média de FIANDEIRAS para ADPM								90	1	37.3
média de FIANDEIRAS para COQUEIRO								90	50	51.3

vértice	altura	VERTICAIS								
		observação			S			média/giro		
		g	m	s	g	m	s	g	m	s
COQUEIRO	1.55									
FIANDEIRAS	1.65	89	9	43						
FIANDEIRAS	1.65	270	49	45	g	m	s	g	m	s
FÁTIMA	1.62	90	21	34	359	59	28	89	9	59.0
FÁTIMA	1.62	269	37	37	359	59	11	90	21	58.5
COQUEIRO	1.55									
FIANDEIRAS	1.65	89	9	37						
FIANDEIRAS	1.65	270	49	53	g	m	s	g	m	s
FÁTIMA	1.62	90	21	53	359	59	30	89	9	52.0
FÁTIMA	1.62	269	38	0	359	59	53	90	21	56.5
COQUEIRO	1.55									
FIANDEIRAS	1.65	89	9	49						
FIANDEIRAS	1.65	270	49	45	g	m	s	g	m	s
FÁTIMA	1.62	90	22	2	359	59	34	89	10	2.0
FÁTIMA	1.62	269	37	43	359	59	45	90	22	9.5
COQUEIRO	1.55									
FIANDEIRAS	1.65	89	9	47						
FIANDEIRAS	1.65	270	49	40	g	m	s	g	m	s
FÁTIMA	1.62	90	21	40	359	59	27	89	10	3.5
FÁTIMA	1.62	269	37	49	359	59	29	90	21	55.5
média de COQUEIRO para FIANDEIRAS								89	9	59.1
média de COQUEIRO para FÁTIMA								90	21	60.0

vértice	altura	VERTICAIS								
		observação			S			média/giro		
		g	m	s	g	m	s	g	m	s
FÁTIMA	1.58									
COQUEIRO	1.71	89	39	6						
COQUEIRO	1.71	270	20	16	g	m	s	g	m	s
PESQUEIRO	1.67	89	22	35	359	59	22	89	39	25.0
PESQUEIRO	1.67	270	37	0	359	59	35	89	22	47.5
FÁTIMA	1.58									
COQUEIRO	1.71	89	39	15						
COQUEIRO	1.71	270	20	16	g	m	s	g	m	s
PESQUEIRO	1.67	89	22	32	359	59	31	89	39	29.5
PESQUEIRO	1.67	270	36	57	359	59	29	89	22	47.5
FÁTIMA	1.58									
COQUEIRO	1.71	89	39	6						
COQUEIRO	1.71	270	20	16	g	m	s	g	m	s
PESQUEIRO	1.67	89	22	32	359	59	22	89	39	25.0
PESQUEIRO	1.67	270	36	51	359	59	23	89	22	50.5
FÁTIMA	1.58									
COQUEIRO	1.71	89	39	6						
COQUEIRO	1.71	270	20	20	g	m	s	g	m	s
PESQUEIRO	1.67	89	22	41	359	59	26	89	39	23.0
PESQUEIRO	1.67	270	36	55	359	59	36	89	22	53.0
FÁTIMA	1.58									
COQUEIRO	1.71	89	39	5						
COQUEIRO	1.71	270	20	12	g	m	s	g	m	s
PESQUEIRO	1.67	89	22	45	359	59	17	89	39	26.5
PESQUEIRO	1.67	270	36	50	359	59	35	89	22	57.5
FÁTIMA	1.58									
COQUEIRO	1.71	89	39	7						
COQUEIRO	1.71	270	20	17	g	m	s	g	m	s
PESQUEIRO	1.67	89	22	36	359	59	24	89	39	25.0
PESQUEIRO	1.67	270	36	48	359	59	24	89	22	54.0
média de FÁTIMA para		COQUEIRO			89	39	25.7			

vértice	altura	VERTICAIS								
		observação			S			média/giro		
		g	m	s	g	m	s	g	m	s
PESQUEIRO	1.62									
FÁTIMA	1.61	90	37	42						
FÁTIMA	1.61	269	21	37	g	m	s	g	m	s
POSTE	1.70	90	30	38	359	59	19	90	38	2.5
POSTE	1.70	269	28	41	359	59	19	90	30	58.5
PESQUEIRO	1.62									
FÁTIMA	1.61	90	37	44						
FÁTIMA	1.61	269	21	32	g	m	s	g	m	s
POSTE	1.70	90	30	36	359	59	16	90	38	6.0
POSTE	1.70	269	28	54	359	59	30	90	30	51.0
PESQUEIRO	1.62									
FÁTIMA	1.61	90	37	46						
FÁTIMA	1.61	269	21	38	g	m	s	g	m	s
POSTE	1.70	90	30	33	359	59	24	90	38	4.0
POSTE	1.70	269	28	54	359	59	27	90	30	49.5
PESQUEIRO	1.62									
FÁTIMA	1.61	90	37	41						
FÁTIMA	1.61	269	21	37	g	m	s	g	m	s
POSTE	1.70	90	30	25	359	59	18	90	38	2.0
POSTE	1.70	269	28	54	359	59	19	90	30	45.5
PESQUEIRO	1.62									
FÁTIMA	1.61	90	37	37						
FÁTIMA	1.61	269	21	38	g	m	s	g	m	s
POSTE	1.70	90	30	33	359	59	15	90	37	59.5
POSTE	1.70	269	28	54	359	59	27	90	30	49.5
PESQUEIRO	1.62									
FÁTIMA	1.61	90	37	33						
FÁTIMA	1.61	269	21	38	g	m	s	g	m	s
POSTE	1.70	90	30	24	359	59	11	90	37	57.5
POSTE	1.70	269	29	2	359	59	26	90	30	41.0
média de PESQUEIRO para		FÁTIMA			90	38	1.9			

vértice	altura	VERTICAIS								
		observação			S			média/giro		
		g	m	s	g	m	s	g	m	s
POSTE	1.59									
PESQUEIRO	1.64	89	29	30						
PESQUEIRO	1.64	270	29	45	g	m	s	g	m	s
PLACA	1.63	90	21	53	359	59	15	89	29	52.5
PLACA	1.63	269	37	2	359	58	55	90	22	25.5
POSTE	1.59									
PESQUEIRO	1.64	89	29	25						
PESQUEIRO	1.64	270	29	47	g	m	s	g	m	s
PLACA	1.63	90	21	52	359	59	12	89	29	49.0
PLACA	1.63	269	37	9	359	59	1	90	22	21.5
POSTE	1.59									
PESQUEIRO	1.64	89	29	25						
PESQUEIRO	1.64	270	29	43	g	m	s	g	m	s
PLACA	1.63	90	21	56	359	59	8	89	29	51.0
PLACA	1.63	269	37	13	359	59	9	90	22	21.5
POSTE	1.59									
PESQUEIRO	1.64	89	29	25						
PESQUEIRO	1.64	270	29	48	g	m	s	g	m	s
PLACA	1.63	90	21	50	359	59	13	89	29	48.5
PLACA	1.63	269	37	8	359	58	58	90	22	21.0
média de POSTE para PESQUEIRO								89	29	50.2
média de POSTE para PLACA								90	22	22.4

vértice	altura	VERTICAIS								
		observação			S			média/giro		
		g	m	s	g	m	s	g	m	s
PLACA	1.65									
POSTE	1.67	89	38	18						
POSTE	1.67	270	20	44	g	m	s	g	m	s
VITORIAS	1.63	90	18	10	359	59	2	89	38	47.0
VITORIAS	1.63	269	40	53	359	59	3	90	18	38.5
PLACA	1.65									
POSTE	1.67	89	38	30						
POSTE	1.67	270	21	14	g	m	s	g	m	s
VITORIAS	1.63	90	18	7	359	59	44	89	38	38.0
VITORIAS	1.63	269	41	3	359	59	10	90	18	32.0
PLACA	1.65									
POSTE	1.67	89	38	20						
POSTE	1.67	270	20	49	g	m	s	g	m	s
VITORIAS	1.63	90	18	5	359	59	9	89	38	45.5
VITORIAS	1.63	269	40	59	359	59	4	90	18	33.0
PLACA	1.65									
POSTE	1.67	89	38	16						
POSTE	1.67	270	20	58	g	m	s	g	m	s
VITORIAS	1.63	90	18	12	359	59	14	89	38	39.0
VITORIAS	1.63	269	40	59	359	59	11	90	18	36.5
PLACA	1.65									
POSTE	1.67	89	38	16						
POSTE	1.67	270	20	49	g	m	s	g	m	s
VITORIAS	1.63	90	18	10	359	59	5	89	38	43.5
VITORIAS	1.63	269	40	53	359	59	3	90	18	38.5
média de PLACA para POSTE								89	38	42.6
média de PLACA para VITORIAS								90	18	35.7

vértice	altura	VERTICAIS								
		observação			S			média/giro		
		g	m	s	g	m	s	g	m	s
VITORIAS	1.62									
PLACA	1.60	89	42	21						
PLACA	1.60	270	16	50	g	m	s	g	m	s
SCANIA	1.65	90	14	19	359	59	11	89	42	45.5
SCANIA	1.65	269	44	42	359	59	1	90	14	48.5
VITORIAS	1.62									
PLACA	1.60	89	42	27						
PLACA	1.60	270	16	52	g	m	s	g	m	s
SCANIA	1.65	90	14	24	359	59	19	89	42	47.5
SCANIA	1.65	269	44	52	359	59	16	90	14	46.0
VITORIAS	1.62									
PLACA	1.60	89	42	30						
PLACA	1.60	270	16	55	g	m	s	g	m	s
SCANIA	1.65	90	14	29	359	59	25	89	42	47.5
SCANIA	1.65	269	44	40	359	59	9	90	14	54.5
VITORIAS	1.62									
PLACA	1.60	89	42	20						
PLACA	1.60	270	16	58	g	m	s	g	m	s
SCANIA	1.65	90	14	30	359	59	18	89	42	41.0
SCANIA	1.65	269	44	41	359	59	11	90	14	54.5
média de VITORIAS para PLACA								89	42	45.4
média de VITORIAS para SCANIA								90	14	50.9

vértice	altura	VERTICAIS								
		observação			S			média/giro		
		g	m	s	g	m	s	g	m	s
SCANIA	1.68									
VITORIAS	1.61	89	46	45						
VITORIAS	1.61	270	12	25	g	m	s	g	m	s
SAU	1.60	91	0	50	359	59	10	89	47	10.0
SAU	1.60	268	58	45	359	59	35	91	1	2.5
SCANIA	1.68									
VITORIAS	1.61	89	46	38						
VITORIAS	1.61	270	12	33	g	m	s	g	m	s
SAU	1.60	91	0	50	359	59	11	89	47	2.5
SAU	1.60	268	58	47	359	59	37	91	1	1.5
SCANIA	1.68									
VITORIAS	1.61	89	46	47						
VITORIAS	1.61	270	12	42	g	m	s	g	m	s
SAU	1.60	91	1	6	359	59	29	89	47	2.5
SAU	1.60	268	58	30	359	59	36	91	1	18.0
SCANIA	1.68									
VITORIAS	1.61	89	46	50						
VITORIAS	1.61	270	12	30	g	m	s	g	m	s
SAU	1.60	91	1	25	359	59	20	89	47	10.0
SAU	1.60	268	58	49	360	0	14	91	1	18.0
média de SCANIA para VITORIAS								89	47	6.3
média de SCANIA para S A U								91	1	10

vértice	altura	VERTICAIS								
		observação			S			média/giro		
		g	m	s	g	m	s	g	m	s
SAU	1.59									
SCANIA	1.61	88	59	45						
SCANIA	1.61	270	59	48	g	m	s	g	m	s
FIBRAJATO	1.67	89	33	52	359	59	33	88	59	58.5
FIBRAJATO	1.67	270	25	26	359	59	18	89	34	13.0
SAU	1.59									
SCANIA	1.61	88	59	43						
SCANIA	1.61	270	59	47	g	m	s	g	m	s
FIBRAJATO	1.67	89	33	49	359	59	30	88	59	58.0
FIBRAJATO	1.67	270	25	28	359	59	17	89	34	10.5
SAU	1.59									
SCANIA	1.61	88	59	40						
SCANIA	1.61	270	59	32	g	m	s	g	m	s
FIBRAJATO	1.67	89	33	53	359	59	12	89	0	4.0
FIBRAJATO	1.67	270	25	16	359	59	9	89	34	18.5
SAU	1.59									
SCANIA	1.61	88	59	55						
SCANIA	1.61	270	59	35	g	m	s	g	m	s
FIBRAJATO	1.67	89	33	54	359	59	30	89	0	10.0
FIBRAJATO	1.67	270	25	21	359	59	15	89	34	16.5
média de S A U para		SCANIA						89	0	2.6
média de S A U para		FIBRAJATO						89	34	14.6

