

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA**

**COORDENADAS DE PONTOS GPS UTILIZANDO O
CÓDIGO E FORMAS DE CORREÇÃO IONOSFÉRICA
E
TROPOSFÉRICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Rafaela Carvalho Pereira

**Santa Maria, RS, Brasil
2008**

**COORDENADAS DE PONTOS GPS UTILIZANDO O CÓDIGO
E
FORMAS DE CORREÇÃO IONOSFÉRICA E
TROPOSFÉRICA**

por

Rafaela Carvalho Pereira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Geomática, Área de Concentração Tecnologia da Geoinformação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau
Mestre em Geomática

Orientador: Prof. Adroaldo Dias Robaina

**Santa Maria, RS, Brasil
2008**

P436c
Pereira, Rafaela Carvalho, 1982-

Coordenadas de Pontos GPS utilizando o código e formas de correção da Ionosfera e Troposfera / por Rafaela Carvalho Pereira; orientador Adroaldo Dias Robaina. – Santa Maria, 2008.

81 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Geomática, RS, 2008.

1. Geomática 2. Sistema de posicionamento 3. Correção ionosférica 4. Correção troposférica 5. GPS I. Robaina, Adroaldo Dias, orient. II. Título

CDU: 528.28

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes CRB-10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2008

Todos os direitos autorais reservados a Rafaela Carvalho Pereira e Adroaldo Dias Robaina. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho poderá ser feita, desde que citada a fonte.
Endereço: Rua Travessa Ceará, 51, Nossa Senhora de Lourdes, Santa Maria, RS, Brasil.
97060-130; End. Eletrônico: raffacper@bol.com.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Geomática**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**COORDENADAS DE PONTOS GPS UTILIZANDO O CÓDIGO E
FORMAS DE CORREÇÃO IONOSFÉRICA E TROPOSFÉRICA.**

elaborada por
Rafaela Carvalho Pereira

como requisito parcial para a obtenção de grau de

Mestre em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA:

**Adroaldo Dias Robaina, Dr.
(Presidente / Orientador)**

Pedro Roberto de A. Madruga, Dr., (UFSM)

Marcia Xavier Peiter, Dra., (UFSM)

Santa Maria, 14 de fevereiro de 2008.

“Confia no Senhor e faz o bem;
habita na terra e alimenta-te da verdade.
Agrada-te do Senhor,
E Ele satisfará os desejos do teu coração.
Entrega o teu caminho ao Senhor,
confia nele, e o mais Ele fará”.

Sl 37: 3-5

DEDICO

Aos Meus Amados Pais Moacir e Berenice que me ensinaram através de seus exemplos de vida a ser uma pessoa firme e decidida e a jamais retroceder em meio as dificuldades.

Vocês são para mim, exemplos de caráter, fidelidade e amor. Muito Obrigada por me guiarem pela vida e confiarem em mim. Amo Vocês! Agradeço a Deus todos os dias pelo privilégio de poder chamá-los de Pais. Muito Obrigada.

Aos Meus irmãos Daniela, Ricardo e Helene, pois são poucos os que de fato acreditam no nosso ideal. São poucos os que escutam as angústias, as alegrias e decepções, sempre como se fosse a primeira vez. São poucos que buscam lado a lado conosco. A vocês meus queridos irmãos que sempre estão presentes, me apóiam, me incentivam, me escutam e me amam: Dedico este trabalho.

Ao Meu Noivo, Alvaro Chagas por estar sempre ao meu lado, incentivando, dando força, amor e carinho. Meu braço direito e esquerdo, sempre disposto e pronto a ajudar. A ti Alvaro meus mais sinceros e profundos agradecimentos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiro pelo dom da vida, depois por jamais se ausentar, por cuidar de cada passo que eu dou, por me corrigir, por me indicar o caminho certo a seguir, por abrir todas as portas, por colocar desafios e me dar a certeza de com Ele a vitória é certa. Eu te agradeço Deus por se lembrar de mim, por me fazer crescer e não desanimar, por me manter firme em ti e crer que tudo é possível quando é o Senhor que está no controle. Senhor, Muito Obrigada.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Geomática (PPGG) pela oportunidade oferecida.

Ao Professor Adroaldo Dias Robaina pela oportunidade, pela orientação, pelo convívio, pelo aprendizado, pela paciência, pelo esmero, pelas brincadeiras, pela sabedoria, pelo conhecimento compartilhado, pelas experiências transmitidas, pelo bom exemplo e pela preocupação com a minha melhor formação. Sou grata por todos os momentos que tive a oportunidade de vivenciar durante esses anos de convivência.

A Professora Márcia Xavier Peiter pela amizade, carinho, exemplo e dedicação que sempre teve comigo. Um grande exemplo de Mestre e Ser Humano a ser seguido.

Ao Professor Rudiney Soares Pereira pelos ensinamentos, pelo convívio, pela amizade e dedicação. Sei que torceste muito por essa conquista. Muito Obrigada.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Geomática pelos ensinamentos.

A meus pais pelos incansáveis incentivos, pelas noites de oração pela minha vida e por essa conquista. Por me acompanhar, me apoiar e lutar comigo. Vocês não são apenas pais, mas amigos e companheiros. As palavras de vocês, os gestos foram expressões de amor profundo e incentivo para que eu prosseguisse. O meu mais sincero Muito Obrigada pelo respeito, pela força, pelo sorriso, pela companhia, pelo abraço e por acreditarem nos meus sonhos.

Ao Alvaro, meu amado noivo, pelo incentivo, amor, ajuda, compreensão e dedicação para que este sonho se tornasse realidade. Obrigada por acolher minhas queixas, meu desânimo e sofrimento. Tu foste muitas vezes a força, a paciência e o acalanto. Tuas palavras soaram como incentivo e impulso. Por tudo isso, por ter compreendido minhas dificuldades e ausências: Muito Obrigada!

Aos meus irmãos Daniela, Ricardo e Helene pelo apoio incondicional, pelo colo nas horas difíceis e por acreditarem nos meus sonhos. Com certeza sem o incentivo de vocês nada teria sido possível. Obrigada.

Aos meus cunhados Luiz Hector, Robson, Letícia e Daniel pela amizade, carinho, incentivo e presença nesta caminhada.

As minhas avós Maria e Iva pelo amor, carinho e dedicação que sempre tiveram quando precisei.

A família do Álvaro pela amizade, apoio e incentivo durante toda essa caminhada.

As minhas amadas amigas de infância e adolescência: Claudia Lunardi, Carolina Gomes e Tassia Ketz pela amizade, incentivo, apoio e amor dedicados a mim a tantos anos. Presenças constantes na minha vida, essa conquista também dedico a vocês.

A minha grande e amada amiga Luciana Zamberlan pelos conselhos sábios, pelas orações pela minha vida, pelo incentivo, pela amizade e apoio.

As minhas amadas amigas de célula pela amizade e carinho.

A Escola Despertar pela oportunidade de trabalhar em um ambiente agradável, pela amizade de todos os funcionários, pelas orações pela minha vida, pelo carinho, pelo apoio, pelo amor e pelo respeito.

Ao Curso Caxias em especial ao Professor Josevaldo pelo incentivo e amizade. Meu sincero agradecimento.

Ao Pré-Vestibular Identidade Jovem pela confiança e carinho.

Aos colegas da Escola Despertar, do Curso Caxias e do Pré-Vestibular Identidade Jovem.

Aos amigos do Laboratório: Alexandro Vielmo, Luis Roberto Telechea, Ana Rita Parizi, Ana Carla Gomes, Alexandre Ten Caten, Karine Lançanova, Fátima Cibele Soares, Ricardo Schons enfim a todos aqueles que por lá passaram.

Aos amigos Oscar Carvalho, Luiz Felipe Carvalho, Márcio Daniel e Renato, pelos ensinamentos, pela disposição, pela amizade, pela torcida e pelo carinho.

A todos os meus amigos, pelo carinho e amizade.

Enfim a todas aquelas pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1	- Imagem digital da Fazenda Liberdade mostrando a área experimental	33
FIGURA 3.2	- Ponto do vértice PT_MS 01.....	34
FIGURA 3.3	- Ponto do vértice PT_MS 02	34
FIGURA 3.4	- Ponto do vértice PT_MS 03	34
FIGURA 3.5	- Ponto do vértice PT_MS 04	34
FIGURA 3.6	- Ponto do vértice PT_MS 05	35
FIGURA 3.7	- Ponto do vértice PT_MN 03	35
FIGURA 3.8	- Ponto do vértice PT_MN 04	35
FIGURA 3.9	- Ponto do vértice PT_MN 07.....	35
FIGURA 3.10	- Ponto do vértice PT_MN 09	35
FIGURA 3.11	- Ponto do vértice PT_MN 21	35
FIGURA 3.12	- Ponto do vértice PT_PE 07	36
FIGURA 3.13	- Ponto do vértice PT_PE 08	36
FIGURA 3.14	- Ponto do vértice PT_PE 09	36
FIGURA 3.15	- Marco de precisão (base)	37
FIGURA 3.16	- Esquema da rede para implantação da estação base	37
FIGURA 3.17	- Receptor de dupla frequência utilizado na base	38
FIGURA 3.18	- Receptor de frequência simples utilizado nos vértices da poligonal	43
FIGURA 3.19	- Aplicativo computacional de processamento dos dados	46
FIGURA 4.1	- Esquema da rede para implantação da estação base	53

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1	- Estratégias para a obtenção de coordenadas dos vértices da poligonal utilizando posicionamento absoluto com o código CA	45
TABELA 3.2	- Classificação para o índice de desempenho do método proposto	52
TABELA 4.1	- Valores dos componentes das linhas base utilizadas para o transporte de coordenadas para o marco de precisão e respectivos desvios-padrão	53
TABELA 4.2	- Coordenadas das Estações da RBMC (pontos de controle), diferença de coordenadas e coordenadas ajustadas do marco MP	55
TABELA 4.3	- Coordenadas geocêntricas, geográficas e cartográficas, referentes ao SAD 69, do marco MP e as respectivas precisões	56
TABELA 4.4	- Tabela resumida do levantamento dos vértices da poligonal. Método relativo, processamento da fase da portadora e base no marco MP. Valores das coordenadas planas (m), azimute e distâncias (m) da poligonal levantada	58
TABELA 4.5	- Valores das coordenadas dos diferentes pontos obtidos com GPS no modo absoluto, sem correção da ionosfera e diferentes correções da troposfera	59
TABELA 4.6	- Valores das coordenadas dos diferentes pontos obtidos com o GPS no modo absoluto, correção da ionosfera estimada e diferentes correções da troposfera	60
TABELA 4.7	- Valores das coordenadas dos diferentes pontos obtidos com o GPS no modo absoluto, correção da ionosfera calculada e diferentes correções da troposfera	61
TABELA 4.8	- Comparação da coordenada E. Coeficiente linear (a), coeficiente angular (b), coeficiente de correlação (r), índice de concordância (c) e desempenho da estratégia de correção para obter as coordenadas	62
TABELA 4.9	- Comparação da coordenada N. Coeficiente linear (a), coeficiente angular (b), coeficiente de correlação (r), índice de concordância (c) e desempenho da estratégia de correção para obter as coordenadas.....	63
TABELA 4.10	- Comparação de áreas	65

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Sistema de Posicionamento Global	16
2.2 Segmentos do Sistema GPS	16
2.2.1 Segmento do Espaço	16
2.2.2 Segmento de Controle	19
2.2.3 Segmento de Usuário	20
2.3 Princípio do Sistema de Posicionamento Global	20
2.3.1 Utilização do Código	21
2.3.2 Utilização da fase da Portadora	22
2.4 Posicionamento de pontos no sistema GPS	22
2.5 Métodos de posicionamento com GPS	23
2.5.1 Método de posicionamento absoluto	23
2.5.2 Métodos de posicionamento relativo	23
2.6 Fatores que afetam o posicionamento GPS	27
2.6.1 Diferença de precisão dos relógios dos satélites e dos receptores.....	28
2.6.2 Passagem do sinal através da atmosfera	28
2.6.2.1 Passagem do sinal através da troposfera	28
2.6.2.2 Passagem do sinal através da ionosfera	29
3 MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1 Descrição da área experimental	33
3.2 Poligonal e caracterização dos pontos a serem selecionados	34
3.3 Implantação de marco para utilização como estação base	36
3.3.1 Rastreamento sobre o Marco de Precisão Classe P2	37
3.3.2 Transferência dos dados brutos	38
3.3.3 Processamento dos dados de rastreamento do Marco MP	38
3.3.4 Ajustamento dos dados do processamento do Marco MP	38
3.4 Ajustamento das coordenadas do marco de precisão	39
3.4.1 Análise do erro de fechamento	39
3.4.2 Ajustamento	39
3.4.3 Avaliação do ajustamento	40
3.4.4 Cálculo das coordenadas do marco e sua precisão posicional	41
3.5 Levantamento de Perímetro	43
3.5.1 Rastreamento com receptor GPS	43
3.5.2 Processamento dos dados dos vértices ocupados com GPS	44
3.6 Estratégias de processamento do código utilizadas	44
3.7 Processamento do código nas diferentes estratégias	45
3.8 Processamento do código sem e com correção ionosférica (I0,I1 ou I2)	46
3.8.1 Formas de considerar a correção ionosférica	47
3.8.1.1 Modelo de Klobuchar (I1)	47
3.8.1.2 Em função das pseudodistâncias (I2)	47
3.9 Processamento do código sem e com correção troposférica (T0, T1, T2 e T3)	48
3.9.1 Formas de considerar a correção troposférica	48
3.9.1.1 Modelo de Hopfield (T1)	48

3.9.1.2 Modelo de Saastamoinen (T2)	49
3.9.1.3 Modelo de Marini e Herring (T3)	49
3.10 Análise dos resultados	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1 Transporte de coordenadas para o marco MP	53
4.2 Ajustamento das coordenadas do marco de precisão	54
4.2.1 Análise do erro de fechamento	54
4.2.2 Avaliação do ajustamento	54
4.2.3 Coordenadas ajustadas do marco MP - Datum SAD 69	55
4.3 Resultado do processamento das observações GPS dos vértices da poligonal: uso da portadora	56
4.4 Resultado do processamento das observações GPS dos vértices da poligonal: uso do código e diferentes correções da ionosfera e troposfera	58
4.5 Comparação dos resultados do processamento das observações GPS dos vértices da poligonal: uso do código e da fase da portadora	62
4.5.1 Comparação da coordenada E	62
4.5.2 Comparação da coordenada N	63
4.5.3 Comparação de áreas	64
5 CONCLUSÕES	66
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXOS.....	72

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

COORDENADAS DE PONTOS GPS UTILIZANDO O CÓDIGO E FORMAS DE CORREÇÃO IONOSFÉRICA E TROPOSFÉRICA

Autor: Rafaela Carvalho Pereira
Orientador: Adroaldo Dias Robaina
Santa Maria, 14 de fevereiro de 2008.

O trabalho foi desenvolvido em uma poligonal implantada em área experimental situada na Fazenda Liberdade, distrito de Tupantuba, município de Santiago-RS. A pesquisa envolveu o levantamento de uma poligonal envolvendo um receptor GPS de simples frequência, no modo absoluto, com o objetivo de determinar as coordenadas dos vértices de uma área experimental, utilizando como observável o código sem e com correções devido à propagação do sinal na atmosfera (troposfera e ionosfera). As diferentes estratégias de processamento do código envolvendo ou não as correções da ionosfera utilizadas neste trabalho foram I0 (sem correção da ionosfera), I1 (com correção da ionosfera a partir das pseudodistâncias PL1 e PL2) e I2 (com correção da ionosfera pelo modelo de Klobuchar). As diferentes estratégias de processamento do código envolvendo ou não as correções da troposfera utilizadas foram T0 (sem correção da troposfera), T1 (com correção da troposfera pelo modelo de Hopfield), T2 (com correção da troposfera pelo modelo de Saastamoinen) e T3 (com correção da ionosfera pelo modelo de Marini). Os valores das coordenadas dos vértices da poligonal obtidos no modo de posicionamento absoluto e tendo como observável o código e considerando diferentes formas de correção do erro ionosférico e do erro troposférico foram comparados com os valores das coordenadas dos vértices da poligonal obtidos com o processamento no modo relativo e tendo como observável a fase da portadora (testemunha). Para realizar a comparação foi feita análise de regressão entre os valores das coordenadas dos pontos da poligonal obtidas através dos diferentes procedimentos com o objetivo de se obter o coeficiente de correlação (r), o índice de concordância de Wilmont (c) e a classe de desempenho da estratégia considerada. A análise dos resultados obtidos permitiu concluir que não houve diferença no desempenho das diferentes estratégias de correção dos erros e que o erro de posicionamento devido à propagação do sinal na sua passagem pela atmosfera quando se utiliza o modo de posicionamento absoluto e como observável o código é da ordem de 5m, aproximadamente.

Palavras-Chave: modo de posicionamento absoluto, correção ionosférica e troposférica, GPS

ABSTRACT

Master Dissertation
Post-Graduate in Geomatics
Federal University of Santa Maria, RS, BRAZIL

COORDINATES OF GPS WAYPOINTS BY USING IONOSPHERIC AND TROPOSPHERIC CODE AND WAYS OF CORRECTION

Author: Rafaela Carvalho Pereira
Adviser: Adroaldo Dias Robaina
Santa Maria, February 14th, 2008

This work was developed in a polygonal area that was established in an experimental place of Farm Liberdade, which is located in Tupantuba, a district of Santiago, RS. This research comprised a survey of a polygonal area including a GPS receptor of simple frequency in absolute mode, which aims at determining the coordinates of the vertices of an experimental area by using the code with and without corrections due to the propagation of signal through the atmosphere (troposphere and ionosphere). The different strategies of the processing of the code, which involved or not the corrections of ionosphere, used in this research were: I0 (without correction of ionosphere); I1 (with correction of ionosphere from the pseudo-distances PL1 and PL2); and I2 (with correction of ionosphere by the Klobuchar model). The different strategies of the processing of the code, which involved or not the corrections of troposphere, used in this research were: T0 (without correction of troposphere); T1 (with correction of troposphere by the Hopfield model); T2 (with correction of troposphere by Saastamoinen model); and T3 (with correction of ionosphere by Marini model). The values of the coordinates of the vertices from the polygonal area, which were obtained in the absolute positioning mode, considering different ways of correction of the ionospheric and tropospheric errors, were compared to the values of the coordinates of the vertices from the polygonal area obtained by the processing in the relative mode and considering the bearer phase (testimony) as being observable. In order to accomplish this comparison, it was realized the analysis of the regression among the values of the coordinates from the polygonal waypoints, which were obtained through different procedures that aimed at achieving the correlation coefficient (r), the Wilmont index of concordance (c) and the level of development of the strategy that was taken into consideration. Due to the analysis of the results, it was possible to conclude that there was no difference in the performance of the different strategies of corrections of errors. Furthermore, the positioning error is about 5m due to the propagation of the signal through the atmosphere when the absolute positioning mode is used.

Key Words: Absolute Positioning Mode; Ionospheric and Tropospheric Correction; GPS.

1 - INTRODUÇÃO

A necessidade de se localizar no espaço sempre esteve presente na vida do homem. No período das Grandes Navegações, na conquista por novas fronteiras, os navegadores se orientavam através do sol ou das estrelas. Com o advento da bússola, a navegação sofreu uma revolução, porém apenas os pontos cardeais (norte, sul, leste, oeste) eram conhecidos, faltando à localização exata em alto mar. Outro instrumento importante foi o astrolábio que proporcionava o conhecimento da latitude e longitude do lugar, porém era um instrumento grande, pesado e sujeito a grandes erros.

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) veio modernizar e permitir uma maior facilidade e precisão nos levantamentos relacionados às atividades que necessitam de posicionamento, em tempo real. Este sistema é formado por uma constelação de satélites que envolvem a Terra emitindo ondas eletromagnéticas e proporcionando a obtenção de quatro medidas: latitude, longitude, altitude e tempo.

O sistema GPS é dividido em segmentos: o segmento espacial é formado pela constelação de satélites; o segmento de controle composto por estações terrestres e o segmento de usuário constituído por todos os usuários do sistema sejam eles civis ou militares. Os satélites do sistema transmitem continuamente sinais em duas ondas, as portadoras denominadas de L1 e L2, essas ondas são geradas, simultaneamente. Já os códigos que fazem parte dos ruídos falsamente aleatórios, são modulados sobre as fases da portadora. Os códigos utilizam-se de combinações de seqüências binárias e são basicamente dois: o C/A (*Coarse / Acquisition* – fácil aquisição) e o P (*Precise or Protected* – Preciso ou Protegido).

Dentre as formas de posicionamento pode-se citar o modo de posicionamento absoluto (um só receptor isolado) e o modo de posicionamento diferencial ou relativo (dois receptores, sendo um fixo e o outro móvel).

As duas formas de posicionamento podem ser realizadas utilizando-se como observável (medida) o código ou a fase da portadora, sendo que esta última fornece resultados mais precisos do que o código.

A justifica para este trabalho é a necessidade de avaliar diferentes estratégias de correção dos erros devido à propagação do sinal GPS na sua passagem na troposfera e na ionosfera e avaliar a sua magnitude quando se utiliza o posicionamento no modo absoluto (um só receptor).

O objetivo deste estudo foi verificar o desempenho de diferentes estratégias de processamento do código no modo de posicionamento absoluto envolvendo ou não as correções da atmosfera (ionosfera e troposfera) em relação ao método de posicionamento relativo com o uso da fase da portadora e avaliar o erro de posicionamento envolvido na determinação de coordenadas dos vértices de uma poligonal.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Sistema de Posicionamento Global

A representação do espaço, sempre esteve presente na vida do homem, desde o início das civilizações. A necessidade de demonstrar este espaço através de desenhos, atividades, costumes e principalmente delimitar territórios acompanham o homem até os dias atuais. Existem inúmeras maneiras para se representar o espaço geográfico, novas tecnologias se fazem presentes facilitando a vida do homem, entre elas podemos destacar o Sistema de Posicionamento Global (GPS).

De acordo com Mônico (2000), o sistema de posicionamento global é um sistema de rádio navegação que foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, baseado numa rede de satélites artificiais que permitem a obtenção instantânea do posicionamento tridimensional (latitude, longitude e altitude), velocidade e tempo.

As informações podem ser obtidas, a qualquer momento, em qualquer ponto da superfície terrestre, impossível de ser interrompido e independente das condições meteorológicas.

O sistema está dividido em três segmentos: o segmento espacial formado por um conjunto de satélites; o segmento de controle é constituído de estações de monitoramento distribuídas em diferentes pontos do globo terrestre; e o segmento do usuário que compreende os receptores de sinais de satélite do sistema GPS.

2.2 - Segmentos do Sistema GPS

2.2.1 - Segmento do Espaço

O segmento espacial é formado por um conjunto de satélites GPS que transmitem sinais de rádio navegação para qualquer ponto próximo da superfície terrestre. A função deste segmento é gerar e transmitir os sinais dos satélites GPS

(mensagens de navegação, sinais de código e das portadoras L1 e L2). Em 1994, o sistema alcançou a configuração final, com vinte e quatro satélites operacionais, que circulam a terra numa órbita elíptica a uma altitude de aproximadamente 20.200 km, distribuídos em seis planos orbitais, espaçados em 60° (sessenta graus), e com uma inclinação nominal de 55° (cinquenta e cinco graus) em relação ao plano do equador (MÔNICO, 2000).

Cada plano orbital possui quatro satélites distribuídos de modo a proporcionar uma cobertura total da terra. Com esta constelação o segmento proporciona uma cobertura de, no mínimo, quatro satélites observáveis 24 horas por dia, em qualquer ponto da terra, de acordo com Hofmann-Wellenhof et al., (1997); Segantine, (1998); Moraes et al., (2000).

A identificação dos satélites GPS pode ser feita de diferentes formas: através do número de seqüência do lançamento; do código *Pseudo-Random Noise* (PRN); do número da posição orbital; e do número de catálogo da *National Aeronautics Space Administration* – (NASA), sendo este mais utilizado entre os usuários do sistema o código PRN (HOFMANN-WELLENHOF et al., 1997).

A estrutura dos satélites GPS consiste em uma plataforma de transmissores de rádio, relógios atômicos (rubídio e césio), computadores e outros equipamentos que auxiliam na operação do sistema. Dentre os diversos equipamentos auxiliares, estão dois painéis solares que abastecem de energia e propulsionam o sistema para o ajustamento da órbita e controle da estabilidade do satélite (MÔNICO, 2000).

O sinal que é emitido pelos satélites do sistema GPS, de acordo com Pessoa (1997), consiste numa combinação de códigos, informações de posições dos satélites por definidores de suas órbitas, parâmetros de correção das influências atmosféricas e de outras informações necessárias ao posicionamento. Silva (1997) diz que, os sinais são gerados por osciladores de freqüência de alta precisão. Os osciladores são cristais de Rubídio ou Césio que geram uma freqüência fundamental de 10,23 MHz, onde as demais freqüências utilizadas no sistema são geradas a partir desta. Através de multiplicadores (fatores 154 e 120) obtêm-se as freqüências portadoras da banda L, as quais são: a L1 com 1.575,42 MHz ($10,23 \text{ MHz} \times 154$) e a L2 com 1.227,60 MHz ($10,23 \text{ MHz} \times 120$). Os comprimentos de onda das portadoras L1 e L2 são 19,04 cm e

24,43 cm, respectivamente. Sobre as portadoras são modulados dois códigos: um de precisão (P) e outro de acesso livre (C/A). O código P modula as portadoras L1 e L2 e o código C/A modula somente a L1. Estes códigos apresentam-se defasados em 90° (noventa graus), e têm características de ruídos pseudo-aleatórios, chamados de PRN (*Pseudo Random Noise*).

Para Silva (1997) e Guerreiro (2000), o código P também chamado de “Precise Position Service” - PPS (serviço preciso de posicionamento), modulado sobre as portadoras L1 e L2, consiste em uma seqüência de algoritmos de modulação que se repete a cada 267 dias. Porém, este se modifica toda semana de maneira que cada satélite tenha uma única fração de sete dias do código P, que serve para identificá-lo. Através de uma técnica denominada de AS - Anti-Spoofing (Anti-Sabotagem), o código P é transformado em código Y (código militar). Esta técnica tem como objetivo impedir o acesso civil, uma vez que somente os receptores militares têm a permissão para descriptar o código Y. A frequência do código P é de 10,23 MHz e seu comprimento de onda é de 29,31 m.

Seeber (2003) aborda que a precisão esperada pelos usuários do PPS em tempo real fica em torno de 10 a 20 m.

Segundo Silva (1997), o código C/A ou SPS - “Standard Positioning Service” (serviço de posicionamento padrão), modulado apenas sobre a portadora L1, possui uma frequência de 1,023 MHz e repete a cada milissegundos (ms), com um comprimento de onda de 300 m. Esta repetição a cada ms, do código SPS ou somente S, implica numa ambigüidade de múltiplos inteiros de 300 Km.

Além dos dois códigos (C/A e P), o sinal GPS é constituído de mensagens de navegação. Estas mensagens são sobrepostas nas duas frequências, contendo algumas informações, tais como: efemérides, correções dos relógios do satélite, saúde dos satélites e outras informações para correção dos dados transmitidos (SEGANTINE, 1998).

O sinal GPS é definido por Pessoa (1997) como um conjunto de informações moduladas sobre uma onda que se propaga com uma frequência predefinida e que pode ser captada pelo receptor GPS. Entre as diversas informações estão os códigos (C/A e P) e as mensagens de navegação. Assim, qualquer receptor GPS, sincronizado

com o sinal GPS, em uma ou duas freqüências portadoras (L1 ou L1 e L2) captam estas informações.

2.2.2 - Segmento de Controle

Para Loch & Cordini (1995), o segmento de controle é responsável pela operacionalidade do sistema GPS, sua principal função, é a atualizar as mensagens de navegação transmitidas pelos satélites. Para isso, este segmento é composto de uma série de estações de monitoramento localizadas em Ascencion, Colorado Springs, Diego Garcia, Kwajalein e Hawaii. Estas estações rastreiam continuamente todos os satélites visíveis e transmitem os dados para uma estação mestre de controle, localizada em Colorado Springs (EUA). A finalidade da estação mestre de controle é processar os dados para determinar as efemérides e corrigir os relógios dos satélites. A mensagem atualizada é transmitida para os satélites GPS, para que seja retransmitida para o segmento dos usuários.

De acordo com Segantine (1998), o segmento de controle desempenha as seguintes funções: rastrear os satélites do sistema, determinar as suas órbitas e prever a sua trajetória nas 24 horas seguintes; transmitir periodicamente as mensagens de navegação para cada satélites; corrigir as efemérides transmitidas e os erros dos relógios; determinar o tempo GPS.

As estações monitoras são equipadas com osciladores externos de alta precisão e receptores de dupla freqüência que rastreia os satélites visíveis e transmite os dados para a estação de controle central (MCS: *Master Control Station*). Na estação de controle central os dados são processados e a órbita de cada satélite determinada, após, são enviadas (efemérides transmitidas), além do processamento são feitas correções no relógio do satélite com o objetivo de atualizar as mensagens de navegação. As antenas de Ascension Island, Diego Garcia e Kwajalein são usadas para a transmissão dos dados (MÔNICO, 2000).

Ainda de acordo com Mônico (2000) o sistema GPS tem capacidade de produzir efemérides com precisão, esta pode chegar na ordem de centímetros em cada

coordenada do satélite, possibilitando o atendimento das aplicações que exigem alta precisão.

2.2.3 - Segmento de Usuário

O Sistema GPS foi desenvolvido com o objetivo restrito de uso militar. Posteriormente, a população civil passou a ter acesso aos equipamentos utilizando-os nas mais variadas atividades que necessitassem de posicionamento (HOFMANN-WELLENHOF et al., 2001).