B3. Distâncias brutas inclinadas sem tratamento

vértice	altura	vertical			distância Inclinada	
		g	m	s	observação	media
FIANDEIRAS	1.59					
ADPM	1.47	90	1	21	1831.589	
ADPM	1.47	269	58	2	1831.589	1831.589
COQUEIRO	1.72	90	50	43	1666.593	
COQUEIRO	1.72	269	8	48	1666.595	1666.594
FIANDEIRAS	1.59					
ADPM	1.47	90	1	22	1831.591	
ADPM	1.47	269	58	11	1831.585	1831.588
COQUEIRO	1.72	90	50	31	1666.591	
COQUEIRO	1.72	269	8	57	1666.598	1666.595
FIANDEIRAS	1.59					
ADPM	1.47	90	1	41	1831.592	
ADPM	1.47	269	58	18	1831.591	1831.592
COQUEIRO	1.72	90	50	39	1666.597	
COQUEIRO	1.72	269	8	57	1666.591	1666.594
FIANDEIRAS	1.59					
ADPM	1.47	90	1	19	1831.589	
ADPM	1.47	269	58	14	1831.590	1831.590
COQUEIRO	1.72	90	50	39	1666.590	
COQUEIRO	1.72	269	9	0	1666.594	1666.592

vértice	altura	vertical			distância Inclinada	
		g	m	s	observação	media
COQUEIRO	1.55					
FIANDEIRAS	1.65	89	9	43	1666.606	
FIANDEIRAS	1.65	270	49	45	1666.607	1666.607
FÁTIMA	1.62	90	21	34	1805.607	
FÁTIMA	1.62	269	37	37	1805.613	1805.610
COQUEIRO	1.55					
FIANDEIRAS	1.65	89	9	37	1666.603	
FIANDEIRAS	1.65	270	49	53	1666.610	1666.607
FÁTIMA	1.62	90	21	53	1805.608	
FÁTIMA	1.62	269	38	0	1805.606	1805.607
COQUEIRO	1.55					
FIANDEIRAS	1.65	89	9	49	1666.603	
FIANDEIRAS	1.65	270	49	45	1666.602	1666.603
FÁTIMA	1.62	90	22	2	1805.613	
FÁTIMA	1.62	269	37	43	1805.604	1805.609
COQUEIRO	1.55					
FIANDEIRAS	1.65	89	9	47	1666.607	
FIANDEIRAS	1.65	270	49	40	1666.604	1666.606
FÁTIMA	1.62	90	21	40	1805.610	
FÁTIMA	1.62	269	37	49	1805.608	1805.609

vértice	altura	vertical			distância Inclínada	
		g	m	s	observação	media
FÁTIMA	1.58					
COQUEIRO	1.71	89	39	6	1805.620	
COQUEIRO	1.71	270	20	16	1805.618	1805.619
PESQUEIRO	1.67	89	22	35	1757.608	
PESQUEIRO	1.67	270	37	0	1757.613	1757.611
FÁTIMA	1.58					
COQUEIRO	1.71	89	39	15	1805.619	
COQUEIRO	1.71	270	20	16	1805.619	1805.619
PESQUEIRO	1.67	89	22	32	1757.603	
PESQUEIRO	1.67	270	36	57	1757.606	1757.605
FÁTIMA	1.58					
COQUEIRO	1.71	89	39	6	1805.621	
COQUEIRO	1.71	270	20	16	1805.622	1805.622
PESQUEIRO	1.67	89	22	32	1757.605	
PESQUEIRO	1.67	270	36	51	1757.604	1757.605
FÁTIMA	1.58					
COQUEIRO	1.71	89	39	6	1805.621	
COQUEIRO	1.71	270	20	20	1805.619	1805.620
PESQUEIRO	1.67	89	22	41	1757.608	
PESQUEIRO	1.67	270	36	55	1757.606	1757.607
FÁTIMA	1.58					
COQUEIRO	1.71	89	39	5	1805.618	
COQUEIRO	1.71	270	20	12	1805.619	1805.619
PESQUEIRO	1.67	89	22	45	1757.603	
PESQUEIRO	1.67	270	36	50	1757.603	1757.603
FÁTIMA	1.58					
COQUEIRO	1.71	89	39	7	1805.623	
COQUEIRO	1.71	270	20	17	1805.621	1805.622
PESQUEIRO	1.67	89	22	36	1757.606	
PESQUEIRO	1.67	270	36	48	1757.610	1757.608

vértice	altura	vertical			distância Inclínada	
		g	m	s	observação	media
PESQUEIRO	1.62					
FÁTIMA	1.61	90	37	42	1757.609	
FÁTIMA	1.61	269	21	37	1757.610	1757.610
POSTE	1.70	90	30	38	1488.302	
POSTE	1.70	269	28	41	1488.302	1488.302
PESQUEIRO	1.62					
FÁTIMA	1.61	90	37	44	1757.611	
FÁTIMA	1.61	269	21	32	1757.610	1757.611
POSTE	1.70	90	30	36	1488.303	
POSTE	1.70	269	28	54	1488.304	1488.304
PESQUEIRO	1.62					
FÁTIMA	1.61	90	37	46	1757.611	
FÁTIMA	1.61	269	21	38	1757.611	1757.611
POSTE	1.70	90	30	33	1488.304	
POSTE	1.70	269	28	54	1488.303	1488.304
PESQUEIRO	1.62					
FÁTIMA	1.61	90	37	41	1757.609	
FÁTIMA	1.61	269	21	37	1757.610	1757.610
POSTE	1.70	90	30	25	1488.306	
POSTE	1.70	269	28	54	1488.304	1488.305
PESQUEIRO	1.62					
FÁTIMA	1.61	90	37	37	1757.611	
FÁTIMA	1.61	269	21	38	1757.611	1757.611
POSTE	1.70	90	30	33	1488.304	
POSTE	1.70	269	28	54	1488.303	1488.304
PESQUEIRO	1.62					
FÁTIMA	1.61	90	37	33	1757.612	
FÁTIMA	1.61	269	21	38	1757.612	1757.612
POSTE	1.70	90	30	24	1488.303	
POSTE	1.70	269	29	2	1488.303	1488.303

vértice	altura	vertical			distância Inclinação	
		g	m	s	observação	media
POSTE	1.59					
PESQUEIRO	1.64	89	29	30	1488.330	
PESQUEIRO	1.64	270	29	45	1488.335	1488.333
PLACA	1.63	90	21	53	2041.467	
PLACA	1.63	269	37	2	2041.470	2041.469
POSTE	1.59					
PESQUEIRO	1.64	89	29	25	1488.328	
PESQUEIRO	1.64	270	29	47	1488.327	1488.328
PLACA	1.63	90	21	52	2041.469	
PLACA	1.63	269	37	9	2041.474	2041.472
POSTE	1.59					
PESQUEIRO	1.64	89	29	25	1488.327	
PESQUEIRO	1.64	270	29	43	1488.332	1488.330
PLACA	1.63	90	21	56	2041.466	
PLACA	1.63	269	37	13	2041.471	2041.469
POSTE	1.59					
PESQUEIRO	1.64	89	29	25	1488.328	
PESQUEIRO	1.64	270	29	48	1488.337	1488.333
PLACA	1.63	90	21	50	2041.465	
PLACA	1.63	269	37	8	2041.470	2041.468

vértice	altura	vertical			distância Inclinação	
		g	m	s	observação	media
PLACA	1.65					
POSTE	1.67	89	39	18	2041.479	
POSTE	1.67	270	19	44	2041.475	2041.477
VITORIAS	1.63	90	18	10	1680.901	
VITORIAS	1.63	269	40	53	1680.904	1680.903
PLACA	1.65					
POSTE	1.67	89	39	30	2041.477	
POSTE	1.67	270	20	14	2041.478	2041.478
VITORIAS	1.63	90	18	7	1680.897	
VITORIAS	1.63	269	41	3	1680.898	1680.898
PLACA	1.65					
POSTE	1.67	89	39	20	2041.475	
POSTE	1.67	270	19	49	2041.476	2041.476
VITORIAS	1.63	90	18	5	1680.899	
VITORIAS	1.63	269	40	59	1680.900	1680.900
PLACA	1.65					
POSTE	1.67	89	39	16	2041.475	
POSTE	1.67	270	19	58	2041.476	2041.476
VITORIAS	1.63	90	18	12	1680.896	
VITORIAS	1.63	269	40	59	1680.898	1680.897
PLACA	1.65					
POSTE	1.67	89	39	16	2041.472	
POSTE	1.67	270	19	49	2041.475	2041.474
VITORIAS	1.63	90	18	10	1680.901	
VITORIAS	1.63	269	40	53	1680.899	1680.900

vértice	altura	vertical			distância Inclinada	
		g	m	s	observação	media
VITORIAS	1.62					
PLACA	1.60	89	42	21	1680.899	
PLACA	1.60	270	16	50	1680.901	1680.900
SCANIA	1.65	90	14	19	1668.722	
SCANIA	1.65	269	44	42	1668.722	1668.722
VITORIAS	1.62					
PLACA	1.60	89	42	27	1680.901	
PLACA	1.60	270	16	52	1680.899	1680.900
SCANIA	1.65	90	14	24	1668.719	
SCANIA	1.65	269	44	52	1668.726	1668.723
VITORIAS	1.62					
PLACA	1.60	89	42	30	1680.895	
PLACA	1.60	270	16	55	1680.896	1680.896
SCANIA	1.65	90	14	29	1668.724	
SCANIA	1.65	269	44	40	1668.720	1668.722
VITORIAS	1.62					
PLACA	1.60	89	42	20	1680.898	
PLACA	1.60	270	16	58	1680.892	1680.895
SCANIA	1.65	90	14	30	1668.716	
SCANIA	1.65	269	44	41	1668.715	1668.716

vértice	altura	vertical			distância Inclinada	
		g	m	s	observação	media
SCANIA	1.68					
VITORIAS	1.61	89	46	45	1668.725	
VITORIAS	1.61	270	12	25	1668.722	1668.724
SAU	1.60	91	0	50	1247.312	
SAU	1.60	268	58	45	1247.314	1247.313
SCANIA	1.68					
VITORIAS	1.61	89	46	38	1668.726	
VITORIAS	1.61	270	12	33	1668.723	1668.725
SAU	1.60	91	0	50	1247.312	
SAU	1.60	268	58	47	1247.313	1247.313
SCANIA	1.68					
VITORIAS	1.61	89	46	47	1668.727	
VITORIAS	1.61	270	12	42	1668.724	1668.726
SAU	1.60	91	1	6	1247.313	
SAU	1.60	268	58	30	1247.309	1247.311
SCANIA	1.68					
VITORIAS	1.61	89	46	50	1668.726	
VITORIAS	1.61	270	12	30	1668.723	1668.725
SAU	1.60	91	1	25	1247.314	
SAU	1.60	268	58	49	1247.317	1247.316

vértice	altura	vertical			distância Inclinação	
		g	m	s	observação	media
SAU	1.59					
SCANIA	1.61	88	59	45	1247.323	
SCANIA	1.61	270	59	48	1247.326	1247.325
FIBRAJATO	1.67	89	33	52	872.428	
FIBRAJATO	1.67	270	25	26	872.427	872.428
SAU	1.59					
SCANIA	1.61	88	59	43	1247.324	
SCANIA	1.61	270	59	47	1247.322	1247.323
FIBRAJATO	1.67	89	33	49	872.426	
FIBRAJATO	1.67	270	25	28	872.432	872.429
SAU	1.59					
SCANIA	1.61	88	59	40	1247.323	
SCANIA	1.61	270	59	32	1247.324	1247.324
FIBRAJATO	1.67	89	33	53	872.425	
FIBRAJATO	1.67	270	25	16	872.423	872.424
SAU	1.59					
SCANIA	1.61	88	59	55	1247.323	
SCANIA	1.61	270	59	35	1247.324	1247.324
FIBRAJATO	1.67	89	33	54	872.424	
FIBRAJATO	1.67	270	25	21	872.430	872.427

resumo das distâncias **brutas inclinadas**

l a d o	extensão
média de ADPM-FIANDEIRAS	1831.590 m
média de FIANDEIRAS-COQUEIRO	1666.594 m
média de COQUEIRO-FIANDEIRAS	1666.605 m
média de COQUEIRO-FÁTIMA	1805.609 m
média de FÁTIMA-COQUEIRO	1805.620 m
média de FÁTIMA-PESQUEIRO	1757.606 m
média de PESQUEIRO-FÁTIMA	1757.611 m
média de PESQUEIRO-POSTE	1488.303 m
média de POSTE-PESQUEIRO	1488.331 m
média de POSTE-PLACA	2041.469 m
média de PLACA-POSTE	2041.476 m
média de PLACA-VITÓRIAS	1680.899 m
média de VITÓRIAS-PLACA	1680.898 m
média de VITÓRIAS-SCÂNIA	1668.721 m
média de SCÂNIA-VITÓRIAS	1668.725 m
média de SCÂNIA-S.A.U.	1247.313 m
média de S.A.U.-SCÂNIA	1247.324 m
média de S.A.U.-FIBRAJATO	872.427 m