Conforme Fortes (1994), o segmento do usuário está relacionado com a comunidade de usuário (civis e militares) do sistema GPS para determinação da posição, velocidade e tempo. Os receptores podem ser classificados de acordo com a finalidade a que se destinam: de navegação, topográficos e geodésicos. Esta distinção é feita de acordo com o tipo de sinal observado pelo receptor, por código (C/A e P) ou por fases da portadora (L1 e L2) e pela precisão fornecida por cada equipamento.

Mônico (2000) cita os principais componentes de um receptor GPS: antena com pré-amplificador, seção de radiofrequência para a identificação e processamento do sinal, microprocessador para controle do receptor, amostragem e processamento dos dados, oscilador, interface com o usuário, bateria, memória para o armazenamento dos dados.

2.3 - Princípio do Sistema de Posicionamento Global

O posicionamento com GPS, segundo Fortes (1994), baseia-se na medição da distância entre os satélites e o receptor. São mensuradas, simultaneamente, as distâncias entre o observador e quatro satélites de posições conhecidas. Conhecendo-se as coordenadas dos satélites, num determinado tempo, pode-se calcular as coordenadas do receptor. Três satélites seriam suficientes para efetuar o cálculo geométrico das coordenadas (x, y e z) do receptor, porém o quarto é necessário para ajustar o sincronismo do relógio do receptor em relação ao tempo GPS.

A utilização de sinais emitidos pelos satélites para determinar a posição de um observador sobre a superfície terrestre, consiste no principal objetivo do sistema GPS. A distância é a medida fundamental que provém destas observações. Ela pode ser determinada por meio de receptores apropriados para captar sinais dos códigos C/A ou P e a fase da portadora.

2.3.1 – Utilização do código

Para Guerreiro (2000) os códigos, também conhecidos por PRN (*Pseudo-Random Noise*), parecem ruídos aleatórios, mas possuem uma seqüência lógica. Os receptores GPS tem por finalidade decifrar somente estas seqüências, e não sofrerem intervenção de outras fontes sejam elas naturais ou intencionais de sinais de rádio.

Rocha (2000) aborda que se conhecermos a duração da propagação do sinal enviado, do satélite até o receptor, pode-se calcular a distância entre eles. O tempo de duração é calculado a partir do conhecimento dos algoritmos que dão origem ao código e a ligação entre eles e o tempo no sistema GPS, isso quer dizer o momento em que os códigos foram gerados.

A geração do código C/A pelos satélites GPS, segundo Loch & Cordini (1995), se dá a cada 0,001 segundos no tempo determinado por relógios atômicos de alta precisão. Os receptores também possuem relógios internos, usados como se fosse uma réplica do código transmitido pelo satélite. O código C/A fornece a distância a partir da medida do tempo necessário para correlacionar a seqüência do código que entra no receptor, com a seqüência do código gerado dentro do mesmo. Este tempo multiplicado pela velocidade de propagação da onda eletromagnética (velocidade da luz no vácuo), tem, como resultado, a distância percorrida pelo sinal.

O código P está reservado somente para usuários autorizados pelos gestores do sistema e é mais preciso, uma vez que é gerado pela freqüência fundamental. É um código criptografado, cujo objetivo principal é evitar a fraude ou mesmo a geração de réplicas por inimigos (MÔNICO, 2000).

2.3.2 – Utilização da fase da portadora

O posicionamento pela fase da portadora, segundo Rocha (2000), por levar em consideração a diferença de fase da onda emitida pelo satélite e a sua reprodução pelo receptor, consiste num posicionamento muito mais preciso que o anterior.

A fase da portadora é captada pelo receptor através de duas frequências de onda emitidas pelos satélites: a L_1 (1.575 MHz) e L_2 (1.227 MHz). Além disso, as observações da fase permitem determinar a distância entre os satélites e o receptor, no entanto é mensurada, a diferença de fase entre o sinal recebido do satélite e o sinal gerado pelo receptor. Surge assim, mais uma incógnita: o número total de comprimentos de onda inteiros (desconhecido), denominado de ambigüidade, decorridos desde que o sinal partiu do satélite até o instante da sintonia no receptor. Os receptores GPS fornecem medidas da parte fracionada da fase da onda portadora, acrescidas do número total de ciclos desde o início das observações. Esta característica faz com que as medidas de fase sejam ambíguas por um número inteiro de ciclos denominado de ambigüidade (SEGANTINE, 1998; MÔNICO, 2000).

O alcance da precisão na casa dos milímetros é obtida resolvendo-se a ambigüidade de cada satélite, porém, os fatores limitantes são: os distúrbios e mudanças das condições atmosféricas, as obstruções aos sinais dos satélites e outras interferências. Fatores estes que acabam por comprometer a qualidade dos resultados (ROCHA, 2000).

2.4 - Posicionamento de pontos no sistema GPS

O sistema de posicionamento por pontos, através do Sistema de Posicionamento Global utiliza observações de códigos (C/A ou P) e/ou da fase das portadoras (L_1 e L_2).

Garnés et al. (2000), relata que, as medidas realizadas com as observações da fase da portadora são mais precisas do que as de código, e quando o valor da ambigüidade é determinado corretamente, no pós-processamento dos dados, a precisão no posicionamento será melhor. Mesmo assim, restam os erros residuais ainda, que podem ser reduzidos aplicando-se o método de posicionamento relativo, onde são feitas observações simultâneas entre dois receptores.

2.5 - Métodos de posicionamento com GPS

Os métodos de posicionamento podem ser classificados em: absoluto (as coordenadas são relacionadas diretamente ao geocentro) e diferencial ou relativo (as coordenadas são determinadas a partir de um referencial materializado por um ou mais vértices, onde as coordenadas são conhecidas), de acordo com Mônico (2000).

2.5.1 - Método de posicionamento absoluto

O método de posicionamento absoluto utiliza um único receptor que calcula a sua posição em relação a quatro ou mais satélite, através das observações de códigos (HOFMANN-WELLENHOF et al., 2001).

O método de posicionamento absoluto, de acordo com Rocha (2000), compreende a medição realizada, das distâncias entre o receptor e três satélites, simultaneamente. O conhecimento da posição atual de cada satélite permite o cálculo, em tempo real, da posição do receptor. Neste tipo de observação não se conhece a diferença entre os relógios do satélite e do receptor, gerando a adição de mais uma incógnita no problema, que pode ser resolvida com o acréscimo de mais um satélite. Para se conhecer a posição do receptor, deve-se determinar: as três coordenadas do receptor em um sistema definido pelas órbitas dos satélites; a diferença entre os relógios do receptor e do satélite.

A medida da pseudodistância de quatro ou mais satélites, proporciona determinar, em tempo real, a posição geocêntrica e o erro de sincronismo do relógio do receptor.

2.5.2 - Métodos de posicionamento relativo

O posicionamento diferencial ou relativo consiste em observações realizadas por dois receptores, onde um é instalado em um local de coordenadas conhecidas e o outro em locais cujos pontos queira se determinar. Desse modo, o posicionamento apresenta uma melhor precisão, uma vez que se podem corrigir os erros que afetam as medições com GPS, de duas formas: a primeira, através do pós-processamento dos dados, que são obtidos, ao mesmo tempo, pelos dois receptores; ou através da transmissão dos dados de uma estação de referência para um receptor móvel, onde os erros são calculados em tempo real. É um método que pode ser utilizado, tanto para medidas de código C/A, como para as de fase da portadora. Porém nas medidas feitas apenas com a fase da portadora utiliza-se a terminologia, posicionamento relativo (HOFMANN-WELLENHOF et al., 2001; SEGANTINE, 1998).

De acordo com Loch; Cordini (1995), ambas as medidas de fase adquiridas através do processo relativo têm como resultado, observações que podem ser combinadas linearmente, para formarem equações que reduzem ou eliminam os erros inerentes ao sistema GPS. Essas diferenças entre as equações são conhecidas como: simples, dupla e tripla diferença de fase.

Mônico (2000) aborda que a simples diferença de fase promove a diferença das observações realizadas entre dois receptores em relação ao mesmo satélite. Nestas combinações o erro do relógio do satélite é eliminado, tendo em vista que este parâmetro é comum nas duas medidas e o erro referente ao relógio do receptor continua. Ainda segundo esse autor, a dupla diferença de fase é resultado da combinação entre duas equações de simples diferenças de fase, neste processo estão envolvidas observações simultâneas, provenientes de dois receptores e dois satélites.

Para determinar a posição de um ponto utilizando-se o método de posicionamento relativo com a fase da portadora, a solução mais utilizada no processamento dos dados é a dupla diferença de fase. Esta elimina os erros dos relógios dos satélites e receptor e reduz a influência das refrações ionosféricas e troposféricas. Os efeitos da ionosfera e troposfera podem ser desconsiderados se as

linhas bases forem inferiores a 10 km (HOFMANN-WELLENHOF et al., 2001; MÔNICO, 2000).

Para Silva (1997) a solução da tripla diferença é resultante de duas duplas diferenças de fase e tem por finalidade eliminar os erros dos relógios do satélite e do receptor e ainda a ambigüidade inteira da onda portadora.

As equações de simples, dupla e tripla diferença de fase poderão ser encontradas em Hofmann-Wellenhof et al. (2001); Silva (1997) e Mônico (2000).

Para que seja possível a realização do posicionamento relativo, faz-se necessário à disponibilidade de dois receptores, porém, de acordo com Mônico (2000) foram criados os chamados Sistemas de Controle Ativos (SCA), formados por receptores que rastreiam continuamente os satélites visíveis, cujos dados podem ser acessados via sistema de comunicação.

Com o advento desses sistemas (SCA), tornou-se possível efetuar o posicionamento relativo com apenas um receptor, porém, o usuário, deverá acessar os dados de estações (uma ou mais) que pertençam ao SCA, assim o sistema de referência do SCA será incluído na solução do usuário a partir das coordenadas das estações que serão utilizadas como estação de referência. No Brasil temos a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC).

Dentre os métodos de posicionamento relativo podem ser utilizados os métodos de posicionamento cinemático, pseudo-cinemático, *Stop-and-Go*, estático-rápido e estático.

O posicionamento relativo cinemático de acordo com Silva (1990) é originado pela instalação de dois receptores sobre dois pontos conhecidos, onde são coletados dados em relação a quatro ou mais satélites, num curto espaço de tempo, com objetivo de solucionar a ambigüidade inicial. Posteriormente a este procedimento, um receptor permanece no local e o outro é deslocado ao longo da trajetória que se deseja determinar. Neste método exige-se sintonia contínua dos sinais das portadoras entre o receptor móvel e no mínimo quatro satélites. O posicionamento cinemático permite ainda levantamentos locais com precisão de milímetros, num curto intervalo de tempo (segundos ou minutos).

Para Segantine (1998), no posicionamento relativo pseudo-cinemático, conhecido também por estático intermitente ou reocupação, um dos receptores permanece fixo no local de coordenadas conhecidas e o outro ocupa pontos desconhecidos num período de 2 a 5 minutos, mais de uma vez, para serem observadas duas épocas diferentes. A reocupação dos pontos é feita após 1 hora aproximadamente, por um tempo de 5 minutos de observação. Neste método não é necessário uma sintonia contínua entre os satélites e o receptor.

Rocha (2000) aborda que o método de posicionamento denominado de *stop and go*, consiste em movimentar um receptor para marcar os pontos desejados e um outro fixo (estação fixa). Neste método durante todo o processo de medição faz-se necessária à comunicação em modo contínuo com os satélites, ou seja, o receptor mesmo estando operando na função *stop* continua rastreando os satélites.

Para Hofmann-Wellenhof et al. (2001), no método relativo *stop-and-go*, são feitas paradas rápidas sobre os pontos de interesse, resultando num acúmulo de épocas. As coordenadas dos pontos são determinadas no processamento das médias das observações. Este método é mais preciso que o cinemático simples, por que, são registradas, um número maior de épocas sobre os pontos de interesse.

O posicionamento relativo estático-rápido consiste em uma variação do método estático e foi criada para o posicionamento de bases curtas (inferiores a 15 km). Esse método de posicionamento é usado em trabalhos que necessitam alta precisão com um tempo reduzido (ROCHA, 2000).

O levantamento relativo estático-rápido é intermediário entre os estáticos convencionais e os cinemáticos. A fase da portadora é a observação fundamental deste método, onde são utilizadas combinações lineares das duas frequências (L_1 e L_2) para solucionar a ambigüidade. O tempo de ocupação dos pontos é de 5 e 10 minutos aproximadamente. Quando se consegue fixar a ambigüidade, a precisão fica em torno de 1 a 2 ppm da distância entre a estação fixa ao receptor móvel, sendo suficientes para a maioria dos levantamentos topográficos. O comprimento da linha base consiste numa das limitações deste método, devendo ser inferior a 5 km, devido à exigência de uma alta correlação entre as condições ionosféricas. Uma outra restrição é em relação ao tipo de receptor, que precisa rastrear ambas as portadoras. A principal vantagem da

utilização desta técnica é que durante o deslocamento entre os pontos os receptores podem ficar desligados (PESSOA, 1996).

Para Maia (1999), o posicionamento relativo estático é aquele em que dois ou mais receptores continuam fixos observando os mesmos satélites durante todo o tempo de ocupação dos pontos. Neste tipo de posicionamento um dos receptores permanece instalado sobre um ponto cujas coordenadas são conhecidas e o outro, móvel, é levado até os pontos a serem determinados.

Este método de posicionamento segundo Rocha (2000) é a técnica mais tradicional referente ao posicionamento com GPS. Cada ponto é observado até que se tenha uma quantidade suficiente de dados para no mínimo quatro satélites. O tempo de coleta dos dados varia com a quantidade de satélites disponíveis, as condições atmosféricas, o tipo de receptor e o comprimento da linha base.

Segantine (1998) aborda que o método de posicionamento relativo estático usa como medida, a fase da portadora, é o método mais utilizado, uma vez que fornece precisões geodésicas. Neste método, a precisão varia de acordo com o tipo de receptor utilizado (simples frequência, dupla frequência e códigos), número de satélites presentes durante o rastreamento dos pontos, com o comprimento da linha de base e o tempo de ocupação dos pontos.

2.6 – Fatores que afetam o posicionamento GPS

Medidas efetuadas com receptores GPS são afetadas por erros denominados de grosseiros, aleatórios e sistemáticos.

Segundo Gemael (1994), os erros grosseiros são causados pelo observador, devido à falta de cuidado na hora da tomada das observações. Os erros acidentais ou aleatórios são os de natureza desconhecida, e tendem a se neutralizar quando o número de observações for grande. Os erros sistemáticos que são aqueles produzidos por causas conhecidas e que podem ser tratados através de técnicas especiais de observação ou eliminados posteriormente com o emprego de modelos matemáticos.

Os erros sistemáticos (causas conhecidas), que afetam o posicionamento de pontos com GPS estão relacionados com as órbitas dos satélites, os erros dos relógios dos satélites e receptores; a propagação do sinal na atmosfera (refração troposférica e ionosférica); multicaminhamento do sinal; perdas de ciclos da portadora (*cycle slips*) e a SA (*Selective Availability*). Alguns destes erros podem ser eliminados ou pelo menos reduzidos se forem empregadas diferentes técnicas de observação e de processamento dos dados observados (CAMARGO et al, 2000).

De acordo com Segantine (1998), várias fontes de erros estão associadas ao posicionamento absoluto e, fundamentalmente, estes erros são: erro do relógio do satélite, erro do relógio do receptor, erro dos dados das efemérides transmitidas e erro da propagação do sinal.

As fontes de erro podem ser classificadas em função dos erros que ocorrem nas estações de coleta (variações do centro de fase da antena e multicaminhamento) e erros dependentes da distância entre as estações (diferenças orbitais entre os satélites) e diferenças ionosféricas e troposféricas (SEGANTINE, 2005).

2.6.1 – Diferença de precisão dos relógios dos satélites e dos receptores

De acordo com Beraldo; Soares (1995), os satélites GPS possuem relógios atômicos, formados por osciladores de cristal, de césio e rubídio e com precisão em torno de 10^{-12} segundos. Os relógios dos receptores são de cristais de quartzo, com uma precisão de 10^{-9} segundos. A diferença existente na precisão dos relógios resulta num erro de sincronia entre satélites e receptores, que pode ser eliminado através do método de posicionamento diferencial ou relativo.

2.6.2 – Passagem do sinal através da atmosfera

A constituição da atmosfera terrestre, de acordo com Silva et al. (1998), se dá por uma mistura de gases e vapores d'água e está dividida em camadas. O estudo dos fenômenos de refração das ondas eletromagnéticas, transmitidas pelos satélites GPS, necessita de camadas de interesse que são: a ionosfera e a troposfera. Entende-se por refração, a mudança da direção e da velocidade da onda eletromagnética, quando ela se propaga pela atmosfera.

2.6.2.1 - Passagem do sinal através da troposfera

A troposfera é a região gasosa da atmosfera, que se estende da superfície terrestre até próximo dos 40 km de altura.

Para Leick (1994) a troposfera é a região gasosa da atmosfera, constituída de uma mistura de dois gases ideais, vapores de água seca e úmida, onde a parte seca resulta em cerca de 90% da refração troposférica.

A troposfera é uma camada da atmosfera eletricamente neutra (livre de íons), de modo que os fatores dessa camada que contribuem para o atraso do sinal GPS na são a temperatura, a umidade e a pressão do ar, que estão intimamente relacionadas com a altitude do local de observação. Este atraso não depende da frequência com que os sinais são emitidos pelos satélites.

A correção da refração troposférica abordada por Silva et al. (1998) pode ser feita utilizando-se os modelos matemáticos fundamentados na dinâmica da atmosfera, no tocante a pressão do ar seco, a temperatura do ar e, principalmente a pressão do vapor d'água, uma vez que esta última apresenta uma grande variabilidade.

Para linhas-base curtas (inferior a 10 Km), ambos os pontos sofrem os mesmos efeitos da troposfera (caso do método diferencial), neste caso os erros troposféricos se cancelam e a correção não se faz necessária (PESSOA, 1997; SEGANTINE, 1998).

O erro troposférico é relativamente pequeno, entre 1.9. a 2.5 m próximo ao zênite e aumentando com a diminuição do ângulo de elevação, variando de 20 a 28 m, para ângulos de 5°, aproximadamente.

Vários trabalhos foram realizados para desenvolver e avaliar os modelos do atraso troposférico, dentre os quais se pode destacar os modelos de Saastamoinen (1973) e Hopfield (1969), Marini (1972) e Herring (1992).

2.6.2.2 - Passagem do sinal através da ionosfera

Situada entre 50 e 1000 km, a camada da atmosfera denominada de ionosfera, é composta por elétrons livres. Estes por sua vez funcionam como um meio dispersivo dos sinais dos satélites GPS, gerando um atraso no código e um adiantamento na fase da portadora, quando atravessam essa camada. Como consequência, ocorre um aumento no comprimento das distâncias determinadas através dos sinais de código, e

uma redução nas distâncias obtidas pela fase da portadora. A grandeza deste efeito é variável com a atividade solar; a localização geográfica do ponto de observação; o horário de rastreamento (maior durante o dia); a estação do ano (maior no verão); com o ângulo de elevação dos satélites em relação ao horizonte e zonas de perturbação geomagnéticas da terra. A influência da ionosfera é mais expressiva nas linhas-base com distâncias médias ou longas. Nas linhas de base curtas este efeito pode ser cancelado aplicando-se técnicas de simples, dupla e tripla diferença de fase das observações, obtidas por processo relativo. O atraso ionosférico é cancelado nas linhas de bases curtas, devido ao fato de que os sinais percorrem a mesma região da ionosfera, produzindo um erro de igual grandeza (SEGANTINE, 1998; CAMARGO et al. 2000).

A refração ionosférica sendo dependente do comprimento da linha-base e da frequência de emissão dos sinais dos satélites, vários métodos de posicionamento possibilitam a correção destes erros. Estes métodos são empregados com receptores de frequência L_1 e/ou L_2 . São utilizados receptores de duas frequências para linhas de base médias ou longas, logo, a correção é realizada através da combinação linear das medidas de fase das portadoras L_1 e L_2 . Para as de linhas de base curtas, utilizam-se receptores de uma frequência, a correção é feita através do método de posicionamento relativo ou empregando-se um modelo ionosférico, cujos coeficientes são enviados nas mensagens de navegação. O modelo ionosférico comumente utilizado para correção de medidas feitas com receptores L_1 é conhecido como modelo de Klobuchar (SANTOS, 2000).

Os erros sistemáticos, no posicionamento com o uso do sistema GPS tem outra origem, denominada de multicaminhamento do sinal emitido pelos satélites. Neste tipo de erro ocorre a reflexão do sinal enviado pelos satélites, devido a presença de obstáculos localizados próximos da antena receptora, podendo influenciar nas medidas realizadas com receptores GPS. A proposta seria que os sinais emitidos pelos satélites percorressem um caminho direto até a antena receptora, determinando a distância entre o satélite e o receptor, mas com a presença de obstáculos (prédios, árvores, redes de transmissão e solo) o sinal é refletido resultando em caminhos mais longos gerando erros nas medições. Como consequência do multicaminhamento tem-se o

aumento do tempo de propagação do sinal, podendo distorcê-lo em amplitude e fase. Os sinais de código e fase das portadoras (L_1 e L_2) são afetados por este efeito. Técnicas foram desenvolvidas com intuito de reduzir o efeito do multicaminhamento, por exemplo: o uso de antenas especiais (tipo *choke-ring*) para o rastreamento dos satélites; a instalação das antenas em locais livres de superfícies refletoras e observações dos sinais por um longo período de tempo (ISHIKAWA; ITAME, 2000).

Rocha (2000) aborda que a maior parte dos erros nas medições que se utilizam do sistema GPS são provocados pelo homem. A técnica SA consiste em uma degradação no sinal, internacionalmente imposta, onde ocorre a manipulação dos dados das efemérides transmitidas e dos relógios dos satélites. O autor ainda coloca que o SA é introduzido no sistema através de uma combinação de duas técnicas, são elas: técnica epsilon, que é uma degradação de parâmetros orbitais e técnica delta, que é a degradação de um dos coeficientes de correção do relógio dos satélites. Sendo assim, as coordenadas contêm erros e não podem ser corretamente calculadas no posicionamento absoluto e no posicionamento relativo não ocorre influência, tendo em vista que elas se anulam.

Esta técnica foi introduzida no sistema GPS pelo Departamento de Defesa dos EUA (DOD) para degradar a precisão do posicionamento absoluto para usuários do código C/A (usuários civis). A precisão do posicionamento, com a SA ativa ficava em torno de 100 m na horizontal e 140 m na vertical. Esta técnica foi implantada em 04 de abril de 1994 e desativada em 01 de maio de 2000 e, consistia na manipulação das efemérides transmitidas nas mensagens de navegação (conhecida como Técnica *Épsilon*) e na desestabilização dos relógios dos satélites (Técnica *Dither*). Com a desativação da SA, obtém-se uma precisão no posicionamento absoluto, com o código C/A, cerca de dez vezes melhor (MÔNICO, 2000).

Para melhorar a precisão do posicionamento por pontos através do sistema GPS, com o intuito de reduzir a influência dos erros, citados anteriormente, vários métodos de levantamento e técnicas de processamento das observações foram pesquisados. Os métodos e as técnicas serão abordados no decorrer deste trabalho.

Segundo Robaina; Ten Caten (2006), o atraso ionosférico pode ser ignorado, estimado ou medido, de modo que adoção de cada uma das estratégias pode levar a diferentes resultados.

Os receptores de dupla frequência apresentam a vantagem de eliminar os efeitos da ionosfera, o que representa uma melhor precisão para o posicionamento, uma vez que o atraso ionosférico é função da frequência do sinal e passível de ser medido.

Para compensar essa desvantagem, que os receptores de uma frequência apresentam, os fabricantes apresentam modelos de estimativa do atraso ionosférico em seus softwares, de modo que o usuário possa obter um resultado melhor no posicionamento.

Dentre os modelos para a estimativa do atraso ou correção ionosférica pode-se encontrar o modelo de Klobuchar (1987), que de acordo com Segantine (2005), compensa de 50 a 60% do efeito da ionosfera, no posicionamento de pontos com o GPS.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Descrição da área experimental

Este trabalho foi desenvolvido em uma poligonal implantada em área experimental situada na Fazenda Liberdade, distrito de Tupantuba, município de Santiago-RS (Figura 3.1).

Santiago é um município que se encontra a 439 metros acima do nível do mar. Apresenta clima subtropical úmido, com temperaturas que variam entre 13 e 21°C e a média térmica é de 17,9°C (Gomes, 2007).

A pesquisa envolveu o levantamento de uma poligonal envolvendo um receptor GPS de simples frequência, no modo absoluto, com o objetivo de determinar as coordenadas dos vértices de uma área experimental, utilizando como observável o código sem e com correções devido à propagação do sinal na atmosfera (troposfera e ionosfera).

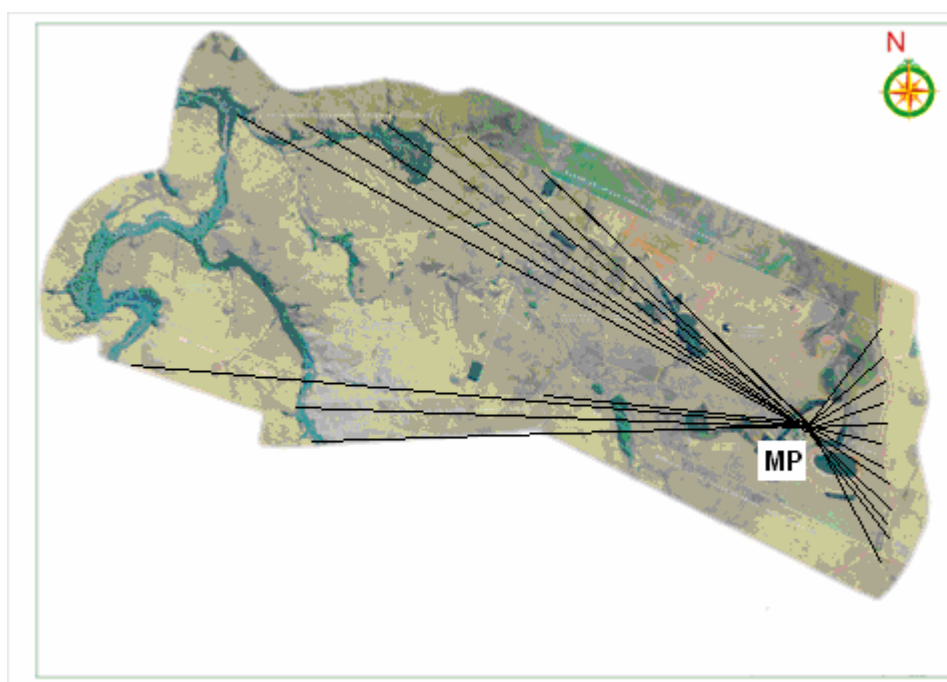


Figura 3.1 – Imagem digital da Fazenda Liberdade mostrando a área experimental.

3.2 - Poligonal e caracterização dos pontos selecionados

O critério estabelecido para a seleção dos pontos, foi feito de maneira a representar uma situação real de levantamento no campo.

A poligonal testemunha, com área de 683,83 ha, foi constituída de um levantamento relativo realizado com receptor GPS de frequência simples utilizando-se como observável a fase da portadora. Os pontos dos vértices foram materializados por pinos cravados em marcos de madeira, sendo que alguns desses vértices são mostrados nas figuras 3.2 a 3.14.



Figura 3.2 – Ponto do vértice PT_MS 01



Figura 3.3 – Ponto do vértice PT_MS 02



Figura 3.4 – Ponto do vértice PT_MS 03



Figura 3.5 – Ponto do vértice PT_MS 04



Figura 3.6 – Ponto do vértice PT_MS 05



Figura 3.7 – Ponto do vértice PT_MN 03



Figura 3.8 – Ponto do vértice PT_MN 04



Figura 3.9 – Ponto do vértice PT_MN 07



Figura 3.10 – Ponto do vértice PT_MN 09



Figura 3.11 – Ponto do vértice PT_MN 21



Figura 3.12 – Ponto do vértice PT_PE 07



Figura 3.13 – Ponto do vértice PT_PE 08



Figura 3.14 – Ponto do vértice PT_PE 09

3.3 – Implantação de marco para utilização como estação base.

A implantação do marco geodésico de apoio com precisão classe P2, identificado como MP foi feita próximo a sede da propriedade, em local protegido com cercado de madeira, distante de árvores e edificações, e devidamente protegido contra animais e máquinas agrícolas (Figura 3.15).



Figura 3.15 – Marco de precisão (base)

3.3.1 – Rastreio sobre o Marco de Precisão Classe P2

O transporte das coordenadas para o marco de apoio MP na propriedade, foi empregado com um receptor GPS de dupla frequência (TOPCON modelo Hiper GGD), configurado com taxa de coleta de 5 em 5 segundos, PDOP menor que 6 e máscara de elevação de 15° que ficou centrado durante 8 horas, 29 minutos e 30 segundos sobre o marco de concreto.

A Figura 3.16 mostra o esquema dos pontos envolvidos no transporte de coordenadas para o marco de precisão implantado na área experimental e as estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) utilizadas.

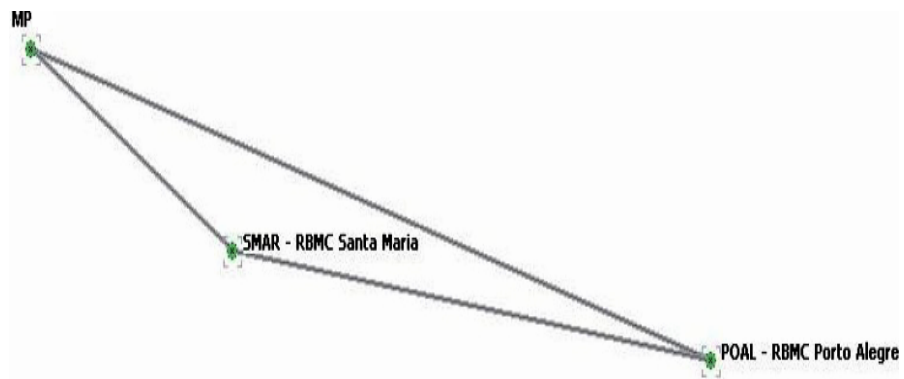


Figura 3.16 – Esquema da rede para implantação da estação base.