B4. Distâncias tratadas do índice de refração e reduzidas ao nível médio dos mares

lado	dist.inclin.	t.s.	t.u.	pres.	H. R.	ew	e	corr	inclinada	angulo vertical			corrigida	horizontal	Alt.média	d.r.n.m.m.
	(m)	(° C)	(° C)	(hPa)	(%)			(ppm)	(D')(m)	g	m	s	(D)	média(m)	do lado(m)	(m)
FIANDEIRAS - ADPM	1831.590	32	27	915	69	47	33	41	1831.665	90	1	37.3	1831.665	1831.665	857.925	1831.418
FIANDEIRAS - COQUEIRO	1666.594	31	29	915	70	45	31	40	1666.661	90	50	51.3	1666.479	1666.486	845.722	1666.265
COQUEIRO - FIANDEIRAS	1666.605	30	26	917	71	42	30	39	1666.670	89	9	59.1	1666.494			
COQUEIRO - FÁTIMA	1805.609	30	26	917	71	42	30	39	1805.679	90	22	0.0	1805.642	1805.649	827.914	1805.414
FÁTIMA - COQUEIRO	1805.620	29	20	918	72	40	29	38	1805.688	89	39	25.7	1805.656			
FÁTIMA - PESQUEIRO	1757.606	29	20	918	72	40	29	38	1757.673	89	22	51.7	1757.570	1757.567	831.922	1757.338
PESQUEIRO - FÁTIMA	1757.611	25	18	917	76	31	24	35	1757.672	90	38	1.9	1757.564			
PESQUEIRO - POSTE	1488.303	25	18	917	76	31	24	35	1488.355	90	30	49.2	1488.295	1488.304	834.897	1488.109
POSTE - PESQUEIRO	1488.331	17	16	922	84	19	16	27	1488.371	89	29	50.2	1488.314			
POSTE - PLACA	2041.469	17	16	922	84	19	16	27	2041.524	90	22	22.4	2041.481	2041.490	821.802	2041.226
PLACA - POSTE	2041.476	22	19	924	79	26	21	31	2041.538	89	38	42.6	2041.499			
PLACA - VITÓRIAS	1680.899	22	19	924	79	26	21	31	1680.950	90	18	35.7	1680.925	1680.930	810.933	1680.715
VITÓRIAS - PLACA	1680.898	26	22	924	75	33	25	34	1680.955	89	42	45.4	1680.934			
VITÓRIAS - SCÂNIA	1668.721	26	22	924	75	33	25	34	1668.777	90	14	50.9	1668.761	1668.769	803.161	1668.559
SCÂNIA - VITÓRIAS	1668.725	32	27	925	69	47	33	38	1668.789	89	47	6.3	1668.777			
SCÂNIA - SAU	1247.313	32	27	925	69	47	33	38	1247.361	91	1	10.0	1247.164	1247.174	788.891	1247.020
SAU - SCÂNIA	1247.324	36	26	927	65	59	38	41	1247.375	89	0	2.6	1247.185			
SAU - FIBRAJATO	872.427	36	26	927	65	59	38	41	872.463	89	34	14.6	872.438	872.438	781.329	872.331

nota : a distância reduzida ao nível médio do mar foi utilizada *no lugar da reduzida ao nível médio* pois os lados são menores que 8 Km. conforme item 6.13 do capítulo 6

VISADA				Z			Hi	Hs	D'	Esf+Refr	Σ	ΔZ(")	Z^(dec)	fechamento	Z^ média	Δh	h	ponto	
													FIANDEIRAS			857.955			
FIANDEIRAS para ADPM				90	1	37.3	1.590	1.470	1831.665	0.229	0.349	39.35	90.0161					(wgs-84)	
FIANDEIRAS para COQUEIRO				90	50	51.3	1.590	1.720	1666.661	0.190	0.060	7.42	90.8455	180.008844	90.84109897	-24.466	833.489	Coqueiro	
COQUEIRO para FIANDEIRAS				89	9	59.1	1.550	1.650	1666.670	0.190	0.090	11.14	89.1633						
COQUEIRO para FÁTIMA				90	22	0.0	1.550	1.620	1805.679	0.223	0.153	17.48	90.3618	180.015999	90.35381201	-11.150	822.339	Fátima	
FÁTIMA para COQUEIRO				89	39	25.7	1.580	1.710	1805.688	0.223	0.093	10.62	89.6542						
FÁTIMA para PESQUEIRO				89	22	51.7	1.580	1.670	1757.673	0.211	0.121	14.24	89.3771						
PESQUEIRO para FÁTIMA				90	38	1.9	1.620	1.610	1757.672	0.211	0.221	25.97	90.6266	180.003721	89.3752131	19.166	841.505	Pesqueiro	
PESQUEIRO para POSTE				90	30	49.2	1.620	1.700	1488.355	0.152	0.072	9.91	90.5109						
POSTE para PESQUEIRO				89	29	50.2	1.590	1.640	1488.371	0.152	0.102	14.07	89.4934	180.004284	90.50877191	-13.216	828.289	Poste	
POSTE para PLACA				90	22	22.4	1.590	1.630	2041.52	0.285	0.245	24.76	90.3660						
PLACA para POSTE				89	38	42.6	1.650	1.670	2041.538	0.285	0.265	26.78	89.6377	180.003739	90.36414179	-12.975	815.314	Placa	
PLACA para VITORIAS				90	18	35.7	1.650	1.630	1680.950	0.193	0.213	26.17	90.3026						
VITORIAS para PLACA				89	42	45.4	1.620	1.600	1680.955	0.193	0.213	26.17	89.7053	180.007990	90.29865279	-8.762	806.552	Vitórias	
VITORIAS para SCANIA				90	14	50.9	1.620	1.650	1668.777	0.190	0.160	19.84	90.2420						
SCANIA para VITORIAS				89	47	6.3	1.680	1.610	1668.789	0.190	0.260	32.20	89.7761	180.018103	90.23291115	-6.784	799.769	Scânia	
SCANIA para S A U				91	1	10.0	1.680	1.600	1247.36	0.106	0.186	30.82	91.0109						
S A U para SCANIA				89	0	2.6	1.590	1.610	1247.375	0.106	0.086	14.29	88.9968	180.007636	91.00706484	-21.923	777.845	-	
S A U para FIBRAJATO				89	34	14.6	1.590	1.670	872.463	0.052	-0.03	-6.60	89.5726						
																S A U	778.014		
																	(wgs-84)		

D' = Distância inclinada

esfericidade e refração = $68398 \times 10^{-12} \times D'^2$

Z = Observação Zenital

Redução ao centro (ΔZ) = $(206265 \times \Sigma \times \sin Z) \times D'^2$

Z^x = Observação Zenital Centrada

fechamento=	0,05*raiz($\Sigma d'^2$)
extensão =	13.357 Km
tolerância =	0.238 m
erro =	-0.169 m

B5. Transporte das alturas geométricas

Dados de entrada :																					
parâmetros :	dados da estação :																				
<p>Elipsóide :</p> <p style="padding-left: 20px;">wgs-84</p> <p>a = 6378137.000</p> <p>b = 6356752.314</p> <p>$e^2 = 0.00669438$</p> <p>hemisfério :</p> <p style="padding-left: 20px;">sul</p>	<p>ponto : FIANDEIRAS</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">g</th> <th style="text-align: center;">m</th> <th style="text-align: center;">s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\phi =$</td> <td style="text-align: center;">21</td> <td style="text-align: center;">58</td> <td style="text-align: center;">31.60728</td> </tr> <tr> <td>$\lambda =$</td> <td style="text-align: center;">47</td> <td style="text-align: center;">56</td> <td style="text-align: center;">3.67236</td> </tr> </tbody> </table> <p>contra azimuth de:</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">g</th> <th style="text-align: center;">m</th> <th style="text-align: center;">s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FIANDEIRAS ADPM</td> <td style="text-align: center;">140</td> <td style="text-align: center;">22</td> <td style="text-align: center;">16.38209</td> </tr> </tbody> </table>		g	m	s	$\phi =$	21	58	31.60728	$\lambda =$	47	56	3.67236		g	m	s	FIANDEIRAS ADPM	140	22	16.38209
	g	m	s																		
$\phi =$	21	58	31.60728																		
$\lambda =$	47	56	3.67236																		
	g	m	s																		
FIANDEIRAS ADPM	140	22	16.38209																		
dados de campo :																					
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">dist.elipsoidal</th> <th style="text-align: left;">ângulo horizontal lido :</th> <th style="text-align: center;">g</th> <th style="text-align: center;">m</th> <th style="text-align: center;">s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding-left: 20px;">(m)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">1666.264</td> <td>FIANDEIRAS COQUEIRO</td> <td style="text-align: center;">146</td> <td style="text-align: center;">9</td> <td style="text-align: center;">13.0</td> </tr> </tbody> </table>		dist.elipsoidal	ângulo horizontal lido :	g	m	s	(m)					1666.264	FIANDEIRAS COQUEIRO	146	9	13.0					
dist.elipsoidal	ângulo horizontal lido :	g	m	s																	
(m)																					
1666.264	FIANDEIRAS COQUEIRO	146	9	13.0																	
Dados de saída :																					
<p>coeficientes:</p> <p>A= 0.032324189</p> <p>B= 0.032511532</p> <p>C= -1.028E-09</p> <p>D= -1.6918E-08</p> <p>E= 6.09262E-15</p> <p>F= -1.088E-07</p>	<p>azimute direto : 286 31 29.38209</p> <p>contra azimute: 106 31 50.21610</p> <p style="text-align: right;">- $\Delta\phi = -15.41104$</p> <p style="text-align: right;">+ $\Delta\lambda = 55.67991$</p> <p style="text-align: right;">- $\Delta\alpha = -20.83401$</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #f0f0f0; margin-top: 10px;"> <p style="text-align: center; margin: 0;">COQUEIRO</p> <p style="margin: 0;">latitude = -21 58 16.19624</p> <p style="margin: 0;">longitude = 47 56 59.35227</p> </div>																				

Dados de entrada :																					
parâmetros :	dados da estação :																				
<p>Elipsóide :</p> <p style="padding-left: 20px;">wgs-84</p> <p>a = 6378137.000</p> <p>b = 6356752.314</p> <p>$e^2 = 0.00669438$</p> <p>hemisfério :</p> <p style="padding-left: 20px;">sul</p>	<p>ponto : COQUEIRO</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">g</th> <th style="text-align: center;">m</th> <th style="text-align: center;">s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\phi =$</td> <td style="text-align: center;">21</td> <td style="text-align: center;">58</td> <td style="text-align: center;">16.19624</td> </tr> <tr> <td>$\lambda =$</td> <td style="text-align: center;">47</td> <td style="text-align: center;">56</td> <td style="text-align: center;">59.35227</td> </tr> </tbody> </table> <p>contra azimuth de:</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">g</th> <th style="text-align: center;">m</th> <th style="text-align: center;">s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>COQUEIRO FIANDEIRAS</td> <td style="text-align: center;">106</td> <td style="text-align: center;">31</td> <td style="text-align: center;">50.21610</td> </tr> </tbody> </table>		g	m	s	$\phi =$	21	58	16.19624	$\lambda =$	47	56	59.35227		g	m	s	COQUEIRO FIANDEIRAS	106	31	50.21610
	g	m	s																		
$\phi =$	21	58	16.19624																		
$\lambda =$	47	56	59.35227																		
	g	m	s																		
COQUEIRO FIANDEIRAS	106	31	50.21610																		
dados de campo :																					
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">dist.elipsoidal</th> <th style="text-align: left;">ângulo horizontal lido :</th> <th style="text-align: center;">g</th> <th style="text-align: center;">m</th> <th style="text-align: center;">s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding-left: 20px;">(m)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">1805.414</td> <td>COQUEIRO FÁTIMA</td> <td style="text-align: center;">183</td> <td style="text-align: center;">33</td> <td style="text-align: center;">43.0</td> </tr> </tbody> </table>		dist.elipsoidal	ângulo horizontal lido :	g	m	s	(m)					1805.414	COQUEIRO FÁTIMA	183	33	43.0					
dist.elipsoidal	ângulo horizontal lido :	g	m	s																	
(m)																					
1805.414	COQUEIRO FÁTIMA	183	33	43.0																	
Dados de saída :																					
<p>coeficientes:</p> <p>A= 0.032324194</p> <p>B= 0.032511549</p> <p>C= -1.0278E-09</p> <p>D= -1.6915E-08</p> <p>E= 6.09176E-15</p> <p>F= -1.3007E-07</p>	<p>azimute direto : 290 5 33.21610</p> <p>contra azimute : 110 5 55.32385</p> <p style="text-align: right;">- $\Delta\phi = -20.16753$</p> <p style="text-align: right;">+ $\Delta\lambda = 59.09668$</p> <p style="text-align: right;">- $\Delta\alpha = -22.10775$</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #f0f0f0; margin-top: 10px;"> <p style="text-align: center; margin: 0;">FÁTIMA</p> <p style="margin: 0;">latitude = -21 57 56.02871</p> <p style="margin: 0;">longitude = 47 57 58.44895</p> </div>																				

B6. Transporte de coordenadas geográficas-geodésicas pelo método clássico

Dados de entrada :				
parâmetros :		dados da estação :		
Elipsóide :	ponto : FÁTIMA			
wgs-84	g	m	s	
a = 6378137.000	ϕ =	21	57	56.02871
b = 6356752.314	λ =	47	57	58.44895
$e^2 = 0.00669438$				
hemisfério :	contra azimute de:	g	m	s
sul	FÁTIMA COQUEIRO	110	5	55.32385
dados de campo :				
dist.elipsoidal				
(m)	ângulo horizontal lido :	g	m	s
1757.338	FÁTIMA PESQUEIRO	184	11	35.9
Dados de saída :				
coeficientes:				
A= 0.032324202	azimute direto :	294	17	31.22385
B= 0.032511571	contra azimute :	114	17	52.10225
C= -1.0275E-09				
D= -1.6912E-08	- $\Delta\phi$ = -23.50677			
E= 6.09063E-15	+ $\Delta\lambda$ = 55.82514			
F= -1.0962E-07	- $\Delta\alpha$ = -20.87840			
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> PESQUEIRO latitude = -21 57 32.52194 longitude = 47 58 54.27410 </div>				