A Figura 3.17 mostra o receptor de dupla frequência utilizado para o transporte de coordenadas para o marco de precisão que foi utilizado como base para o levantamento dos vértices da poligonal da área experimental.

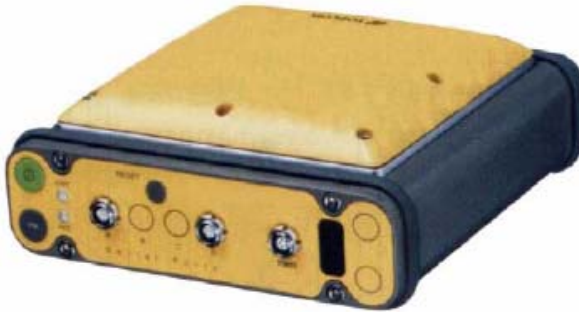


Figura 3.17 – Receptor de dupla frequência utilizado na base.

3.3.2 – Transferência dos dados brutos

Os dados coletados pelo GPS TOPCON Hiper de dupla frequência (arquivos com extensão TPS) foram transferidos pelo programa *PCCDU* da Topcon Position System versão 2.1.13.0, para serem transformados dos formatos nativos para o formato RINEX.

3.3.3 - Processamento dos dados de rastreamento do Marco MP

Os arquivos do GPS TOPCON L1/L2 em formato RINEX foram processados com os dados dos receptores GPS de marca TRIMBLE das estações ativas do IBGE de Santa Maria-RS e Porto Alegre-RS com o aplicativo GP Survey Desktop Manager 2.35.0.0 da TRIMBLE Navigation Limited.

3.3.4 - Ajustamento dos dados do processamento do Marco MP

Após o processamento dos dados do rastreamento sobre o marco MP, as coordenadas, obtidas a partir das estações ativas da RBMC (Santa Maria e Porto Alegre), foram ajustadas pelo Método dos Mínimos Quadrados com programa específico desenvolvido pelo Laboratório de Geomática da Universidade Federal de Santa Maria – RS.

3.4 – Ajustamento das coordenadas do marco de precisão

3.4.1 – Análise do erro de fechamento

Segundo Wolf et al (1997), este tipo de análise pode ser feita antes do ajustamento, para ver se o erro de fechamento está dentro da tolerância admitida.

O vetor erro de fechamento é dado por:

$$W = F(Lb) = \begin{bmatrix} W1 \\ W2 \\ W3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X1 + \Delta X2 + (X1 - X3) \\ \Delta Y1 + \Delta Y2 + (Y1 - Y3) \\ \Delta Z1 + \Delta Z2 + (Z1 - Z3) \end{bmatrix} \quad [3.1]$$

O erro total calculado, a partir dos valores observados no levantamento, é

$$Etc = \sqrt{W_1^2 + W_2^2 + W_3^2} \quad [3.2]$$

e o erro total admissível, ao nível de significância de 95%, pode ser estimado pela expressão $Eta = 3,1328\sqrt{\rho_{Lc}}$, sendo $\rho_{Lc} = U^T (B \cdot P^{-1} \cdot B^T) U$ e

$$U^T = \begin{bmatrix} \frac{W_1}{Etc} & \frac{W_2}{Etc} & \frac{W_3}{Etc} \end{bmatrix} \quad [3.3]$$

3.4.2 – Ajustamento

O método utilizado para o ajustamento das coordenadas do marco de precisão MP foi o das equações de condição ou dos correlatos (GEMAEL, 1994).

As observações (Lb) são $\Delta X1$, $\Delta Y1$, $\Delta Z1$, $\Delta X2$, $\Delta Y2$ e $\Delta Z2$, e as incógnitas são as coordenadas do marco. Os graus de liberdade r são determinados pela diferença entre o número de observações n e o número de equações de condição u (GEMAEL, 1994), isto é, $r = n - u$.

O modelo matemático é do tipo $F(La) = 0$ (equações de condição), que será expresso por:

$$\begin{aligned}\Delta X_1 + V_1 + \Delta X_2 + V_2 + (X_3 - X_1) &= 0 \\ \Delta Y_1 + V_3 + \Delta Y_2 + V_4 + (Y_3 - Y_1) &= 0 \\ \Delta Z_1 + V_5 + \Delta Z_2 + V_6 + (Z_3 - Z_1) &= 0\end{aligned}\quad [3.4]$$

O modelo matemático das equações de condição pode ser transformado em:

$$\begin{aligned}B(1,1) V_1 + B(1,2) V_2 + B(1,3) V_3 + B(1,4) V_4 + B(1,5) V_5 + B(1,6) V_6 + W_1 &= 0 \\ B(2,1) V_1 + B(2,2) V_2 + B(2,3) V_3 + B(2,4) V_4 + B(2,5) V_5 + B(2,6) V_6 + W_2 &= 0 \\ B(3,1) V_1 + B(3,2) V_2 + B(3,3) V_3 + B(3,4) V_4 + B(3,5) V_5 + B(3,6) V_6 + W_3 &= 0\end{aligned}\quad [3.5]$$

onde B é a matriz dos coeficientes e W é o vetor do erro de fechamento, de modo que a (3.4), pode ser expressa na forma matricial por $B \cdot V + W = 0$.

Conhecidas as matrizes W e B , a matriz dos pesos P foi montada admitindo que as observações são independentes, que os pesos sejam inversamente proporcionais às variâncias de cada componente e que $\rho_0^2 = I$ (variância da unidade de peso *a priori*).

O cálculo do vetor dos resíduos V pode ser feito por

$$V = P^{-1} B^T \cdot K \quad [3.6]$$

onde $K = -M^{-1} \cdot W$ e $M = B \cdot P^{-1} \cdot B^T$.

3.4.3 – Avaliação do ajustamento

A qualidade do ajustamento foi feita pela aplicação de um teste estatístico a fim de avaliar se existe diferença significativa entre a variância a posteriori e a variância a priori.

A variância da unidade de peso *a posteriori* ($\hat{\rho}_0^2$) foi estimada por:

$$\hat{\rho}_0^2 = \frac{\mathbf{V}^T \mathbf{P} \mathbf{V}}{r} \quad [3.7]$$

O teste estatístico utilizado foi o Teste do χ^2 (Qui-quadrado), considerando um nível de significância de 95% e as hipóteses avaliadas são:

$$\text{Hipótese de nulidade } H_0: \rho_0^2 = \hat{\rho}_0^2 = 1 \quad [3.8]$$

$$\text{Hipótese alternativa } H_a: \rho_0^2 \neq \hat{\rho}_0^2 \neq 1$$

Se o valor de χ^2 calculado pela expressão $\chi^2 = r \cdot \hat{\rho}_0^2 / \rho_0^2$, estiver contido no intervalo $\chi^2(0,025;r) < \chi^2_{\text{calculado}} < \chi^2(0,975;r)$, se aceita os resultados do ajustamento, com um grau de confiança de 95%.

Os valores observados ajustados (diferença de coordenadas) são calculados por:

$$L_a = L_b + V \quad [3.9]$$

Onde L_b é o vetor das diferenças de coordenadas observadas (ΔX , ΔY e ΔZ) e L_a o vetor das diferenças de coordenadas observadas ajustadas (ΔX_a , ΔY_a e ΔZ_a).

3.4.4 – Cálculo das coordenadas do marco e sua precisão posicional

As coordenadas do marco MP, após ajustamento, no Datum desejado pode ser feito através de:

$$\begin{aligned}
 XMP &= X_{RBMC} + \Delta X \\
 YMP &= Y_{RBMC} + \Delta Y_a \\
 ZMP &= Z_{RBMC} + \Delta Z_a
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

onde X_{RBMC} , Y_{RBMC} e Z_{RBMC} são as coordenadas da estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo.

A determinação da precisão das coordenadas do marco transportado, após o ajustamento foi feito por :

$$\begin{aligned}
 \rho_x &= \hat{\sigma}_0 \sqrt{\sigma_{\Delta x}} \\
 \rho_y &= \hat{\sigma}_0 \sqrt{\sigma_{\Delta y}} \\
 \rho_z &= \hat{\sigma}_0 \sqrt{\sigma_{\Delta z}}
 \end{aligned}
 \tag{3.11}$$

e a precisão horizontal do marco pode ser calculado por:

$$\rho_{MP} = \sqrt{\rho_x^2 + \rho_y^2}
 \tag{3.12}$$

3.5 – Levantamento de Perímetro

O perímetro da poligonal foi levantado vértice a vértice, onde os vértices monumentalizados por moirões foram previamente identificados com plaquetas fixadas no topo e na parte central do moirão, em bom estado de conservação, sendo feitas substituições dos moirões que não estavam em bom estado de conservação.

3.5.1 Rastreamento com receptor GPS

O GPS de dupla frequência que ocupou o marco de apoio MPC2 serviu de base para o receptor GPS de frequência simples (móvel, rover ou andarilho), para posterior correção diferencial das coordenadas dos vértices da poligonal.

As coordenadas dos vértices selecionados da propriedade foram obtidas por rastreamento de GPS de frequência simples L1, marca *ASHTECH modelo Promark 2* (Figura 3.18), com tempo de ocupação mínima de 20 minutos e taxa de coleta de 5 em 5 segundos, utilizando-se o método de posicionamento estático.



Figura 3.18 – Receptor de frequência simples utilizado nos vértices da poligonal.

Após o rastreamento, os arquivos nativos dos receptores GPS, foram convertidos para o formato *RINEX* com o programa *Ashtech Solutions*.

Os dados foram processados no programa *Spectrum Survey* - versão 3.23 - da Sokkia, tendo sido usados como referência (base) os dados obtidos sobre o marco MPC2 (Marco de precisão Classe P2).

Os arquivos nativos obtidos sobre o Marco MPC2, após rastreamento, foram convertidos para o formato *RINEX* com o programa *Topcon Tools*.

3.5.2 Processamento dos dados dos vértices ocupados com GPS

Os dados do receptor GPS PROMARK2 foram descarregados no programa *Ashtech Solutions*. Após a descarga, estes arquivos contendo todas as observações coletadas pelo aparelho ainda no formato nativo foram convertidos para o formato *RINEX*.

A fase da portadora dos arquivos do PROMARK2, já em formato *RINEX*, foram processados para a correção diferencial com os dados do TOPCON L1/L2 (que serviu de base) com o programa *Spectrum Survey* da SOKKIA.

As coordenadas dos vértices da poligonal obtidas dessa forma serviram de comparação com as coordenadas dos vértices da poligonal que foram obtidas através do processamento do código com e sem a correção dos efeitos ionosféricos e troposféricos.

3.6 – Estratégias de processamento do código utilizadas

As diferentes estratégias de processamento do código envolvendo ou não as correções da atmosfera (ionosfera e troposfera) utilizadas neste trabalho podem ser vistas na Tabela 3.1, onde o método de posicionamento utilizado foi o absoluto (um receptor isolado), a observável processada foi o código CA.

Tabela 3.1 – Estratégias para a obtenção de coordenadas dos vértices da poligonal utilizando posicionamento absoluto com o código CA.

Estratégia	Método de Posicionamento	Observável processada	Correção atmosférica		Símbolo
			Ionosférica	Troposférica	
01	Absoluto	Código	Não 0	Não 0	I0T0
02	Absoluto	Código	Não 0	Sim 1	I0T1
03	Absoluto	Código	Não 0	Sim 2	I0T2
04	Absoluto	Código	Não 0	Sim 3	I0T3
05	Absoluto	Código	Sim 1	Não 0	I1T0
06	Absoluto	Código	Sim 1	Sim 1	I1T1
07	Absoluto	Código	Sim 1	Sim 2	I1T2
08	Absoluto	Código	Sim 1	Sim 3	I1T3
09	Absoluto	Código	Sim 2	Não 0	I2T0
10	Absoluto	Código	Sim 2	Sim 1	I2T1
11	Absoluto	Código	Sim 2	Sim 2	I2T2
12	Absoluto	Código	Sim 2	Sim 3	I2T3

Na Tabela 3.1, o significado dos índices dos símbolos referentes à correção da ionosfera são descritos por: I0 (sem correção da ionosfera), I1 (com correção da ionosfera – equação 3.1) e I2 (com correção da ionosfera pelo modelo de Klobuchar).

Na Tabela 3.1, o significado dos índices dos símbolos referentes à correção da troposfera são descritos por: T0 (sem correção da troposfera), T1 (com correção da troposfera pelo modelo de Hopfield), T2 (com correção da troposfera pelo modelo de Saastamoinen) e T3 (com correção da ionosfera pelo modelo de Marini).

3.7. Processamento do código nas diferentes estratégias

Foi utilizado o programa computacional para o processamento do código, desenvolvido no Laboratório de Geomática do Departamento de Engenharia Rural da UFSM (DOCKHORN, 2006), cuja tela principal pode ser visto na Figura 3.19, em linguagem Visual Basic 6.

Os dados coletados pelo receptor foram convertidos para o formato RINEX e o programa utilizou as efemérides operacionais para a estimativa das coordenadas dos satélites.

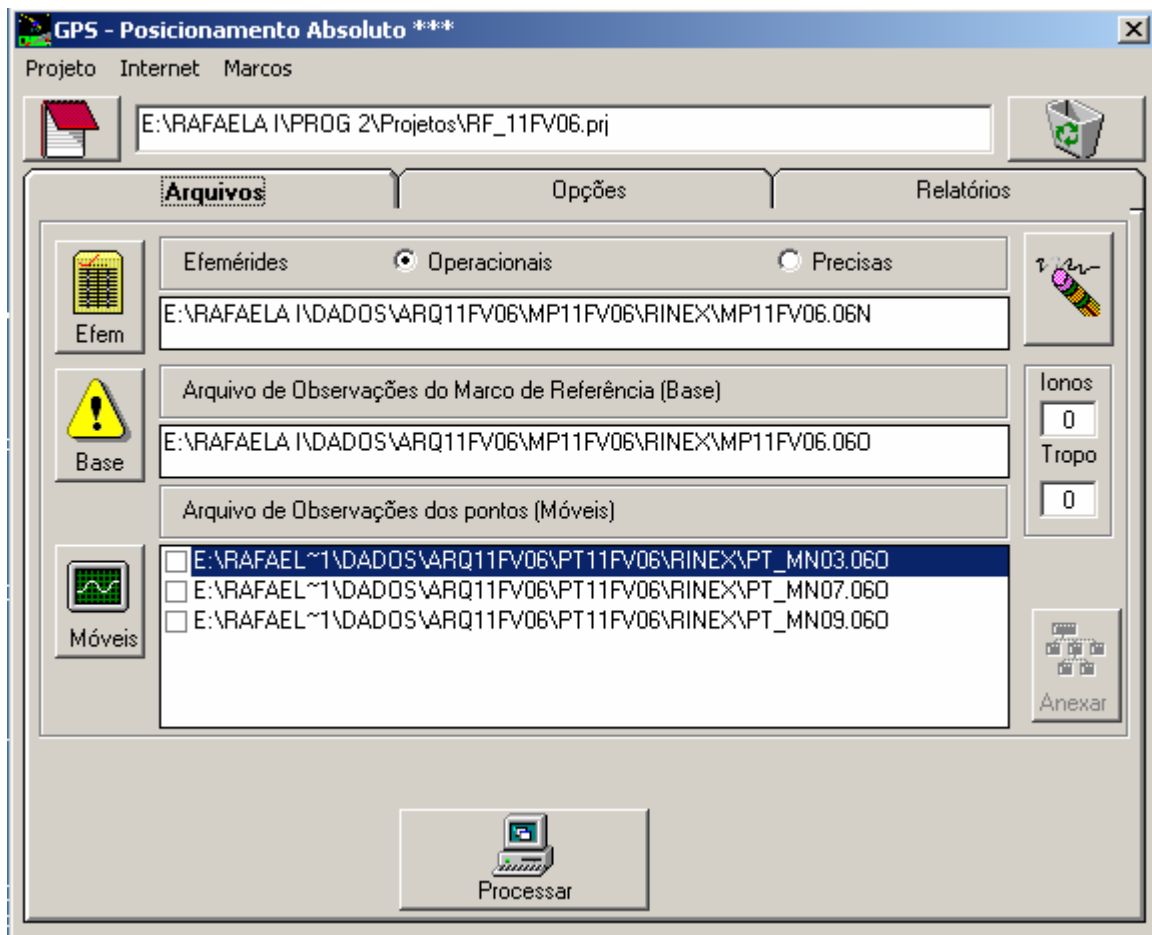


Figura 3.19 – Aplicativo computacional de processamento dos dados

3.8. Processamento do código sem e com correção ionosférica (I0, I1 ou I2).

O processamento dos dados foi realizado com o aplicativo computacional (Figura 3.19), tendo como diferença que os valores da pseudodistância sobre a portadora L1 foram corrigidos para levar em conta o atraso ionosférico.

Para levar em consideração o tipo de correção da ionosfera no processamento basta digitar na caixa “Ionos” da Figura 3.19 o valor 0, 1 ou 2.

3.8.1. Formas de considerar a correção ionosférica

Neste trabalho foram consideradas duas formas de correção da ionosfera: uma utilizando um modelo de estimativa e outra modelando o atraso ionosférico em função da pseudodistância sobre a portadora L1 e da pseudodistância sobre a portadora L2.

3.8.1.1. Modelo de Klobuchar (I1)

A modelagem do atraso ionosférico, segundo Klobuchar, é representada pela seguinte formulação:

$$\Delta_v^{\text{iono}} = 5.10^{-9} + A_2 \cos \left(\frac{2\pi \left(\frac{\lambda_{\text{IP}}}{15} + t_{\text{UT}} - 14 \right)}{A_4} \right) \quad [3.13]$$

na qual Δ^{iono} representa o atraso ionosférico vertical (m) e os coeficientes A_2 e A_4 , são obtidos na mensagem de navegação transmitida pelos satélites. Uma descrição detalhada do processo de cálculo pode ser encontrada em Segantine (2005).

3.8.1.2. Em função da pseudodistâncias (I2)

O valor da correção ionosférica, para cada época de observação, foi obtido dos dados coletados pelo receptor de dupla frequência instalado na base e em cada sessão de observação pela expressão:

$$\Delta I (t) = 1.5457 (PD_2 - PD_1) \quad [3.14]$$

onde ΔI é o valor da correção ionosférica (m), PD1 e PD2 são as pseudodistâncias observadas (m) na frequência L1 e L2, respectivamente.

3.9. Processamento do código sem e com correção troposférica (T0, T1, T2 e T3)

O processamento dos dados foi realizado com o programa computacional (Figura 3.19), tendo como diferença que os valores da pseudodistância sobre a portadora L1 foram corrigidos para levar em conta o atraso troposférico.

Para levar em consideração o tipo de correção da troposfera no processamento basta digitar na caixa “Tropo” da Figura 3.19 o valor 0, 1, 2 ou 3.

3.9.1. Formas de considerar a correção troposférica

Neste trabalho foram consideradas três formas de correção da troposfera: uma utilizando um modelo de Hopfield (1969), outra utilizando o modelo de Saastamoinen (1973) e outra utilizando o modelo de Marini (1972) e Herring (1992).

3.9.1.1. Modelo de Hopfield (T1)

A modelagem do atraso troposférico, de acordo com Hopfield, pode ser estimada da seguinte maneira:

$$\Delta^{\text{Trop}} = \Delta_s^{\text{Trop}} + \Delta_u^{\text{Trop}} \quad (3.15)$$

onde

$$\Delta_s^{\text{Trop}} = \frac{10^{-6}}{5} \frac{77.64 \frac{p}{T}}{\sin \sqrt{E^2 + 6.25}} [40136 + 148.72 (T - 273.16)] \quad (3.16)$$

representa a parcela referente à componente seca do atraso troposférico e

$$\Delta_u^{\text{Trop}} = \frac{10^{-6}}{5} \frac{-12.96T + 3.718 \cdot 10^5}{\sin \sqrt{E^2 + 2.25}} \left(11000 \frac{e}{T} \right) \quad (3.17)$$

representa a parcela referente a componente úmida do atraso troposférico.

Nas expressões anteriores, Δ^{TROP} representa o atraso troposférico vertical (m), z o ângulo zenital de cada satélite (graus), p a pressão atmosférica (mbar), T a temperatura ambiente (°C), e a pressão parcial de vapor d'água (mbar).

3.9.1.2. Modelo de Saastamoinen (T2)

O modelo de Saastamoinen considera o atraso troposférico como sendo uma função do ângulo zenital do satélite, da pressão atmosférica, da temperatura e da pressão parcial de vapor d'água.

$$\Delta^{TROP} = \frac{0,002277}{\cos(z)} \left[p + \left(\frac{1255}{T - 273,15} + 0,05 \right) e - \tan^2(z) \right] \quad [3.18]$$

onde Δ^{TROP} representa o atraso troposférico vertical (m), z o ângulo zenital de cada satélite (graus), p a pressão atmosférica (mbar), T a temperatura ambiente (°C), e a pressão parcial de vapor d'água (mbar).

3.9.1.3. Modelo de Marini e Herring (T3)

A modelagem do atraso troposférico, de acordo com Marini (1972), pode ser estimada do seguinte modo:

$$\Delta^{Trop} = \Delta_s^{Trop} \cdot m_s(E) + \Delta_u^{Trop} \cdot m_u(E) \quad (3.19)$$

onde $m_s(E)$ e $m_u(E)$ representam as funções de mapeamento para as componentes seca e úmida do atraso troposférico, respectivamente.

MARINI (1972) desenvolveu uma função de mapeamento utilizando a expansão de uma fração contínua da forma $1/\sin(E)$ e HERING (1992) especificou três constantes para a expansão.

Para a componente seca da atmosfera a função de mapeamento de Marini pode ser descrita como:

$$m_d(E) = \frac{1 + \frac{a_d}{1 + \frac{b_d}{1 + c_d}}}{\text{sen}(E) + \frac{a_d}{\text{sen}(E) + \frac{b_d}{\text{sen}(E) + c_d}}} \quad (3.20)$$

Os coeficientes da função de mapeamento para a componente seca são definidos, em função da latitude, da temperatura e da altitude, como.

$$a_d = [1,2320 + 0,0139.\cos(\phi) - 0,0209.h + 0,00215.(T - 283)]10^{-3} \quad (3.21)$$

$$b_d = [3,1612 - 0,1600.\cos(\phi) - 0,0331.h + 0,00206.(T - 283)]10^{-3} \quad (3.22)$$

$$c_d = [71,224 - 4,293.\cos(\phi) - 0,149.h - 0,0021.(T - 283)]10^{-3} \quad (3.23)$$

onde T, ϕ e h representam a temperatura, a latitude e a altura geométrica do local de observação.

Para a componente úmida da atmosfera a função de mapeamento de Marini pode ser descrita como:

$$m_w(E) = \frac{1 + \frac{a_w}{1 + \frac{b_w}{1 + c_w}}}{\text{sen}(E) + \frac{a_w}{\text{sen}(E) + \frac{b_w}{\text{sen}(E) + c_w}}} \quad (3.24)$$

Os coeficientes da função de mapeamento para a componente úmida são definidos, em função da latitude, da temperatura e da altitude, temos:

$$a_w = [0,583 - 0,011.\cos(\phi) - 0,052.h + 0,0014.(T - 283)]10^{-3} \quad (3.25)$$

$$b_w = [1,402 - 0,102.\cos(\phi) - 0,101.h + 0,0020.(T - 283)]10^{-3} \quad (3.26)$$

$$c_w = [45,85 - 1,91.\cos(\phi) - 0,29.h + 0,015.(T - 283)]10^{-3} \quad (3.27)$$

3.10 - Análise dos resultados

Para analisar os dados gerados pelas duas formas de processamento do código (com e sem correção ionosférica e troposférica) foram geradas tabelas comparativas a partir dos dados coletados com os receptores GPS e processados nos programas computacionais utilizados neste trabalho com os resultados obtidos com o processamento da fase da portadora (testemunha).

A comparação foi feita análise de regressão entre os valores das coordenadas dos pontos da poligonal obtidas através dos diferentes procedimentos com o objetivo de se obter o coeficiente de correlação (r) e o índice de concordância de Wilmont (c).

O coeficiente de correlação (r) permite quantificar o grau de associação entre as duas variáveis envolvidas na análise (SCHNEIDER, 1998), sendo seu campo de variação de -1 a 1 e quanto maior o seu valor absoluto maior o grau de associação entre os valores observados e os valores estimados.

O coeficiente de correlação r pode ser estimado por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - E)(O_i - O)}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (E_i - E)] [\sum_{i=1}^n (O_i - O)]}} \quad [3.28]$$

Onde E_i são os valores estimados, O_i os valores observados, E a média dos valores estimados e O a média dos valores observados.

O índice de concordância (c) fornece o grau de exatidão entre as variáveis envolvidas, uma vez que está relacionada à diferença entre os valores estimados em

relação aos valores observados, sendo seu campo de variação de 0 (nenhuma concordância) a 1 concordância perfeita (WILLMONT, 1981).

O índice de concordância pode ser calculado pela expressão:

$$c = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - O| + |O_i - O|)^2} \quad [3.29]$$

Onde E_i são os valores estimados, O_i os valores observados, E a média dos valores estimados e O a média dos valores observados.

Conhecendo-se esses indicadores foi determinado o índice de desempenho I_d , segundo Camargo; Sentelhas (1997) pode ser calculado por:

$$I_d = r c \quad [3.30]$$

O índice I_d tem a finalidade de avaliar o desempenho do método proposto, considerando as seguintes classes de interpretação (Tabela 3.2), de acordo com Costa (2004).

Tabela 3.2 - Classificação para o índice de desempenho do método proposto.

Classes	Valores de I_d	Desempenho
1	> 0.85	Ótimo
2	0.76 a 0.85	Muito Bom
3	0.66 a 0.75	Bom
4	0.61 a 0.65	Regular
5	0.51 a 0.60	Fraco
6	0.41 a 0.50	Muito Fraco
7	< 0.41	Péssimo

As áreas obtidas pelos diferentes procedimentos serão comparadas, de acordo com Jordan (1961), pela expressão $T = 0,003 A^{1/2} + 0,00006 A$, sendo T a tolerância de erro admitido (permitido ou aceitável) e A a área considerada.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Transporte de coordenadas para o marco MP

O transporte de coordenadas para o marco de precisão MP foi realizado, a partir de duas estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). A Figura 4.1 mostra o esquema da rede utilizado no transporte de coordenadas para o marco, que serviu de estação de referência ou base para o levantamento dos vértices do perímetro da poligonal.

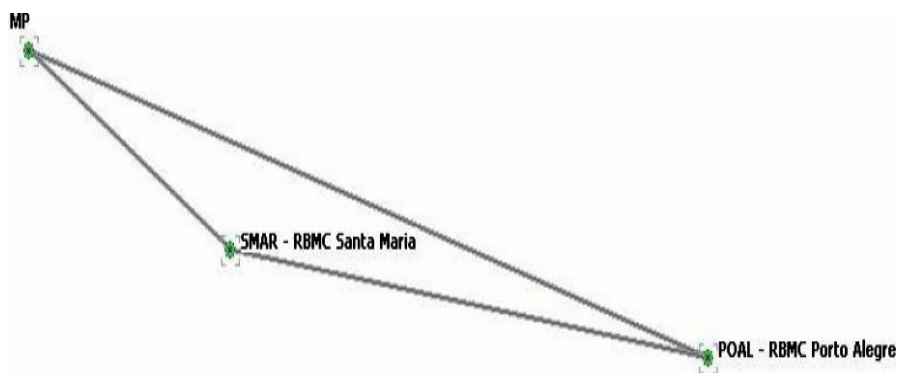


Figura 4.1 – Esquema da rede para implantação da estação base.

A Tabela 4.1 mostra os resultados obtidos no processamento dos dados dos arquivos GPS coletados no marco de precisão MP e os dados dos arquivos coletados nas estações da RBMC, localizadas em Santa Maria e Porto Alegre, RS. O relatório do processamento das observações GPS sobre o marco MP pode ser visto no Anexo 1.

Tabela 4.1 - Valores dos componentes das linhas base (m) utilizadas para o transporte de coordenadas para o marco de precisão e respectivos desvios-padrão (m).

SMAR-MP	ΔX	3280815,756	$\sigma_{\Delta X}$	0,015
	ΔY	-4468913,616	$\sigma_{\Delta Y}$	0,015
	ΔZ	-3143370,458	$\sigma_{\Delta Z}$	-----
POAL-MP	ΔX	3476586,742	$\sigma_{\Delta X}$	0,010
	ΔY	-4300382,392	$\sigma_{\Delta Y}$	0,032
	ΔZ	-3177479,486	$\sigma_{\Delta Z}$	-----

4.2 – Ajustamento das coordenadas do marco de precisão

4.2.1 – Análise do erro de fechamento

Esta análise deve ser feita antes do ajustamento, para ver se o erro de fechamento está dentro da tolerância admitida. Os cálculos necessários para o desenvolvimento dessa análise podem ser vistos no Anexo 2.

O erro total calculado, a partir dos valores observados no levantamento, foi

$$E_{tc} = \sqrt{0,033^2 + 0,029^2 + 0,010^2} = 0,045 \text{ m}$$

e o erro total admissível, ao nível de significância de 95%, é $E_{ta} = 3,1328\sqrt{\rho_{Lc}}$ foi igual a 0,086 m.

Sendo o erro total calculado ($E_{tc} = 0,045 \text{ m}$) menor do que o erro total admitido ou tolerado ($E_{ta} = 0,086 \text{ m}$), pode-se proceder o ajustamento das coordenadas do Marco MP transportado para o interior da propriedade.