Dados de entrada :				
parâmetros :		dados da estação :		
Elipsóide :	ponto : PESQUEIRO			
wgs-84	g	m	s	
a = 6378137.000	ϕ =	21	57	32.52194
b = 6356752.314	λ =	47	58	54.27410
$e^2 = 0.00669438$				
hemisfério :	contra azimute de:	g	m	s
sul	PESQUEIRO FÁTIMA	114	17	52.10225
dados de campo :				
dist.elipsoidal				
(m)	ângulo horizontal lido :	g	m	s
1488.109	PESQUEIRO POSTE	196	0	24.6
Dados de saída :				
coeficientes:				
A= 0.032324210	azimute direto :	310	18	16.70225
B= 0.032511597	contra azimute :	130	18	31.48908
C= -1.0271E-09				
D= -1.6908E-08	- $\Delta\phi$ = -31.29653			
E= 6.08932E-15	+ $\Delta\lambda$ = 39.55039			
F= -3.8972E-08	- $\Delta\alpha$ = -14.78683			
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> POSTE latitude = -21 57 1.22541 longitude = 47 59 33.82449 </div>				

Dados de entrada :

parâmetros : dados da estação :

Elipsóide :	ponto :	POSTE		
wgs-84		g	m	s
a = 6378137.000	$\phi =$	21	57	1.22541
b = 6356752.314	$\lambda =$	47	59	33.82449
$e^2 = 0.00669438$				
hemisfério :	contra azimute de:	g	m	s
sul	POSTE PESQUEIRO	130	18	31.48908

dados de campo :

dist.elipsoidal				
(m)	ângulo horizontal lido :	g	m	s
2041.226	POSTE PLACA	175	46	51.5

Dados de saída :

coeficientes:				
A= 0.032324222	azimute direto :	306	5	22.98908
B= 0.032511631	contra azimute :	126	5	44.47092
C= -1.0267E-09				
D= -1.6902E-08				- $\Delta\phi =$ -39.09438
E= 6.08758E-15				+ $\Delta\lambda =$ 57.48188
F= -1.1961E-07				- $\Delta\alpha =$ -21.48184

PLACA

latitude = -21 56 22.13103
longitude = 48 0 31.30637

Dados de entrada :

parâmetros : dados da estação :

Elipsóide :	ponto :	PLACA		
wgs-84		g	m	s
a = 6378137.000	$\phi =$	21	56	22.13103
b = 6356752.314	$\lambda =$	48	0	31.30637
$e^2 = 0.00669438$				
hemisfério :	contra azimute de:	g	m	s
sul	PLACA POSTE	126	5	44.47092

dados de campo :

dist.elipsoidal				
(m)	ângulo horizontal lido :	g	m	s
1680.715	PLACA VITÓRIAS	183	35	29.6

Dados de saída :

coeficientes:				
A= 0.032324236	azimute direto :	309	41	14.07092
B= 0.032511674	contra azimute :P104	129	41	30.90623
C= -1.0261E-09				
D= -1.6896E-08				- $\Delta\phi =$ -34.89647
E= 6.08541E-15				+ $\Delta\lambda =$ 45.06860
F= -5.7633E-08				- $\Delta\alpha =$ -16.83531

VITÓRIAS

latitude = -21 55 47.23456
longitude = 48 1 16.37497

Dados de entrada :

parâmetros : **dados da estação :**

Elipsóide :	ponto :	VITÓRIAS		
wgs-84		g	m	s
a = 6378137.000	$\phi =$	21	55	47.23456
b = 6356752.314	$\lambda =$	48	1	16.37497
$e^2 = 0.00669438$				
hemisfério :	contra azimute de:	g	m	s
sul	VITÓRIAS PLACA	129	41	30.90623

dados de campo :

dist.elipsoidal				
(m)	ângulo horizontal lido :	g	m	s
1668.559	VITÓRIAS SCÂNIA	176	26	42.8

Dados de saída :

coeficientes:				
A= 0.032324249	azimute direto :	306	8	13.70623
B= 0.032511712	contra azimute :	126	8	31.23838
C= -1.02562E-09				
D= -1.68897E-08				- $\Delta\phi =$ -31.99284
E= 6.08347E-15				+ $\Delta\lambda =$ 46.95295
F= -6.51505E-08				- $\Delta\alpha =$ -17.53215

SCÂNIA

latitude =	-21	55	15.24172
longitude =	48	2	3.32792

O transporte das coordenadas geográficas-geodésicas, desenvolvido nesta poligonal, identificou os seguintes erros de fechamento :

angular :	-6,68 segundos
projeção ϕ :	0.045 m
projeção λ :	0.099 m
total :	0.109 m
altimétrica :	-0.169 m

Possuindo a poligonal a seguinte geometria :

número de vértices :	7
perímetro :	13354,646 m

Estando portanto a poligonal com as seguintes precisões :

angular :	2,5" raiz(n)
linear :	1 : 122.519
altimétrica :	0,004m* raiz(k)

ANEXO “C” – A POLIGONAL POR GPS

Caderneta de campo

Relatórios de pós-processamento dos vetores

Relatório do ajustamento dos vetores

C1. Vetores observados na Poligonal – “Meridiano 48”

CADERNETA DE CAMPO

data	horário local		arquivo	vértice	antena (m)	pressão (hpa)	t.seca (°C)	t.úmido (°C)
01/10/2000	16:35	17:3	3344	SAU	1.71	924	30	23
			3345	FIANDEIRAS	1.77	916	29	23

data	horário local		arquivo	vértice	antena (m)	pressão (hpa)	t.seca (°C)	t.úmido (°C)
01/11/2000	7:25	8:25	3352	FIANDEIRAS	1.55	914	19	17
			3353	COQUEIROS	1.70	916	21	18
	8:40	9:40	3354	COQUEIROS	1.70	918	25	21
			3355	FÁTIMA	1.61	918	22	19
	10:50	11:5	3356	FÁTIMA	1.61	918	24	22
			3357	PESQUEIRO	1.73	917	26	21
	12:05	13:0	3358	PESQUEIRO	1.73	917	32	26
			3359	POSTE	1.63	917	29	22
	14:40	15:4	3360	POSTE	1.63	915	34	23
			3361	PLACA	1.69	917	35	24

data	horário local		arquivo	vértice	antena (m)	pressão (hpa)	t.seca (°C)	t.úmido (°C)
03/11/2000	7:15	8:15	3362	PLACA	1.71	915	21	19
			3363	VITÓRIAS	1.64	916	20	19
	8:35	9:35	3364	VITÓRIAS	1.64	916	22	17
			3365	SCÂNIA	1.69	917	25	21
	10:10	11:1	3366	SCÂNIA	1.69	917	28	24
			3367	SAU	1.63	920	29	22

C2. Relatórios do pós processamento dos vetores observados na Poligonal

GPS Static Survey Calculation Report-Sokkia Spectrum Survey Version1.20A Build12
2000-11-02 20:02:12

Fixed Ambiguity Double Difference Solution

Observations Used 1102

Observations 1115

Search Method Ratio 4.85

Fixed Ambiguity

2-9 -71494.0000 cycle
4-9 -22156.0000 cycle
5-9 -7844896.0000 cycle
7-9 5756209.0000 cycle
24-9 2069.0000 cycle
26-9 -84538.0000 cycle

rms 0.004 meters

WGS84

FIANDEIRAS

Latitude -21° 58' 31.60726"

Longitude -47° 56' 03.67259"

Ellip. Ht. 858.0900

ECEF Cartesian

Fixed Point

X 3965151.594m

Y -4393613.125m

Z -2372212.940m

COQUEIRO

-21° 58' 16.19633"

-47° 56' 59.35215"

833.6450

Solution Point

Delta

3964069.056m -1082.538m

-4394798.213m -1185.089m

-2371764.154m 448.786m

Chord Length 1666.653m

Azimuth 286° 31' 29.3761"

Standard Deviation

Variance/Covariance [m²]

	X	Y	Z
X	3.432e-07	-2.972e-07	-1.682e-07
Y		4.271e-07	1.913e-07
Z			1.935e-07

	WGS84	Local Datum
X	0.0006m	Lat. 0.0003m
Y	0.0007m	Lon. 0.0003m
Z	0.0004m	Ht. 0.0009m

GPS Static Survey Calculation Report-Sokkia Spectrum Survey Version1.20A Build12
2000-11-02 20:11:35

Fixed Ambiguity Double Difference Solution

Observations Used 1252

Observations 1252

Search Method Ratio 2.98

Fixed Ambiguity

4-9 -242837.0000 cycle
5-9 3322774.0000 cycle
6-9 511240.0000 cycle
10-9 -456049.0000 cycle
24-9 50629.0000 cycle
30-9 -3327550.0000 cycle

rms 0.007 meters

WGS84

COQUEIRO

Latitude -21° 58' 16.19633"

Longitude -47° 56' 59.35215"

Ellip. Ht. 833.6450

ECEF Cartesian

Fixed Point

X 3964069.056m

Y -4394798.213m

Z -2371764.154m

FÁTIMA

-21° 57' 56.02879"

-47° 57' 58.44855"

822.4978

Solution Point

Delta

3962958.228m -1110.828m

-4396098.473m -1300.260m

-2371184.630m 579.523m

Chord Length 1805.675m

Azimuth 290° 05' 33.6475"

Standard Deviation

Variance/Covariance [m²]

	X	Y	Z
X	4.345e-07	-3.889e-07	-1.915e-07
Y		8.461e-07	3.553e-07
Z			5.633e-07

	WGS84	Local Datum
X	0.0007m	Lat. 0.0006m
Y	0.0009m	Lon. 0.0005m
Z	0.0008m	Ht. 0.0011m

GPS Static Survey Calculation Report-Sokkia Spectrum Survey Version1.20A Build12

2000-11-02 20:19:05

Fixed Ambiguity Double Difference Solution

Observations 1147

Observations Used 1140

Search Method Ratio 8.89

Fixed Ambiguity

6-5 -6573.0000 cycle
 9-5 -6416.0000 cycle
 10-5 2924.0000 cycle
 17-5 -10647.0000 cycle
 24-5 -3631650.0000 cycle
 30-5 -2001.0000 cycle
rms 0.005 meters

WGS84

FÁTIMA

PESQUEIRO

Latitude -21° 57' 56.02879"

-21° 57' 32.52182"

Longitude -47° 57' 58.44855"

-47° 58' 54.27366"

Ellip. Ht. 822.4978

841.6882

ECEF Cartesian

Fixed Point

Solution Point

Delta

X 3962958.228m

3961961.231m

-996.997m

Y -4396098.473m

-4397385.025m

-1286.551m

Z -2371184.631m

-2370521.157m

663.474m

Chord Length

1757.673m

Azimuth 294° 17' 32.0122"

Variance/Covariance [m²]

Standard Deviation

	X	Y	Z
X	6.888e-07	-4.675e-07	-2.189e-07
Y		5.762e-07	2.125e-07
Z			2.561e-07

	WGS84	Local Datum
X	0.0008m	Lat. 0.0004m
Y	0.0008m	Lon. 0.0004m
Z	0.0005m	Ht. 0.0011m

GPS Static Survey Calculation Report-Sokkia Spectrum Survey Version1.20A Build12

2000-11-02 20:25:06

Fixed Ambiguity Double Difference Solution

Observations 1300

Observations Used 1299

Search Method Ratio 4.85

Fixed Ambiguity

5-30 -24130.0000 cycle
 6-30 -20109.0000 cycle
 10-30 -9450.0000 cycle
 15-30 -1923333.0000 cycle
 17-30 -30259.0000 cycle
 23-30 -591981.0000 cycle
 25-30 3036.0000 cycle
rms 0.009 meters

WGS84

PESQUEIRO

POSTE

Latitude -21° 57' 32.52182"

-21° 57' 01.22520"

Longitude -47° 58' 54.27366"

-47° 59' 33.82398"

Ellip. Ht. 841.6882

828.4690

ECEF Cartesian

Fixed Point

Solution Point

Delta

X 3961961.231m

3961350.661m

-610.570m

Y -4397385.025m

-4398402.985m

-1017.960m

Z -2370521.157m

-2369623.278m

897.879m

Chord Length

1488.363m

Azimuth 310° 18' 17.2746"

Variance/Covariance [m²]

Standard Deviation

	X	Y	Z
X	9.821e-07	-5.834e-07	-3.318e-07
Y		1.191e-06	3.649e-07
Z			5.188e-07

	WGS84	Local Datum
X	0.0010m	Lat. 0.0006m
Y	0.0011m	Lon. 0.0007m
Z	0.0007m	Ht. 0.0014m

GPS Static Survey Calculation Report-Sokkia Spectrum Survey Version1.20A Build12

2000-11-02 20:31:01

Fixed Ambiguity Double Difference Solution

Observations 1573

Observations Used 1573

Search Method Ratio 5.81

Fixed Ambiguity

3-23 2580987.0000 cycle
 6-23 3707.0000 cycle
 15-23 -3763.0000 cycle
 17-23 7699.0000 cycle
 21-23 -7099.0000 cycle
 22-23 -6918.0000 cycle
 28-23 1328258.0000 cycle
 29-23 931659.0000 cycle

rms 0.009 meters

WGS84

POSTE

Latitude -21° 57' 01.22520"
 Longitude -47° 59' 33.82398"
 Ellip. Ht. 828.4690

ECEF Cartesian

Fixed Point

X 3961350.661m
 Y -4398402.985m
 Z -2369623.278m

PLACA

-21° 56' 22.13038"
-48° 00' 31.30557"
815.5632

Solution Point

Delta

3960417.445m -933.216m
 -4399831.909m -1428.924m
 -2368502.952m 1120.326m
 Chord Length 2041.531m
 Azimuth 306° 05' 24.7189"