4.2.2 – Avaliação do ajustamento

O método utilizado para o ajustamento das coordenadas de um Marco foi o método das equações de condição.

As observações (L_b) são em número de 6 ($\Delta X_1, \Delta Y_1, \Delta Z_1, \Delta X_2, \Delta Y_2$ e ΔZ_2), e as incógnitas são 3 (as coordenadas do ponto Marco). O número de equações de condição (3) e $r = 3$ é o número de graus de liberdade. Os cálculos necessários para o desenvolvimento dessa análise podem ser vistos no Anexo 3.

O teste do Qui-quadrado foi realizado com a finalidade de avaliar a qualidade do ajustamento. Essa avaliação é realizada para verificar se o valor do Qui-quadrado calculado, a partir dos valores fornecidos pelos trabalhos de levantamento, está contido entre um valor inferior e um valor superior do Qui-quadrado, para um determinado grau de liberdade e determinado nível de significância.

O valor do Qui-quadrado calculado com os valores fornecidos pelo levantamento no campo apresentou o valor de 3,995, sendo maior que o valor 0,216 e menor que o valor 9,345, fornecido por uma tabela estatística (COSTA NETO, 1977), para três graus de liberdade e 95% de confiança.

Esse resultado permite afirmar, com 95% de confiança, que não existe diferença significativa entre o valor da variância adotada a priori e o valor da variância calculada a posteriori e, desse modo, dizer que os trabalhos de campo foram bem conduzidos.

A análise do erro de fechamento da rede formada entre o marco de precisão MP e as estações ativas da RBMC reforça o que foi dito no parágrafo anterior, uma vez que não apresentou diferença significativa, sob o ponto de vista estatístico, entre o erro de fechamento cometido e o erro de fechamento admitido.

4.2.4 Coordenadas ajustadas do marco MP - Datum SAD 69

As coordenadas dos pontos de controle, diferença de coordenadas e coordenadas ajustadas do marco MP, são mostradas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Coordenadas das Estações da RBMC (pontos de controle), diferença de coordenadas e coordenadas ajustadas do marco MP.

Coordenadas da RBMC (m)	Δ coordenadas ajustadas (m)	Coordenadas Ajustadas Marco MP (m)
Estação da RBMC – POAL – Porto Alegre - RS		
X= 3476586,742	$\Delta x = -252076,947$	X= 3215509,795
Y= -4300382,392	$\Delta y = -259887,188$	Y= -4560269,580
Z= -3177479,486	$\Delta z = 97494,684$	Z= -3079984,802
Estação da RBMC – SMAR – Santa Maria - RS		
X= 3280815,756	$\Delta x = -65305,961$	X= 3215509,795
Y= -4468913,616	$\Delta y = -91355,964$	Y= -4560269,580
Z= -3143370,458	$\Delta z = 63385,656$	Z= -3079984,802

Na Tabela 4.3, podem ser vistas as coordenadas geocêntricas (X, Y e Z), as coordenadas geográficas (latitude φ , longitude λ e altura elipsoidal h), as coordenadas cartográficas (Falso norte N, Falso este E e altura ortométrica H), referentes ao Datum ao South American Datum 1969 (SAD 69) e as respectivas precisões. A altura elipsoidal h foi convertida para altura ortométrica H, com o programa MapGeo (IBGE, 2004).

Tabela 4.3 – Coordenadas geocêntricas, geográficas e cartográficas, referentes ao SAD 69, do marco MP e as respectivas precisões.

Coordenadas do Marco de Precisão – MP			
Geocêntricas	Geográficas	Cartográficas	Precisão (m)
3215509,795 m	-29° 03' 38,70025206"	6783296,034 m	0,0098
-4560269,580 m	-54° 48' 42,48564480"	713033,961m	0,0164
-3079984,802 m	382,066 m	377,576 m (MapGeo)	0,0020

Os cálculos da precisão, após o ajustamento, de cada coordenada do marco MP, podem ser encontrados no Anexo 3 e a precisão posicional do marco MP, calculada a partir dos valores da precisão da coordenada X (0,0098m) e da coordenada Y (0,0164m), fornecidos pela Tabela 4.3, apresentou um valor de 1,9 cm, aproximadamente, bem melhor que a exigida pela Norma do INCRA para seu enquadramento na Classe P2 (melhor que 20 cm).

4.3 – Resultado do processamento das observações GPS dos vértices da poligonal: uso da portadora

Na Tabela 4.4 podem ser vistos os resultados do processamento (método relativo e fase da portadora L1) dos vértices da poligonal da área experimental.

Os valores das coordenadas foram transcritos dos relatórios dos processamentos das observações GPS dos diferentes vértices e um resumo do processamento podem ser encontrados no Anexo 4.

Os relatórios do processamento das observações GPS mostram a diferença (ΔX , ΔY e ΔZ) entre as coordenadas geocêntricas do vértice analisado e as coordenadas geocêntricas do marco de precisão MP, que serviu de base para a aplicação da correção diferencial.

As coordenadas de cada vértice considerado são obtidas pela soma algébrica das coordenadas do marco de precisão MP e as respectivas diferenças de coordenadas.

No Anexo 4, é apresentado um resumo do relatório do processamento das observações GPS, na qual podem ser vistos o tipo de solução obtida (fixação da ambigüidade ou não), o comprimento da linha base processada, o percentual do número de observações não rejeitadas, a “taxa ratio” e os valores do desvio padrão da linha (rms).

Dentre esses valores pode-se destacar que em todos os vértices as ambigüidades foram resolvidas e que a taxa “ratio” (proporção entre a segunda melhor solução e a melhor solução) foi sempre maior que 3, exceto para o vértice PT_MS01.

Segundo Sokkia (1999), o valor da taxa “ratio” obtida para o processamento de linhas base deve ser maior que 3, atendendo para o fato que pode ser uma função da distância da linha base processada ou das condições do local na hora do processamento. O motivo do processamento do vértice PT_MS01 ter apresentado um valor da taxa “ratio” menor do que pode ser explicado pela presença de um transformador em poste próximo ao vértice (cerca de 4m) e a passagem de uma linha de transmissão de alta voltagem (cerca de 3m).

As coordenadas dos vértices da poligonal apresentada nos respectivos relatórios emitidos pelo programa de processamento das observações GPS (neste caso o Spectrum Survey, da Sokkia) incluem a conversão das coordenadas cartesianas (X, Y e Z) em coordenadas geográficas (φ , λ e h) e destas em coordenadas planas cartográficas (N, E e H).

Tabela 4.4 – Tabela resumida do levantamento dos vértices da poligonal. Método relativo, processamento da fase da portadora e base no marco MP. Valores das coordenadas planas (m), azimute e distâncias (m) da poligonal levantada.

Estação	Vante	Coordenadas Planas (m)		Azimute	Distancia m
		Norte	Este		
PT_MN02	PT_MN03	6785368,341	709227,019	140° 50' 07"	101.197
PT_MN03	PT_MN04	6785289,880	709290,930	122° 59' 51"	235.626
PT_MN04	PT_MN05	6785161,557	709488,548	51° 55' 29"	13.519
PT_MN05	PT_MN06	6785169,894	709499,190	100° 24' 31"	6.321
PT_MN06	PT_MN07	6785168,752	709505,407	121° 02' 08"	47.999
PT_MN07	PT_MN08	6785144,005	709546,535	76° 26' 42"	232.835
PT_MN08	PT_MN09	6785198,577	709772,884	101° 36' 09"	51.108
PT_MN09	PT_MN10	6785188,298	709822,948	70° 10' 03"	130.924
PT_MN10	PT_MN20	6785232,717	709946,107	90° 00' 51"	603.680
PT_MN20	PT_MN21	6785232,567	710549,787	77° 52' 16"	189.689
PT_MN21	PT_MN22	6785272,423	710735,242	80° 59' 06"	1.264
PT_MN22	PT_MN23	6785272,621	710736,490	115° 27' 45"	2993.752
PT_MN23	PT_PE01	6783985,552	713439,452	183° 00' 54"	92.593
PT_PE01	PT_PE02	6783893,087	713434,582	185° 16' 38"	102.386
PT_PE02	PT_PE03	6783791,199	713444,666	165° 31' 08"	225.841
PT_PE03	PT_PE04	6783576,700	713515,337	176° 07' 05"	107.365
PT_PE04	PT_PE05	6783469,461	713510,130	199° 26' 29"	214.984
PT_PE05	PT_PE06	6783264,428	713445,481	227° 04' 19"	107.921
PT_PE06	PT_PE07	6783156,964	713435,555	296° 36' 58"	358.541
PT_PE07	PT_PE09	6782913,916	713498,326	296° 31' 22"	264.140
PT_PE09	PT_PE10	6782556,271	713417,776	267° 32' 31"	8.194
PT_PE10	PT_MS02	6782550,690	713411,776	23° 35' 50"	2263.204
PT_MS02	PT_MS03	6783561,357	711386,771	174° 20' 52"	1697.288
PT_MS03	PT_MS04	6783488,563	709691,045	161° 45' 52"	169.320
PT_MS04	PT_MS05	6783643,725	709758,825	182° 46' 47"	1102.033
PT_MS05	PT_MN02	6784016,108	708721,613	197° 30' 02"	1443.596

4.4 – Resultado do processamento das observações GPS dos vértices da poligonal: uso do código e diferentes correções da ionosfera e troposfera

Nas Tabela 4.5, 4.6 e 4.7 podem ser vistos os resultados do processamento (método absoluto e código) dos vértices da poligonal da área experimental sem (I0) e com correção da ionosfera (I1, I2) e diferentes correções da troposfera (T1, T2, T3 e T4).

Tabela 4.5 – Valores das coordenadas dos diferentes pontos obtidos com o GPS no modo absoluto, sem correção da ionosfera e diferentes correções da troposfera.

Estação	IO T0		IO T1		IO T2		IO T3	
	N	E	N	E	N	E	N	E
PT_MN02	6785364,513	709224,407	6785364,352	709224,439	6785363,978	709224,573	6785363,984	709224,571
PT_MN03	6785292,972	709286,568	6785292,982	709286,721	6785293,051	709286,967	6785293,050	709286,964
PT_MN04	6785164,963	709488,106	6785164,697	709488,062	6785164,206	709487,927	6785164,213	709487,929
PT_MN05	6785164,955	709501,662	6785164,862	709501,766	6785164,683	709501,915	6785164,685	709501,913
PT_MN06	6785165,735	709508,383	6785165,743	709508,397	6785165,727	709508,433	6785165,727	709508,433
PT_MN07	6785141,393	709543,391	6785141,414	709543,496	6785141,508	709543,709	6785141,507	709543,706
PT_MN08	6785200,442	709770,989	6785200,537	709771,208	6785200,724	709771,691	6785200,721	709771,684
PT_MN09	6785185,580	709819,899	6785185,323	709819,822	6785184,721	709819,743	6785184,729	709819,744
PT_MN10	6785238,492	709944,495	6785238,380	709944,534	6785238,248	709944,655	6785238,250	709944,653
PT_MN20	6785229,140	710550,639	6785229,180	710550,529	6785229,208	710550,333	6785229,208	710550,336
PT_MN21	6785269,544	710733,248	6785269,298	710733,109	6785268,706	710732,894	6785268,714	710732,897
PT_MN22	6785269,985	710734,050	6785269,926	710734,158	6785269,802	710734,412	6785269,804	710734,408
PT_MN23	6783986,165	713442,963	6783986,198	713442,926	6783986,355	713442,892	6783986,353	713442,893
PT_PE01	6783894,751	713439,586	6783894,846	713439,634	6783894,880	713439,783	6783894,879	713439,781
PT_PE02	6783790,240	713448,340	6783790,447	713448,214	6783790,870	713448,030	6783790,864	713448,033
PT_PE03	6783575,441	713516,880	6783575,416	713517,028	6783575,388	713517,320	6783575,388	713517,316
PT_PE04	6783467,714	713512,420	6783467,885	713512,440	6783468,113	713512,474	6783468,110	713512,474
PT_PE05	6783262,437	713449,294	6783262,704	713449,183	6783263,269	713449,038	6783263,261	713449,040
PT_PE06	6783156,753	713440,888	6783157,019	713440,850	6783157,416	713440,793	6783157,410	713440,794
PT_PE07	6782914,965	713503,162	6782915,046	713503,198	6782915,027	713503,343	6782915,028	713503,341
PT_PE09	6782563,406	713417,912	6782563,455	713417,745	6782563,520	713417,603	6782563,519	713417,605
PT_PE10	6782558,714	713416,966	6782558,930	713416,752	6782559,215	713416,471	6782559,211	713416,475
PT_MS02	6783563,172	711384,669	6783563,204	711384,833	6783563,303	711385,075	6783563,302	711385,071
PT_MS03	6783499,772	709698,923	6783500,352	709699,019	6783501,351	709699,158	6783501,337	709699,156
PT_MS04	6783652,742	709748,943	6783652,917	709748,846	6783653,109	709748,667	6783653,107	709748,669
PT_MS05	6784026,244	708716,204	6784026,313	708716,107	6784026,312	708715,962	6784026,312	708715,964

Tabela 4.6 – Valores das coordenadas dos diferentes pontos obtidos com o GPS no modo absoluto, correção da ionosfera estimada e diferentes correções da troposfera.

Estação	I1 T0		I1 T1		I1 T2		I1 T3	
	N	E	N	E	N	E	N	E
PT_MN02	6785364,450	709224,413	6785364,288	709224,445	6785363,915	709224,579	6785363,920	709224,577
PT_MN03	6785292,978	709286,634	6785292,988	709286,788	6785293,057	709287,033	6785293,056	709287,030
PT_MN04	6785164,851	709488,088	6785164,585	709488,043	6785164,094	709487,909	6785164,101	709487,911
PT_MN05	6785164,921	709501,713	6785164,828	709501,818	6785164,649	709501,967	6785164,651	709501,965
PT_MN06	6785165,742	709508,390	6785165,750	709508,403	6785165,734	709508,440	6785165,734	709508,439
PT_MN07	6785141,397	709543,430	6785141,418	709543,535	6785141,512	709543,748	6785141,511	709543,745
PT_MN08	6785200,480	709771,072	6785200,575	709771,291	6785200,761	709771,774	6785200,759	709771,767
PT_MN09	6785185,481	709819,862	6785185,224	709819,785	6785184,622	709819,706	6785184,631	709819,707
PT_MN10	6785238,440	709944,506	6785238,328	709944,545	6785238,196	709944,665	6785238,198	709944,664
PT_MN20	6785229,159	710550,593	6785229,200	710550,483	6785229,228	710550,287	6785229,227	710550,290
PT_MN21	6785269,453	710733,185	6785269,207	710733,046	6785268,615	710732,831	6785268,623	710732,834
PT_MN22	6785269,960	710734,089	6785269,901	710734,197	6785269,777	710734,451	6785269,779	710734,447
PT_MN23	6783986,170	713442,946	6783986,203	713442,908	6783986,360	713442,875	6783986,358	713442,875
PT_PE01	6783894,807	713439,592	6783894,903	713439,640	6783894,936	713439,789	6783894,936	713439,787
PT_PE02	6783790,330	713448,283	6783790,537	713448,157	6783790,961	713447,974	6783790,955	713447,977
PT_PE03	6783575,424	713516,940	6783575,400	713517,089	6783575,371	713517,381	6783575,372	713517,376
PT_PE04	6783467,794	713512,430	6783467,965	713512,450	6783468,193	713512,484	6783468,190	713512,483
PT_PE05	6783262,554	713449,247	6783262,821	713449,135	6783263,386	713448,991	6783263,378	713448,992
PT_PE06	6783156,880	713440,865	6783157,145	713440,826	6783157,543	713440,770	6783157,537	713440,771
PT_PE07	6782915,017	713503,160	6782915,098	713503,196	6782915,079	713503,341	6782915,080	713503,339
PT_PE09	6782563,423	713417,827	6782563,472	713417,660	6782563,536	713417,518	6782563,536	713417,520
PT_PE10	6782558,820	713416,847	6782559,035	713416,633	6782559,321	713416,352	6782559,317	713416,356
PT_MS02	6783563,185	711384,739	6783563,216	711384,902	6783563,315	711385,144	6783563,314	711385,141
PT_MS03	6783500,030	709698,971	6783500,610	709699,067	6783501,609	709699,206	6783501,595	709699,204
PT_MS04	6783652,842	709748,898	6783653,017	709748,801	6783653,210	709748,622	6783653,207	709748,624
PT_MS05	6784026,298	708716,155	6784026,366	708716,058	6784026,365	708715,914	6784026,365	708715,916

Tabela 4.7 – Valores das coordenadas dos diferentes pontos obtidos com o GPS no modo absoluto, correção da ionosfera calculada e diferentes correções da troposfera.