Variance/Covariance [m²]

Standard Deviation

	X	Y	Z	WGS84	Local Datum
X	1.204e-06	-1.036e-06	-6.496e-07	X 0.0011m	Lat. 0.0006m
Y		1.460e-06	6.475e-07	Y 0.0012m	Lon. 0.0005m
Z			7.592e-07	Z 0.0009m	Ht. 0.0017m

GPS Static Survey Calculation Report-Sokkia Spectrum Survey Version1.20A Build12

2000-11-03 13:09:14

Fixed Ambiguity Double Difference Solution

Observations 1203

Observations Used 1201

Search Method Ratio 30.37

Fixed Ambiguity

2-9 888670.0000 cycle
 4-9 251448.0000 cycle
 5-9 203056.0000 cycle
 7-9 1078256.0000 cycle
 24-9 -56575.0000 cycle
 26-9 852341.0000 cycle

rms 0.003 meters

WGS84

PLACA

Latitude -21° 56' 22.13038"
 Longitude -48° 00' 31.30557"
 Ellip. Ht. 815.5632

ECEF Cartesian

Fixed Point

X 3960417.445m
 Y -4399831.909m
 Z -2368502.952m

VITÓRIAS

-21° 55' 47.23263"
-48° 01' 16.37462"
806.7927

Solution Point

Delta

3959718.763m -698.683m
 -4400989.222m -1157.313m
 -2367503.859m 999.092m
 Chord Length 1680.987m
 Azimuth 309° 41' 16.8773"

Variance/Covariance [m²]

Standard Deviation

	X	Y	Z	WGS84	Local Datum
X	1.808e-07	-1.588e-07	-9.962e-08	X 0.0004m	Lat. 0.0002m
Y		2.148e-07	1.075e-07	Y 0.0005m	Lon. 0.0002m
Z			1.073e-07	Z 0.0003m	Ht. 0.0007m

GPS Static Survey Calculation Report-Sokkia Spectrum Survey Version1.20A Build12

2000-11-03 13:15:53

Fixed Ambiguity Double Difference Solution

Observations

1224

Observations Used 1217

Search Method Ratio

14.74

Fixed Ambiguity

4-9 47871.0000 cycle
 5-9 -23241.0000 cycle
 6-9 -329246.0000 cycle
 10-9 -2234146.0000 cycle
 24-9 -5371.0000 cycle
 30-9 -1233520.0000 cycle
rms 0.003 meters

WGS84

VITÓRIAS

SCÂNIA

Latitude -21° 55' 47.23263"

-21° 55' 15.23980"

Longitude -48° 01' 16.37462"

-48° 02' 03.32575"

Ellip. Ht. 806.7927

800.0234

ECEF Cartesian

Fixed Point

Solution Point

Delta

X 3959718.763m

3958958.416m

-760.347m

Y -4400989.222m

-4402159.014m

-1169.791m

Z -2367503.859m

-2366588.351m

915.508m

Chord Length

1668.741m

Azimuth 306° 08' 17.5958"

Variance/Covariance [m²]

Standard Deviation

	X	Y	Z
X	1.211e-07	-1.074e-07	-5.128e-08
Y		2.292e-07	9.633e-08
Z			1.513e-07

	WGS84	Local Datum
X	0.0003m	Lat. 0.0003m
Y	0.0005m	Lon. 0.0003m
Z	0.0004m	Ht. 0.0006m

C3. Relatório do ajustamento dos vetores observados na Poligonal

GPS 3D Network Adjustment - SOKKIA GSPnetA Ver.1.03

Date: 2000-11-24

Title

POLIGONAL GPS - MERIDIANO 48

Sub Title ..

COM CORREÇÃO DE IONOSFERA

Options Used

- Adjustment Type constrained
 - Computation Level .. upto inversion

- Additional Parameters:

- def. of vertical (N-S) not used
 - def. of vertical (E_W) not used
 - horizontal rotation not used
 - scale difference not used

- Iteration Criteria:

- maximum iteration number 5
 - maximum coordinate diff. 0.0010 m

- Reference Ellipsoid:

```

- name           WGS-84
- major axis     6378137.000000000 m
- flattening     1 / 298.257223563000

```

- Weight Options:

```

- use modeled standard deviations
- ignore individual weighting scale

```

- Modeled Standard Deviations:

```

- GPS_X_comp.    5.0 mm + 2.0 ppm
- GPS_Y_comp.    5.0 mm + 2.0 ppm
- GPS_Z_comp.    5.0 mm + 2.0 ppm

```

- Transformation to Map Coord. System ... yes

```

- system name           U.T.M.
- projection type        Transverse Mercator
- zone number           23

- origin: latitude      0  0  0.00000 N
              longitude   45  0  0.00000 W
              false Northing 10000000.000
              false Easting  500000.000
              scale        0.9996000000

```

Summary of Adjustment Statistics

```

- Number of Stations: hori. fixed & height fixed      2
                      hori. fixed & height free       0
                      hori. free  & height fixed       0
                      hori. free  & height free       7
                      -----
                              total                    9

- Number of Unknowns: latitude                      7
                      longitude                      7
                      height                         7
                      additional parameter            0
                      -----
                              (a) total                21

- Number of Observations: GPS_X_comp.                8
                          GPS_Y_comp.                8
                          GPS_Z_comp.                8
                          -----
                              (b) total                24

- Number of Rank Defect          (c)                0

- Number of Total Redundancy     (b) + (c) - (a)      3

- Iteration Used                2

```

- Additional Parameters:

Parameter	Status	Value	S.D.
def. of vertical (N-S)	not used		
def. of vertical (E-W)	not used		
horizontal rotation	not used		
scale difference	not used		

- Standard Deviations of Unit Weight:

Data type	Number	PVV	Redundancy	S.D.	Bound. Value
GPS_X_comp.	8	1.74e+000	1.00e+000	1.32	
GPS_Y_comp.	8	1.49e-001	1.00e+000	0.39	
GPS_Z_comp.	8	5.07e-003	1.00e+000	0.07	

total	24	1.89e+000	3	0.79	[0.27 - 1.77]

Input Coordinates and Corrections

Point No.	(Stn.Name)	Input Coordinates			Corrections Hori.Vector		
		°	'	"	"	m	m
3		B	21	58	31.60728 S	fixed (	0.000)
(	FIANDEIRAS)	L	47	56	3.67236 W	fixed (	0.000)
		H			857.955 m	fixed	0.000
6		B	21	54	49.31161 S	fixed (	0.000)
(	S.A.U.)	L	48	2	36.72682 W	fixed (	0.000)
		H			778.014 m	fixed	0.000
7		B	21	58	16.19633 S	-0.00001 (	-0.000)
(	COQUEIRO)	L	47	56	59.35215 W	0.00032 (	0.009)
		H			833.645 m		-0.134
8		B	21	57	56.02879 S	0.00000 (	0.000)
(	FATIMA)	L	47	57	58.44855 W	0.00042 (	0.012)
		H			822.498 m		-0.133
9		B	21	57	32.52182 S	0.00001 (	0.000)
(	PESQUEIRO)	L	47	58	54.27366 W	0.00051 (	0.015)
		H			841.688 m		-0.131
10		B	21	57	1.22520 S	0.00002 (	0.001)
(	POSTE)	L	47	59	33.82398 W	0.00059 (	0.017)
		H			828.469 m		-0.130
11		B	21	56	22.13038 S	0.00004 (	0.001)
(	PLACA)	L	48	0	31.30557 W	0.00069 (	0.020)
		H			815.563 m		-0.128
12		B	21	55	47.23263 S	0.00006 (	0.002)
(	VITORIAS)	L	48	1	16.37462 W	0.00078 (	0.022)
		H			806.793 m		-0.128
13		B	21	55	15.23980 S	0.00007 (	0.002)
(	SCANIA)	L	48	2	3.32575 W	0.00087 (	0.025)
		H			800.023 m		-0.126

Adjusted Coordinates and Standard Deviations

WGS-84									
Point No.	(Stn.Name)	Adjusted Coordinates			S.D.		95% Ellipse		
		ø	'	"		0.001sec. mm		mm	
3	(FIANDEIRAS)	B	21	58	31.60728	S	fixed (	0.0)	major 0.0
		L	47	56	3.67236	W	fixed (	0.0)	azm. 0deg.
		H			857.955	m	fixed	0.0	minor 0.0
6	(S.A.U.)	B	21	54	49.31161	S	fixed (	0.0)	major 0.0
		L	48	2	36.72682	W	fixed (	0.0)	azm. 0deg.
		H			778.014	m	fixed	0.0	minor 0.0
7	(COQUEIRO)	B	21	58	16.19634	S	0.15 (	4.5)	major 10.9
		L	47	56	59.35183	W	0.16 (	4.5)	azm. 90deg.
		H			833.511	m		4.5	minor 10.9
8	(FATIMA)	B	21	57	56.02879	S	0.19 (	5.9)	major 14.4
		L	47	57	58.44813	W	0.21 (	5.9)	azm. 92deg.
		H			822.365	m		5.9	minor 14.4
9	(PESQUEIRO)	B	21	57	32.52181	S	0.21 (	6.6)	major 16.1
		L	47	58	54.27315	W	0.23 (	6.6)	azm. 91deg.
		H			841.557	m		6.6	minor 16.1
10	(POSTE)	B	21	57	1.22518	S	0.22 (	6.8)	major 16.6
		L	47	59	33.82339	W	0.24 (	6.8)	azm. 89deg.
		H			828.339	m		6.8	minor 16.6
11	(PLACA)	B	21	56	22.13034	S	0.21 (	6.5)	major 15.9
		L	48	0	31.30488	W	0.23 (	6.5)	azm. 90deg.
		H			815.435	m		6.5	minor 15.9
12	(VITORIAS)	B	21	55	47.23257	S	0.19 (	5.7)	major 14.0
		L	48	1	16.37384	W	0.20 (	5.7)	azm. 90deg.
		H			806.665	m		5.7	minor 14.0
13	(SCANIA)	B	21	55	15.23973	S	0.14 (	4.2)	major 10.3
		L	48	2	3.32488	W	0.15 (	4.2)	azm. 90deg.
		H			799.897	m		4.2	minor 10.3

Observations and Residuals

Point No.	Observations	Variance	Covariance	Residuals	Test Val.
from to	m	mm*mm	mm*mm	mm	
7 8	X -1110.8278	xx 38.04	xy 0.00	2.9	1.32
	Y -1300.2601	yy 38.04	xz 0.00	0.9	0.39
p= 1.00	Z 579.5233	zz 38.04	yz 0.00	-0.2	-0.07
8 9	X -996.9975	xx 37.36	xy 0.00	2.9	1.32
	Y -1286.5513	yy 37.36	xz 0.00	0.8	0.39
p= 1.00	Z 663.4740	zz 37.36	yz 0.00	-0.2	-0.07
3 7	X -1082.5382	xx 36.11	xy 0.00	2.8	1.32
	Y -1185.0888	yy 36.11	xz 0.00	0.8	0.39
p= 1.00	Z 448.7861	zz 36.11	yz 0.00	-0.2	-0.07

9	10	X	-610.5696	xx	33.86	xy	0.00	2.6	1.32
		Y	-1017.9599	yy	33.86	xz	0.00	0.8	0.39
p=	1.00	Z	897.8787	zz	33.86	yz	0.00	-0.1	-0.07
11	12	X	-698.6825	xx	36.30	xy	0.00	2.8	1.32
		Y	-1157.3134	yy	36.30	xz	0.00	0.8	0.39
p=	1.00	Z	999.0923	zz	36.30	yz	0.00	-0.2	-0.07
10	11	X	-933.2163	xx	41.67	xy	0.00	3.2	1.32
		Y	-1428.9244	yy	41.67	xz	0.00	0.9	0.39
p=	1.00	Z	1120.3263	zz	41.67	yz	0.00	-0.2	-0.07
13	6	X	-527.4564	xx	31.22	xy	0.00	2.4	1.32
		Y	-847.3471	yy	31.22	xz	0.00	0.7	0.39
p=	1.00	Z	748.1198	zz	31.22	yz	0.00	-0.1	-0.07
12	13	X	-760.3469	xx	36.14	xy	0.00	2.8	1.32
		Y	-1169.7913	yy	36.14	xz	0.00	0.8	0.39
p=	1.00	Z	915.5085	zz	36.14	yz	0.00	-0.2	-0.07

 ** END **

ANEXO “D” – TRANSFORMAÇÃO DE COORDENADAS

Entre os elipsóides WGS-84 e SAD-69

De geográficas para planas no elipsóide WGS-84 (MC=45°)

De geográficas para planas no elipsóide WGS-84 (MC=51°)

Entre os elipsóides SAD-69 e WGS-84

De geográficas para planas no elipsóide SAD-69 (MC=45°)

De geográficas para planas no elipsóide SAD-69 (MC=51°)

D1. Transformação de coordenadas da rede GPS “MERIDIANO 48”

@1 9 1\$ Transformação de Datum Geodésico\$ Elipsóide de origem: WGS 84

Elipsóide de destino: **SAD 69**

\$ PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
PILAR3-FEDERAL	21 58'56.65709"S	47 52'40.20483"W	843.425	21 58'54.92419"S	47 52'38.57829"W	850.685
BASE-STT	22 00'17.78402"S	47 53'57.02496"W	822.049	22 00'16.05095"S	47 53'55.39753"W	829.272
FIANDEIRAS	21 58'31.60728"S	47 56'03.67236"W	857.955	21 58'29.87505"S	47 56'02.04425"W	865.179
ADPM	21 59'17.46473"S	47 55'22.95272"W	857.895	21 59'15.73218"S	47 55'21.32479"W	865.116
FIBRAJATO	21 55'00.83340"S	48 03'04.49973"W	784.644	21 54'59.10327"S	48 03'02.86885"W	791.834
SAU	21 54'49.31161"S	48 02'36.72682"W	778.014	21 54'47.58146"S	48 02'35.09620"W	785.213

@1 1 9

\$ Transformação de Datum Geodésico

\$ Elipsóide de origem: SAD 69

Elipsóide de destino: **WGS 84**

\$ PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
PILAR3-FEDERAL	21 58'54.92420"S	47 52'38.57831"W	850.686	21 58'56.65709"S	47 52'40.20483"W	843.425
BASE-STT	22 00'16.05096"S	47 53'55.39756"W	829.273	22 00'17.78402"S	47 53'57.02496"W	822.049
FIANDEIRAS	21 58'29.87507"S	47 56'02.04427"W	865.180	21 58'31.60728"S	47 56'03.67236"W	857.955
ADPM	21 59'15.73219"S	47 55'21.32482"W	865.116	21 59'17.46473"S	47 55'22.95272"W	857.895
FIBRAJATO	21 54'59.10328"S	48 03'02.86888"W	791.835	21 55'00.83340"S	48 03'04.49973"W	784.644
SAU	21 54'47.58147"S	48 02'35.09623"W	785.213	21 54'49.31161"S	48 02'36.72682"W	778.014

@2 1 9 -45 S

\$ Transformação de Coordenada Geodésica em Planorectangular TM\$ Elipsóide: **WGS 84**

Projeção Cartográfica: **UNIVERSAL TRANSVERSO DE MERCATOR**

\$ Meridiano Central:

Sistema de
45 W Hemisfério: S

\$ PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	NORTE	ESTE	CONV.MERIDIANA
PILAR3-FEDERAL	21 58'56.65709"S	47 52'40.20483"W	843.425	7566325.283	202820.286	+1 04'40.90639"
BASE-STT	22 00'17.78402"S	47 53'57.02496"W	822.049	7563786.989	200662.715	+1 05'13.53406"
FIANDEIRAS	21 58'31.60728"S	47 56'03.67236"W	857.955	7566985.222	196965.421	+1 05'56.05012"
ADPM	21 59'17.46473"S	47 55'22.95272"W	857.895	7565596.334	198161.234	+1 05'42.94809"
FIBRAJATO	21 55'00.83340"S	48 03'04.49973"W	784.644	7573235.983	184756.011	+1 08'23.48712"
SAU	21 54'49.31161"S	48 02'36.72682"W	778.014	7573606.443	185546.573	+1 08'12.52672"

@2 1 9 -51 S

\$ Transformação de Coordenada Geodésica em Planoretangular TM

\$ Elipsóide: **WGS 84**

Sistema de Projeção Cartográfica: **UNIVERSAL TRANSVERSO DE MERCATOR**

\$

Meridiano Central: **51 W** Hemisfério:S

\$ PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	NORTE	ESTE	CONV.MERIDIANA
PILAR3-FEDERAL	21 58'56.65709"S	47 52'40.20483"W	843.425	7565829.972	822427.925	-1 10'10.94756"
BASE-STT	22 00'17.78402"S	47 53'57.02496"W	822.049	7563377.861	820172.017	-1 09'46.19116"
FIANDEIRAS	21 58'31.60728"S	47 56'03.67236"W	857.955	7566719.130	816602.577	-1 08'53.34703"
ADPM	21 59'17.46473"S	47 55'22.95272"W	857.895	7565284.249	817743.128	-1 09'10.90800"
FIBRAJATO	21 55'00.83340"S	48 03'04.49973"W	784.644	7573443.279	804647.168	-1 06'05.42268"
SAU	21 54'49.31161"S	48 02'36.72682"W	778.014	7573782.513	805451.553	-1 06'15.26153"

@2 1 1 -45 S

\$ Transformação de Coordenada Geodésica em Planoretangular TM\$ Elipsóide: **SAD 69**

Projeção Cartográfica: **UNIVERSAL TRANSVERSO DE MERCATOR**

\$ Meridiano Central: **45 W** Hemisfério:S

\$ PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	NORTE	ESTE	CONV.MERIDIANA
PILAR3-FEDERAL	21 58'54.92420"S	47 52'38.57831"W	850.686	7566371.082	202864.893	+1 04'40.21546"
BASE-STT	22 00'16.05096"S	47 53'55.39756"W	829.273	7563832.793	200707.324	+1 05'12.84158"
FIANDEIRAS	21 58'29.87507"S	47 56'02.04427"W	865.180	7567031.023	197010.037	+1 05'55.35717"
ADPM	21 59'15.73219"S	47 55'21.32482"W	865.116	7565642.136	198205.847	+1 05'42.25519"
FIBRAJATO	21 54'59.10328"S	48 03'02.86888"W	791.835	7573281.780	184800.648	+1 08'22.79135"
SAU	21 54'47.58147"S	48 02'35.09623"W	785.213	7573652.238	185591.209	+1 08'11.83136"

@2 1 1 -51 S

\$ Transformação de Coordenada Geodésica em Planoretangular TM

\$ Elipsóide: **SAD 69**

Sistema de Projeção Cartográfica: **UNIVERSAL TRANSVERSO DE MERCATOR**

\$

Meridiano Central: **51 W** Hemisfério:S

\$ PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	NORTE	ESTE	CONV.MERIDIANA
PILAR3-FEDERAL	21 58'54.92420"S	47 52'38.57831"W	850.686	7565873.946	822476.874	-1 10'11.47036"
BASE-STT	22 00'16.05096"S	47 53'55.39756"W	829.273	7563421.837	820220.968	-1 09'46.71548"
FIANDEIRAS	21 58'29.87507"S	47 56'02.04427"W	865.180	7566763.101	816651.530	-1 08'53.87181"
ADPM	21 59'15.73219"S	47 55'21.32482"W	865.116	7565328.222	817792.080	-1 09'11.43273"
FIBRAJATO	21 54'59.10328"S	48 03'02.86888"W	791.835	7573487.241	804696.128	-1 06'05.95018"
SAU	21 54'47.58147"S	48 02'35.09623"W	785.213	7573826.475	805500.512	-1 06'15.78863"

D2. Transformação de coordenadas da poligonal “MERIDIANO 48”

@1 9 1

\$ Transformação de Datum Geodésico

\$ Elipsóide de origem: WGS 84

Elipsóide de destino: **SAD 69**

\$ PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
COQUEIRO	21 58'16.19634"S	47 56'59.35183"W	833.511	21 58'14.46433"S	47 56'57.72331"W	840.727
FÁTIMA	21 57'56.02879"S	47 57'58.44813"W	822.365	21 57'54.29703"S	47 57'56.81919"W	829.574
PESQUEIRO	21 57'32.52181"S	47 58'54.27315"W	841.557	21 57'30.79032"S	47 58'52.64384"W	848.760
POSTE	21 57'01.22518"S	47 59'33.82339"W	828.339	21 56'59.49394"S	47 59'32.19385"W	835.542
PLACA	21 56'22.13034"S	48 00'31.30488"W	815.435	21 56'20.39943"S	48 00'29.67500"W	822.636
VITORIAS	21 55'47.23257"S	48 01'16.37384"W	806.665	21 55'45.50194"S	48 01'14.74370"W	813.866
SCÂNIA	21 55'15.23973"S	48 02'03.32488"W	799.897	21 55'13.50937"S	48 02'01.69446"W	807.096

@1 1 9\$ Transformação de Datum Geodésico\$ Elipsóide de origem: SAD 69

Elipsóide de destino: **WGS 84**

\$ PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
COQUEIRO	21 58'14.46433"S	47 56'57.72331"W	840.727	21 58'16.19634"S	47 56'59.35183"W	833.511
FÁTIMA	21 57'54.29703"S	47 57'56.81919"W	829.574	21 57'56.02879"S	47 57'58.44813"W	822.365
PESQUEIRO	21 57'30.79032"S	47 58'52.64384"W	848.760	21 57'32.52181"S	47 58'54.27315"W	841.557
POSTE	21 56'59.49394"S	47 59'32.19385"W	835.542	21 57'01.22518"S	47 59'33.82339"W	828.339
PLACA	21 56'20.39943"S	48 00'29.67500"W	822.636	21 56'22.13034"S	48 00'31.30488"W	815.435
VITORIAS	21 55'45.50194"S	48 01'14.74370"W	813.866	21 55'47.23257"S	48 01'16.37384"W	806.665
SCÂNIA	21 55'13.50937"S	48 02'01.69446"W	807.096	21 55'15.23973"S	48 02'03.32488"W	799.897

@2 1 9 -45 S

\$ Transformação de Coordenada Geodésica em Planorectangular TM\$ Elipsóide: **WGS 84**

Projeção Cartográfica: **UNIVERSAL TRANSVERSO DE MERCATOR**

Sistema de

\$ Meridiano Central: **45 W** Hemisfério: **S**

\$ PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	NORTE	ESTE	CONV.MERIDIANA
COQUEIRO	21 58'16.19634"S	47 56'59.35183"W	833.511	7567428.764	195358.008	+1 06'16.19785"
FÁTIMA	21 57'56.02879"S	47 57'58.44813"W	822.365	7568016.641	193649.560	+1 06'37.39099"
PESQUEIRO	21 57'32.52181"S	47 58'54.27315"W	841.557	7568708.952	192032.874	+1 06'57.18645"
POSTE	21 57'01.22518"S	47 59'33.82339"W	828.339	7569649.992	190878.601	+1 07'10.49426"
PLACA	21 56'22.13034"S	48 00'31.30488"W	815.435	7570820.862	189204.616	+1 07'30.12746"
VITORIAS	21 55'47.23257"S	48 01'16.37384"W	806.665	7571869.441	187889.355	+1 07'45.29943"
SCÂNIA	21 55'15.23973"S	48 02'03.32488"W	799.897	7572827.456	186521.637	+1 08'01.30459"

@2 1 9 -51 S

\$ Transformação de Coordenada Geodésica em Planorectangular TM

\$ Elipsóide: **WGS 84** Sistema de Projeção Cartográfica: **UNIVERSAL TRANSVERSO DE MERCATOR**

\$ Meridiano Central: **51 W** Hemisfério:S

\$ PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	NORTE	ESTE	CONV.MERIDIANA
COQUEIRO	21 58'16.19634"S	47 56'59.35183"W	833.511	7567225.395	815013.643	-1 08'31.69802"
FÁTIMA	21 57'56.02879"S	47 57'58.44813"W	822.365	7567879.829	813329.438	-1 08'08.54226"
PESQUEIRO	21 57'32.52181"S	47 58'54.27315"W	841.557	7568634.991	811741.059	-1 07'46.46083"
POSTE	21 57'01.22518"S	47 59'33.82339"W	828.339	7569620.545	810624.512	-1 07'30.11108"
PLACA	21 56'22.13034"S	48 00'31.30488"W	815.435	7570856.064	808997.660	-1 07'06.67854"
VITORIAS	21 55'47.23257"S	48 01'16.37384"W	806.665	7571955.291	807724.478	-1 06'48.11562"
SCÂNIA	21 55'15.23973"S	48 02'03.32488"W	799.897	7572966.039	806395.346	-1 06'29.00240"

@2 1 1 -45 S

\$ Transformação de Coordenada Geodésica em Planorectangular TM\$ Elipsóide: **SAD 69**

Projeção Cartográfica: **UNIVERSAL TRANSVERSO DE MERCATOR**

\$ Meridiano Central: **45 W** Hemisfério:S

\$ PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	NORTE	ESTE	CONV.MERIDIANA
COQUEIRO	21 58'14.46433"S	47 56'57.72331"W	840.727	7567474.564	195402.626	+1 06'15.50443"
FÁTIMA	21 57'54.29703"S	47 57'56.81919"W	829.574	7568062.441	193694.180	+1 06'36.69709"
PESQUEIRO	21 57'30.79032"S	47 58'52.64384"W	848.760	7568754.752	192077.498	+1 06'56.49214"
POSTE	21 56'59.49394"S	47 59'32.19385"W	835.542	7569695.791	190923.226	+1 07'09.79979"
PLACA	21 56'20.39943"S	48 00'29.67500"W	822.636	7570866.660	189249.245	+1 07'29.43268"
VITORIAS	21 55'45.50194"S	48 01'14.74370"W	813.866	7571915.238	187933.986	+1 07'44.60446"
SCÂNIA	21 55'13.50937"S	48 02'01.69446"W	807.096	7572873.253	186566.270	+1 08'00.60938"

@2 1 1 -51 S

\$ Transformação de Coordenada Geodésica em Planorectangular TM

\$ Elipsóide: **SAD 69** Sistema de Projeção Cartográfica: **UNIVERSAL TRANSVERSO DE MERCATOR**

\$ Meridiano Central: **51 W** Hemisfério:S

\$ PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	NORTE	ESTE	CONV.MERIDIANA
COQUEIRO	21 58'14.46433"S	47 56'57.72331"W	840.727	7567269.365	815062.597	-1 08'32.22326"
FÁTIMA	21 57'54.29703"S	47 57'56.81919"W	829.574	7567923.798	813378.393	-1 08'09.06796"
PESQUEIRO	21 57'30.79032"S	47 58'52.64384"W	848.760	7568678.959	811790.014	-1 07'46.98693"
POSTE	21 56'59.49394"S	47 59'32.19385"W	835.542	7569664.511	810673.468	-1 07'30.63735"
PLACA	21 56'20.39943"S	48 00'29.67500"W	822.636	7570900.029	809046.617	-1 07'07.20509"
VITORIAS	21 55'45.50194"S	48 01'14.74370"W	813.866	7571999.255	807773.436	-1 06'48.64235"
SCÂNIA	21 55'13.50937"S	48 02'01.69446"W	807.096	7573010.001	806444.304	-1 06'29.52936"

ANEXO “E” – MONOGRAFIAS E EQUIPAMENTOS

Itinerário e foto dos vértices da REDE GPS

Itinerário e foto dos vértices da Poligonal de Adensamento

Equipamentos utilizados

E1. Monografias dos vértices da Rede GPS

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – EESC STT – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

VÉRTICE GEODÉSICO DA REDE GPS “ MERIDIANO 48”

Código do Ponto : 3	Nome do Ponto : FIANDEIRAS	Município/UF : São Carlos - SP	
Coordenadas Geodésicas		Coordenadas UTM	
WGS-84	SAD-69	WGS-84(mc=45°)	SAD-69(mc=45°)
$\phi = -21^{\circ} 58' 31,60728''$ S	$\phi = -21^{\circ} 58' 29,87507''$ S	N = 7.566.985,222 m	N = 7.567.031,023 m
$\lambda = 47^{\circ} 56' 03,67236''$ W	$\lambda = 47^{\circ} 56' 02,04427''$ W	E = 196.965,421 m	E = 197.010,037 m
Alt.Geo(h) = 857,955 m	Alt.Geométrica(h)= 865,180 m	Altura Ortométrica(H) = -	

Localização: Na Rodovia Washington Luiz, Km 240, recuado 0,05m da cerca limite da faixa de domínio, defronte à propriedade da Malharia Fiandeiras, junto ao último mourão de concreto, no acesso ao Sertão do Araci.

Descrição: O vértice é um marco de concreto formato tronco-piramidal , enterrado rente ao solo contendo em seu topo uma chapa metálica circular com as inscrições:

“USP – STT **FIANDEIRAS** – MM – 2001”.

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – EESC STT – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

VÉRTICE GEODÉSICO DA REDE GPS “ MERIDIANO 48”

Código do Ponto : 4	Nome do Ponto : ADPM	Município/UF : São Carlos - SP	
Coordenadas Geodésicas		Coordenadas UTM	
WGS-84	SAD-69	WGS-84(mc=45°)	SAD-69(mc=45°)
$\phi = -21^{\circ} 59' 17,46473''$ S	$\phi = -21^{\circ} 59' 15,73218''$ S	N = 7.565.596,334 m	N = 7.565.642,136 m
$\lambda = 47^{\circ} 55' 22,95272''$ W	$\lambda = 47^{\circ} 55' 21,32479''$ W	E = 198.161,234 m	E = 198.205,847 m
Alt.Geo(h) = 857,895 m	Alt.Geométrica(h)= 865,116 m	Altura Ortométrica(H) = -	

Localização: Na Rua Miguel Petroni, defronte a Associação Desportiva da Polícia Militar, posicionado no canteiro central do trevo de contorno.

Descrição: O vértice é um marco de concreto formato tronco-piramidal, aflorado 0,05m contendo em seu topo uma chapa metálica circular com as inscrições:

“USP – STT **ADPM** – MM – 2001”.

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – EESC
STT – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

VÉRTICE GEODÉSICO DA REDE GPS “ MERIDIANO 48”

Código do Ponto : 5	Nome do Ponto : FIBRAJATO	Município/UF : Ibaté - SP
Coordenadas Geodésicas		Coordenadas UTM
WGS-84	SAD-69	WGS-84(mc=51°)
$\phi = -21^{\circ} 55' 00,83340''$ S	$\phi = -21^{\circ} 54' 59,10327''$ S	N = 7.573.443,279 m
$\lambda = 48^{\circ} 03' 04,49973''$ W	$\lambda = 48^{\circ} 03' 02,86885''$ W	E = 804.647,168 m
Alt.Geo(h) = 784,644 m	Alt.Geométrica(h)= 791,834 m	Altura Ortométrica(H) = -

Localização: Na propriedade da indústria Fibrajato, localizada nos fundos da antiga estação ferroviária Tamoio, junto à cerca de divisa do acesso principal à propriedade.

Descrição: O vértice é um marco de concreto formato tronco-piramidal , aflorado 0,05m contendo em seu topo uma chapa metálica circular com as inscrições:

“USP – STT-**FIBRAJATO** – MM – 2001”.

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – EESC
STT – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

VÉRTICE GEODÉSICO DA REDE GPS “ MERIDIANO 48”

Código do Ponto : 6	Nome do Ponto : SAU	Município/UF : Ibaté - SP
Coordenadas Geodésicas		Coordenadas UTM
WGS-84	SAD-69	WGS-84(mc=51°)
$\phi = -21^{\circ} 54' 49,31161''$ S	$\phi = -21^{\circ} 54' 47,58146''$ S	N = 7.573.782,513 m
$\lambda = 48^{\circ} 02' 36,72682''$ W	$\lambda = 48^{\circ} 02' 35,09620''$ W	E = 805.451,553 m
Alt.Geo(h) = 778,014 m	Alt.Geométrica(h)= 785,213 m	Altura Ortométrica(H) = -

Localização: Na Rodovia Washington Luiz , Km 254, lado direito da faixa de rolamento, sentido Ibaté-Araraquara, no jardim do Serviço de Atendimento ao Usuário da concessionária Triângulo do Sol, próximo a um poste de iluminação do estacionamento.

Descrição: O vértice é um marco de concreto formato tronco-piramidal , aflorado 0,05m contendo em seu topo uma chapa metálica circular com as inscrições:

“USP – STT- **SAU** – MM – 2001”.

E2. Monografias dos vértices da Poligonal de Adensamento

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – EESC STT – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES			
VÉRTICE GEODÉSICO DA POLIGONAL GPS “MERIDIANO 48”			
Código do Ponto : 7		Nome do Ponto : COQUEIRO	Município/UF : São Carlos - SP
Coordenadas Geodésicas		Coordenadas UTM	
WGS-84	SAD-69	WGS-84(mc=45°)	SAD-69(mc=45°)
$\phi = -21^{\circ} 58' 16,19634''$ S	$\phi = -21^{\circ} 58' 14,46433''$ S	N = 7.567.428,764 m	N = 7.567.474,564 m
$\lambda = 47^{\circ} 56' 59,35183''$ W	$\lambda = 47^{\circ} 56' 57,72331''$ W	E = 195.358,008 m	E = 195.402.626 m
Alt.Geo(h) = 833,511 m	Alt.Geométrica(h) = 840,727 m	Altura Ortométrica(H) = -	
Localização: Na Rodovia Washington Luiz , Km 242, lado esquerdo, sentido São Carlos-Ibaté, na pequena ilha de acesso à propriedade particular, ao lado de um coqueiro.
Descrição: O vértice é um marco de concreto formato tronco-piramidal, enterrado rente ao solo contendo em seu topo uma chapa metálica circular com as inscrições: “USP – STT-COQUEIRO – MM – 2001”.			

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – EESC STT – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES			
VÉRTICE GEODÉSICO DA POLIGONAL GPS “MERIDIANO 48”			
Código do Ponto : 8		Nome do Ponto : FÁTIMA	Município/UF : São Carlos - SP
Coordenadas Geodésicas		Coordenadas UTM	
WGS-84	SAD-69	WGS-84(mc=45°)	SAD-69(mc=45°)
$\phi = -21^{\circ} 57' 56,02879''$ S	$\phi = -21^{\circ} 57' 54,29703''$ S	N = 7.568.016,641 m	N = 7.568.062,441 m
$\lambda = 47^{\circ} 57' 58,44813''$ W	$\lambda = 47^{\circ} 57' 56,81919''$ W	E = 193.649,560 m	E = 193.694,180m
Alt.Geo(h) = 822,365 m	Alt.Geométrica(h) = 829,574 m	Altura Ortométrica(H) = -	
Localização: Na Rodovia Washington Luiz , Km 244, sentido São Carlos-Ibaté, na área gramada situada ao lado direito da faixa de rolamento, afastado 6,35m da cerca limite da faixa de domínio, defronte ao posto e restaurante Nossa Senhora de Fátima.
Descrição: O vértice é um marco de concreto formato tronco-piramidal, enterrado rente ao solo contendo em seu topo uma chapa metálica circular com as inscrições: “USP - STT- FÁTIMA – MM – 2001”.			

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – EESC
STT – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

VÉRTICE GEODÉSICO DA POLIGONAL GPS “MERIDIANO 48”

Código do Ponto : 9		Nome do Ponto : PESQUEIRO		Município/UF : Ibaté - SP			
Coordenadas Geodésicas			Coordenadas UTM				
WGS-84		SAD-69		WGS-84(mc=45°)		SAD-69(mc=45°)	
φ = -21° 57' 32,52181" S		φ = -21° 57' 30,79032" S		N = 7.568.708,952 m		N = 7.568.754,752 m	
λ = 47° 58' 54,27315" W		λ = 47° 58' 52,64384" W		E = 192.032,874 m		E = 192.077,498 m	
Alt.Geo(h) = 841,557 m		Alt.Geométrica(h)= 848,760 m		Altura Ortométrica(H) = -			

Localização: Na Rodovia Washington Luiz, Km 244, lado esquerdo, sentido São Carlos-Ibaté, na pequena ilha de acesso ao pesqueiro Estrêla.

Descrição: O vértice é um marco de concreto formato tronco-piramidal, enterrado rente ao solo contendo em seu topo uma chapa metálica circular com as inscrições:

“USP – STT- **PESQUEIRO** – MM – 2001”.

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – EESC
STT – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

VÉRTICE GEODÉSICO DA POLIGONAL GPS “MERIDIANO 48”

Código do Ponto : 10		Nome do Ponto : POSTE		Município/UF : Ibaté - SP	
Coordenadas Geodésicas			Coordenadas UTM		
WGS-84		SAD-69	WGS-84(mc=45°)		SAD-69(mc=45°)
φ = -21° 57' 01,22518'' S		φ = -21° 56' 59,49394'' S	N = 7.569.649,992 m		N = 7.569.695,791 m
λ = 47° 59' 33,82339'' W		λ = 47° 59' 32,19385'' W	E = 190.878,601 m		E = 190.923,226 m
Alt.Geo(h) = 828,339 m		Alt.Geométrica(h)= 835,542 m	Altura Ortométrica(H) = -		

Localização: Na Rodovia Washington Luiz, no trevo de acesso à cidade de Ibaté, no sentido São Carlos-Ibaté, na área gramada situada ao lado direito da faixa de rolamento, afastado 0,85m do contra-poste da rede elétrica.

Descrição: O vértice é um marco de concreto formato tronco-piramidal, enterrado rente ao solo contendo em seu topo uma chapa metálica circular com as inscrições:

“USP – STT- **POSTE** – MM – 2001”.

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – EESC
STT – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

VÉRTICE GEODÉSICO DA POLIGONAL GPS “MERIDIANO 48”

Código do Ponto : 11		Nome do Ponto : PLACA		Município/UF : Ibaté - SP	
Coordenadas Geodésicas			Coordenadas UTM		
WGS-84		SAD-69		WGS-84(mc=51°)	
φ = -21° 56' 22,13034" S		φ = -21° 56' 20,39943" S		N = 7.570.856,064 m	
λ = 48° 00' 31,30488" W		λ = 48° 00' 29,67500" W		E = 808.997,660 m	
Alt.Geo(h) = 815,435 m		Alt.Geométrica(h)= 822,636 m		Altura Ortométrica(H) = -	
Localização: Na Rodovia Washington Luiz, Km 249, na área gramada do lado esquerdo da faixa de rolamento, sentido Ibaté-Araraquara, em frente à propriedade da antiga fábrica de tratores.
Descrição: O vértice é um marco de concreto formato tronco-piramidal, enterrado rente ao solo contendo em seu topo uma chapa metálica circular com as inscrições: “USP – STT- PLACA – MM – 2001”.					

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – EESC
STT – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

VÉRTICE GEODÉSICO DA POLIGONAL GPS “MERIDIANO 48”

Código do Ponto : 12		Nome do Ponto : VITÓRIAS		Município/UF : Ibaté - SP	
Coordenadas Geodésicas			Coordenadas UTM		
WGS-84		SAD-69		WGS-84(mc=51°)	
φ = -21° 55' 47,23257" S		φ = -21° 55' 45,50194" S		N = 7.571.955,291 m	
λ = 48° 01' 16,37384" W		λ = 48° 01' 14,74370" W		E = 807.724,478 m	
Alt.Geo(h) = 806,665 m		Alt.Geométrica(h)= 813,866 m		Altura Ortométrica(H) = -	
Localização: Na Rodovia Washington Luiz, Km 250, lado direito da faixa de rolamento, sentido Ibaté-Araraquara, em frente à Fazenda Nossa Senhora das Vitórias. No alinhamento do poste número 2/10.
Descrição: O vértice é um marco de concreto formato tronco-piramidal, enterrado rente ao solo contendo em seu topo uma chapa metálica circular com as inscrições: “USP - STT- VITÓRIAS – MM – 2001”.					

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – EESC
STT – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

VÉRTICE GEODÉSICO DA POLIGONAL GPS “MERIDIANO 48”

Código do Ponto : 13		Nome do Ponto : SCÂNIA		Município/UF : Ibaté - SP	
Coordenadas Geodésicas			Coordenadas UTM		
WGS-84		SAD-69		WGS-84(mc=51°)	
SAD-69		WGS-84(mc=51°)		SAD-69(mc=51°)	
φ = -21° 55' 15,23973" S		φ = -21° 55' 13,50937" S		N = 7.572.966,039 m	
λ = 48° 02' 03,32488" W		λ = 48° 02' 01,69446" W		E = 806.395,346 m	
Alt.Geo(h) = 799,897 m		Alt.Geométrica(h)= 807,096 m		Altura Ortométrica(H) = -	

Localização: Na Rodovia Washington Luiz, Km 249, no lado esquerdo, sentido Ibaté-Araraquara, numa ilha cascalhada formada pela entrada e saída de veículos, próximo à placa de propaganda da Scânia.

Descrição: O vértice é um marco de concreto formato tronco-piramidal, enterrado rente ao solo contendo em seu topo uma chapa metálica circular com as inscrições

“USP – STT-SCÂNIA – MM – 2001”.

E3. Equipamentos

Receptor e antena GPS, marca SOKKIA, modelo GSS1A.
Precisão nominal de $\pm (5 + 2\text{ppm} * D)$ mm

Estação total, marca SOKKIA,
modelo POWERSET-3000, com :

- Resolução angular de 1"
- Precisão linear de $\pm (2 + 2\text{ppm} * D)$ mm

APÊNDICE I : FORMULÁRIOS ADOTADOS PELA DSG

Método direto

Método inverso

Tabela de Coeficientes A, B, C, D, E e F

Método Direto

Transporte de Coordenadas Geográficas

Serviço Geográfico do Exército

Form. G-6

Fórmulas: $-\Delta\varphi = B.s.\cos\alpha + C.s'\sin\alpha - D(\delta\varphi)^2 E.h.s'\sin\alpha$ $\Delta\lambda = A'.s.\sin\alpha \sec\varphi'$ $-\Delta\alpha = \Delta\lambda \sin\varphi_m \sec\frac{1}{2}\Delta\varphi + F(\Delta\lambda)^3$ $\varphi' = \varphi + \Delta\varphi; \quad \lambda' = \lambda + \Delta\lambda$ $\alpha' = \alpha + 180^\circ - \Delta\alpha$		α_0 Raposo para Fortaleza Δ Fortaleza - Raposo - M ^o Grande α Raposo para M ^o Grande $\Delta\alpha$ α' M ^o Grande para Raposo	206 30 24,513 + 62 42 58,465 269 13 23,008 - 28 58,073 $\pm 180^\circ$ 88 44 24,935
$\varphi' = \varphi + \Delta\varphi$ $\varphi = 30 08 35,283$ $+\Delta\varphi = 53,490$ $\varphi' = 30 07 41,793$		p Raposo $s = 92 676,638 \text{ m}$ p M ^o Grande	$\lambda' = \lambda + \Delta\lambda$ $\lambda = 51 47 56,070$ $-\Delta\lambda = 57 41,894$ $\lambda' = 50 50 14,176$
$h = B.s.\cos\alpha$ $\log B = 8,511 5384 - 10$ $\log s = 4,966 9703$ $\log \cos\alpha = 8,132 2528 - 10$ $\log h = 1,610 7615$		$2^\circ \text{ termo} = C.s'^2 \sin^2\alpha$ $\log C = 1,16 937 - 10$ $2 \log s = 9,93 394$ $2 \log \sin\alpha = 9,99 992 - 10$ $\log 2^\circ \text{ termo} = 1,10 323$	$4^\circ \text{ termo} = E.h.s'^2 \sin^2\alpha$ $\log E = 5,91 53 - 20$ $\log h = 1,61 08$ $\log (s'^2 \sin^2\alpha) = 9,93 39$ $\log 4^\circ \text{ termo} = 7,46 00 - 10$ $(\delta\varphi) \cdot h \cdot 2^\circ \text{ termo} + 4^\circ \text{ termo}$ $h = -40,3095$ $2^\circ \text{ termo} = -12,6832$ $4^\circ \text{ termo} = 0,0029$ $(\delta\varphi) = -53,4898$ $\log(\delta\varphi) = 1,72 827$
$-\Delta\varphi \cdot h \cdot 2^\circ \text{ termo} - D(\delta\varphi)^2 \cdot 4^\circ \text{ termo}$ $\log D = 2,32 77 - 10$ $2 \log(\delta\varphi) = 3,45 65$ $\log D(\delta\varphi)^2 = 5,78 42 - 10$ $D(\delta\varphi)^2 = -0,0001$ $h \cdot 2^\circ \text{ termo} = -53,4027$ $h \cdot 2^\circ \text{ termo} - D(\delta\varphi)^2 = -53,4028$ $-4^\circ \text{ termo} = +0,0029$ $-\Delta\varphi = -53,4899$		$\Delta\lambda = A'.s.\sin\alpha \sec\varphi'$ $\log A' = 8,509 3461 - 10$ $\log s = 4,966 9703$ $\log \sin\alpha = 9,999 0601 - 10$ $\log \sec\varphi' = 0,063 0322$ $\log \Delta\lambda = 3,539 3086$ $\Delta\lambda = -3 461,894$	$-\Delta\alpha = \Delta\lambda \sin\varphi_m \sec\frac{1}{2}\Delta\varphi + F(\Delta\lambda)^3$ $\log \Delta\lambda = 3,539 3138$ $\log \sin\varphi_m = 9,700 7468$ $\log \sec\frac{1}{2}\Delta\varphi = 0,000 0000$ $\log 1^\circ \text{ termo} = 3,240 0606$ $1^\circ \text{ termo} = +1738,043$ $2^\circ \text{ termo} = +0,030$ $-\Delta\alpha = +1738,073$ $\varphi_m = -30^\circ 08' 05,538$ $\log F = 7,866 - 20$ $3 \log(\Delta\lambda) = 10,618$ $\log F(\Delta\lambda)^3 = 8,484 - 10$ $\text{Correção de longitude:}$ Argumento $\log s = 1517$ $\log \Delta\lambda = 2034$ $\text{correção} = 517$

Método Inverso

Azimute e lado esféricos

Serviço Geográfico do Exército

Form. G-7

P : Raposo	$\varphi = -30^{\circ} 08' 35'' 283$	$\lambda = +51^{\circ} 41' 56'' 070$	
P' : M. Grande	$\varphi' = -30^{\circ} 07' 41'' 793$	$\lambda' = +50^{\circ} 50' 14'' 176$	
$\varphi' - \varphi = \Delta\varphi =$	$+ 0^{\circ} 00' 53'' 490$	$\lambda' - \lambda = \Delta\lambda =$	$- 0^{\circ} 51' 41'' 894$
$\frac{\Delta\varphi}{2} =$	$+ 0^{\circ} 00' 26'' 745$	$\frac{\Delta\lambda}{2} =$	$- 0^{\circ} 28' 50'' 047$
$\varphi + \frac{\Delta\varphi}{2} = \varphi_m =$	$-30^{\circ} 08' 08'' 538$		
$\Delta\varphi'' =$	$+ 53'' 490$	$\Delta\lambda'' =$	$- 3' 461'' 804$
$S, \cos \alpha_m = \frac{\Delta\varphi \cos \frac{\Delta\lambda}{2}}{B_m}$		$S, \sin \alpha_m = \frac{\Delta\lambda \cos \varphi_m}{A_m}$	
$\log \Delta\varphi$	1.728 2726	$\log \Delta\lambda$	3.539 3138 n
- 1/4 corr. (arc-sen)	0	- 1/4 corr. (arc-sen)	- 51
$\log (-\Delta\varphi)$	1.728 2726 n	$\log \Delta\lambda$	3.539 3087 n
$\log \cos \frac{\Delta\lambda}{2}$	9.999 9847	$\log \cos \varphi_m$	- 9.036 9351
$\text{colog } B_m$	1.483 4611	$\text{colog } A_m$	1.190 6541
$\log S, \cos \alpha_m$	3.210 7184 n	$\log S, \sin \alpha_m$	4.066 8970 n
$-\Delta\alpha = \Delta\lambda \sin \varphi_m \sec \frac{\Delta\varphi}{2} + F(\Delta\lambda)^2$		$\log S, \cos \alpha_m$	3.210 7184 n
$\log \Delta\lambda$	3.539 3138 n	$\log \text{tg } \alpha_m$	1.750 1745
$\log \sin \varphi_m$	9.700 7468 n	$\alpha_m =$	268° 58' 53'' 038
$\log \sec \frac{\Delta\varphi}{2}$	0	$\log \sin \alpha_m$	9.999 0311
$\log I$	3.240 0606	$\log \cos \alpha_m$	8.249 7518
$I =$	+ 1738'' 043	$\log S,$	4.966 9665
$3 \log \Delta\lambda$	10.618 n	+ 1/4 corr. (arc-sen)	+ 38
$\log F$	7.866 -20 n	$\log S$	4.966 9703
$\log II$	18.484 -20	$S =$	92 676,638 m
$II =$	+ 0,030	$\alpha_m = \alpha + \frac{\Delta\alpha}{2} =$	268° 58' 53'' 94
$I + II = -\Delta\alpha =$	+ 1738'' 073	$-\frac{\Delta\alpha}{2} =$	0 14 29,04
$-\frac{\Delta\alpha}{2} =$	+ 0° 14' 29'' 036	$\alpha_m - \frac{\Delta\alpha}{2} = \alpha =$	269° 13' 22'' 98
(p p') Azimute directo		$\alpha_m + \frac{\Delta\alpha}{2} = \alpha' =$	180°
(p' p) Azimute reciproco			88° 44' 24'' 90

Observações: A_m e B_m são valores correspondentes à latitude média φ_m . As correções das diferenças entre logs. de arco e de seno extraem-se da tabela comum, porém tomando-se 1/4 do valor e sinal contrário.

Tabela de coeficientes A, B, C, D, E e F

$\varphi = 34^{\circ}30'$

φ	log A		log B		log C		log D		log E		log F	φ
	8.509	Δ	8.511	Δ	1.24	Δ	2.3	Δ	5.9	Δ	7.	
30	24536-10	-40	23717-10	-119	216-10	+27	593-10	+ 1	948-20	+ 3	877-20	30
31	24496	39	23598	120	243	27	594	1	951	3	877	31
32	24457	40	23478	119	270	27	595	1	954	4	877	32
33	24417	40	23359	119	297	27	596	1	958	3	877	33
34	24377	40	23240	119	324	27	597	1	961	3	877	34
35	24337	40	23121	120	351	26	598	1	964	3	877	35
36	24297	39	23001	119	377	27	598	0	967	3	877	36
37	24258	40	22882	120	404	27	599	1	970	4	877	37
38	24218	40	22762	119	431	27	600	1	974	4	877	38
39	24178	40	22643	119	458	27	601	1	977	3	877	39
40	24138-10	-40	22524-10	-120	485-10	+27	602-10	+ 1	980-20	+ 3	877-20	40
41	24098	39	22404	119	512	27	603	1	983	3	877	41
42	24059	40	22285	120	539	26	604	1	986	3	877	42
43	24019	40	22165	119	565	27	605	1	989	3	877	43
44	23979	40	22046	120	592	27	606	1	992	4	877	44
45	23939	40	21926	120	619	27	607	1	996	4	877	45
46	23899	40	21806	119	646	27	608	1	999	3	877	46
47	23859	40	21687	120	673	26	609	1	002	3	877	47
48	23819	39	21567	120	699	27	610	1	006	3	877	48
49	23780	40	21447	119	726	27	611	1	008	3	877	49
50	23740-10	-40	21328-10	-120	753-10	+27	612-10	+ 1	011-20	+ 3	877-20	50
51	23700	40	21208	120	780	27	613	1	014	3	877	51
52	23660	40	21088	120	807	26	614	1	017	4	877	52
53	23620	40	20968	119	833	27	615	1	021	3	877	53
54	23580	40	20849	120	860	27	616	0	024	3	877	54
55	23540	40	20729	120	887	27	616	1	027	3	877	55
56	23500	40	20609	120	914	26	617	1	030	3	877	56
57	23460	40	20489	120	940	27	618	1	033	4	877	57
58	23420	40	20369	120	967	27	619	1	037	4	877	58
59	23380	40	20249	120	994	27	620	1	040	3	877	59
60	23340-10		20129-10		021-10		621-10		043-20		877-20	60
	8.509		8.511		1.25		2.3		6.0		7.	

Os coeficientes C, D e F são negativos para as latitudes Sul