Estação	I2 T0		I2 T1		I2 T2		I2 T3	
	N	E	N	E	N	E	N	E
PT_MN02	6785365,996	709223,719	6785365,834	709223,751	6785365,461	709223,885	6785365,466	709223,883
PT_MN03	6785294,287	709286,258	6785294,298	709286,411	6785294,367	709286,656	6785294,366	709286,653
PT_MN04	6785165,282	709486,710	6785165,016	709486,666	6785164,525	709486,531	6785164,532	709486,533
PT_MN05	6785165,323	709501,163	6785165,230	709501,267	6785165,051	709501,416	6785165,054	709501,414
PT_MN06	6785166,470	709508,085	6785166,478	709508,098	6785166,462	709508,135	6785166,463	709508,134
PT_MN07	6785142,258	709543,151	6785142,279	709543,255	6785142,373	709543,468	6785142,372	709543,465
PT_MN08	6785201,629	709770,818	6785201,724	709771,038	6785201,910	709771,520	6785201,908	709771,513
PT_MN09	6785186,880	709819,417	6785186,623	709819,340	6785186,021	709819,260	6785186,029	709819,261
PT_MN10	6785238,076	709943,582	6785237,964	709943,622	6785237,832	709943,742	6785237,834	709943,740
PT_MN20	6785230,711	710549,630	6785230,751	710549,521	6785230,779	710549,325	6785230,779	710549,327
PT_MN21	6785270,793	710732,323	6785270,547	710732,184	6785269,955	710731,969	6785269,963	710731,972
PT_MN22	6785270,725	710733,587	6785270,666	710733,696	6785270,543	710733,949	6785270,544	710733,946
PT_MN23	6783985,641	713443,575	6783985,674	713443,537	6783985,831	713443,504	6783985,829	713443,504
PT_PE01	6783893,733	713440,283	6783893,828	713440,331	6783893,862	713440,480	6783893,861	713440,478
PT_PE02	6783789,052	713448,680	6783789,258	713448,554	6783789,682	713448,371	6783789,676	713448,373
PT_PE03	6783574,864	713517,012	6783574,839	713517,161	6783574,811	713517,452	6783574,811	713517,448
PT_PE04	6783467,032	713512,752	6783467,204	713512,772	6783467,431	713512,806	6783467,428	713512,805
PT_PE05	6783261,571	713449,643	6783261,837	713449,532	6783262,403	713449,387	6783262,395	713449,389
PT_PE06	6783155,730	713441,619	6783155,996	713441,580	6783156,393	713441,524	6783156,388	713441,525
PT_PE07	6782913,935	713503,959	6782914,016	713503,995	6782913,997	713504,140	6782913,997	713504,138
PT_PE09	6782564,143	713417,235	6782564,192	713417,067	6782564,257	713416,926	6782564,256	713416,928
PT_PE10	6782559,969	713416,295	6782560,184	713416,081	6782560,470	713415,800	6782560,466	713415,804
PT_MS02	6783564,629	711384,507	6783564,660	711384,670	6783564,759	711384,912	6783564,758	711384,909
PT_MS03	6783501,736	709698,109	6783502,316	709698,205	6783503,315	709698,344	6783503,301	709698,342
PT_MS04	6783652,555	709748,787	6783652,730	709748,691	6783652,922	709748,511	6783652,919	709748,514
PT_MS05	6784025,635	708715,501	6784025,704	708715,404	6784025,703	708715,259	6784025,703	708715,261

4.5 – Comparação dos resultados do processamento das observações GPS dos vértices da poligonal: uso do código e da fase da portadora.

Os valores das coordenadas dos diferentes vértices obtidos com o GPS no modo de processamento absoluto e as diferentes estratégias de correção da ionosfera e as diferentes correções da troposfera foram comparadas com os valores das coordenadas dos diferentes vértices da poligonal obtidos com o processamento da fase da portadora e modo relativo.

4.5.1 – Comparação da coordenada E

A Tabela 4.8 mostra, em relação à coordenada E, o coeficiente linear (a), o coeficiente angular (b), o coeficiente de correlação (r), o índice de concordância (c) e o desempenho da estratégia de correção utilizada para a obtenção das coordenadas.

Tabela 4.8 – Comparação da coordenada E. Coeficiente linear (a), coeficiente angular (b), coeficiente de correlação (r), índice de concordância (c) e desempenho da estratégia de correção para obter as coordenadas.

Correção	a	b	r	c	d	Desempenho
I0 T0	-2,79	0,9987	0,9999	0,7506	0,75	Bom
I0 T1	-2,76	0,9987	0,9999	0,7506	0,75	Bom
I0 T2	-2,75	0,9987	0,9999	0,7506	0,75	Bom
I0 T3	-2,76	0,9987	0,9999	0,7506	0,75	Bom
I1 T0	-2,77	0,9987	0,9999	0,7506	0,75	Bom
I1 T1	-2,74	0,9987	0,9999	0,7506	0,75	Bom
I1 T2	-2,73	0,9987	0,9999	0,7506	0,75	Bom
I1 T3	-2,73	0,9987	0,9999	0,7506	0,75	Bom
I2 T0	-2,93	0,9984	0,9999	0,7506	0,75	Bom
I2 T1	-2,90	0,9985	0,9999	0,7506	0,75	Bom
I2 T2	-2,89	0,9985	0,9999	0,7506	0,75	Bom
I2 T3	-2,89	0,9985	0,9999	0,7506	0,75	Bom

Conforme pode ser vista na Tabela 4.8, os resultados obtidos para cada estratégia de correção dos erros referentes à propagação do sinal na atmosfera

apresentaram um índice de desempenho igual a 0,75, o que permitiu o enquadramento na classe de desempenho bom.

4.5.2 – Comparação da coordenada N

A Tabela 4.9 mostra, em relação à coordenada N, o coeficiente linear (a), o coeficiente angular (b), o coeficiente de correlação (r), o índice de concordância (c) e o desempenho da estratégia de correção utilizada para a obtenção das coordenadas.

Tabela 4.9 – Comparação da coordenadas N. Coeficiente linear (a), coeficiente angular (b), coeficiente de correlação (r), índice de concordância (c) e desempenho da estratégia de correção para obter as coordenadas.

Correção	a	b	r	c	d	Desempenho
I0 T0	-3,32	1,0022	0,9999	0,7497	0,75	Bom
I0 T1	-3,48	1,0025	0,9999	0,7497	0,75	Bom
I0 T2	-3,73	1,0025	0,9999	0,7497	0,75	Bom
I0 T3	-3,74	1,0025	0,9999	0,7497	0,75	Bom
I1 T0	-3,40	1,0025	0,9999	0,7497	0,75	Bom
I1 T1	-3,57	1,0023	0,9999	0,7497	0,75	Bom
I1 T2	-3,81	1,0026	0,9999	0,7497	0,75	Bom
I1 T3	-3,81	1,0026	0,9999	0,7497	0,75	Bom
I2 T0	-3,24	1,0017	0,9999	0,7497	0,75	Bom
I2 T1	-3,40	1,0018	0,9999	0,7497	0,75	Bom
I2T2	-3,65	1,0021	0,9999	0,7497	0,75	Bom
I2 T3	-3,65	1,0026	0,9999	0,7497	0,75	Bom

Conforme pode ser vista na Tabela 4.9, de modo semelhante à tabela anterior, os resultados obtidos para cada estratégia de correção dos erros referentes à propagação do sinal na atmosfera apresentaram um índice de desempenho igual a 0,75, o que permitiu o enquadramento na classe de desempenho bom.

Como este valor foi observado em todas as estratégias consideradas e para ambas coordenadas dos vértices, pode-se considerar que não existe diferença de desempenho entre as estratégias comparadas.

Por outro lado, a análise do coeficiente linear da regressão entre os valores da coordenada E obtida pelo processamento no modo absoluto e os valores da coordenada E obtidos no processamento relativo mostra a presença de um erro sistemático de 2,8 m, aproximadamente.

A análise do coeficiente linear da regressão entre os valores da coordenada N obtida pelo processamento no modo absoluto e os valores da coordenada N obtidos no processamento relativo mostra a presença de um erro sistemático de 3,6 m, aproximadamente.

Os valores do coeficiente linear mostram que o mesmo não ocorre no caso de posicionamento absoluto (um receptor isolado) e que o erro sistemático produzido é da ordem de 4,6 m, ou aproximadamente 5m.

Os resultados obtidos estão de acordo com Segantine (2005), que afirma que o erro do posicionamento horizontal através do método absoluto, ou seja com o uso de um só receptor, é atualmente cerca de 3 a 15 metros, com um nível de confiança de 95%. Segundo o mesmo autor, esse tipo de resultado pode ser usado em algumas aplicações de cartografia, como por exemplo, a determinação de objetos para cadastro.

Os resultados obtidos são menores dos que os encontrados por Souza et. al (2003) em um trabalho realizado para comparar valores das coordenadas de um mesmo ponto obtidas sempre no mesmo horário e em diferentes dias. As diferenças encontradas chegaram a variar de até 10 m, aproximadamente.

4.5.3 – Comparação de áreas

A Tabela 4.10 mostra os valores da área calculada com as coordenadas obtidas no modo absoluto e processamento do código em cada estratégia de correção, os valores da área calculada com as coordenadas obtidas no modo relativo e processamento da fase da portadora (testemunha), as diferenças encontradas quando comparadas com a testemunha.

Tabela 4.10 – Comparação de áreas. Valores da área calculada com as coordenadas obtidas no modo absoluto e processamento do código em cada estratégia de correção, os valores da área calculada com as coordenadas obtidas no modo relativo e processamento da fase da portadora (testemunha), as diferenças encontradas quando comparadas com a testemunha.

Correção	Área ha	Área ha	Δ Área		Tolerância ha	Desempenho em área
			ha	%		
I0 T0	681,96	683,83	-1,88	0,27	1.1926	Não Aceitável
I0 T1	681,87	683,83	-1,97	0,29	1.1925	Não Aceitável
I0 T2	681,73	683,83	-2,10	0,31	1.1923	Não Aceitável
I0 T3	681,74	683,83	-2,10	0,31	1.1923	Não Aceitável
I1 T0	681,91	683,83	-1,92	0,28	1.1925	Não Aceitável
I1 T1	681,82	683,83	-2,01	0,29	1.1924	Não Aceitável
I1 T2	681,69	683,83	-2,14	0,31	1.1923	Não Aceitável
I1 T3	681,69	683,83	-2,14	0,31	1.1923	Não Aceitável
I2 T0	681,82	683,83	-2,02	0,30	1.1924	Não Aceitável
I2 T1	681,73	683,83	-2,11	0,31	1.1923	Não Aceitável
I2 T2	681,59	683,83	-2,24	0,33	1.1922	Não Aceitável
I2 T3	681,60	683,83	-2,24	0,33	1.1922	Não Aceitável

Conforme pode ser visto na Tabela 4.10, os valores da diferença entre as áreas variam entre -1,88 e -2,24 ha, o que corresponde a 0,27 e 0,33%.

Esses resultados indicam a presença de erros sistemáticos, que independem da forma de correção da refração atmosférica, tanto ionosférica como troposférica, sendo reflexo do que aconteceu com as coordenadas N ou E.

Considerando a tolerância para comparar diferenças entre áreas expressa pela fórmula $T = 0,03 A^{1/2} + 0,0006 A$ (JORDAN, 1961) e tomando-se como referência a área da poligonal levantada com GPS no modo relativo e processamento da fase da portadora a diferença permitida será de 1,1942 ha.

Como pode ser visto na Tabela 4.10, a tolerância da diferença em área para o modo de posicionamento absoluto, processamento do código e diferentes formas de correção da ionosfera e da troposfera foi, em todos os casos, maior que a permitida enquadrando-se o seu erro na categoria não aceitável (ou não permitida).

5 – CONCLUSÕES

De acordo com a metodologia adotada para comparar diferentes procedimentos para a obtenção de valores das coordenadas dos vértices de uma poligonal GPS e considerando a análise dos resultados pode-se concluir que:

a) as diferentes formas de correção dos erros devido á propagação do sinal GPS em sua passagem na atmosfera (troposfera e ionosfera) não apresentaram diferenças e se enquadraram na classe de desempenho bom.

b) o erro de posicionamento (x, y) devido à propagação do sinal na atmosfera quando se utiliza o modo de posicionamento absoluto e como observável o código foi de 5m.

c) Os valores das áreas obtidos com as diferentes estratégias de correção dos erros devido à propagação na atmosfera do sinal GPS ficaram fora da tolerância permitida.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERALDO, P., SOARES, S. M. **GPG introdução e aplicações práticas**. Brasília: Luana. 1995.

CAMARGO, A.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desenvolvimento de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, São Paulo, v.5, n.1, p. 89-97, 1997

CAMARGO, O. P., MONICO, J. F. G., FERREIRA, L. D. D. Influência da ionosfera no posicionamento por ponto com GPS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 5., 2000. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: CIASC, 2000. P. 1-12.

COSTA, S. V. **Desenvolvimento e calibração de um mini-tanque evaporimétrico**. 2004. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

COSTA NETO, P. L. O. **Curso de Estatística**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977, 264 p.

FORTES, L. P. S. Especificações e norma gerais para levantamentos GPS. (versão preliminar) Fator GIS _ **Revista do Geoprocessamento**. Curitiba, n. 05, p. 31-34, 1994.

DOCKHORN, E. S. **Comparação de dois tipos de solução no posicionamento com receptores GPS**. 2006. 64 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

GARNÉS, S. J. dos A.; KRUEGER, C. P.; SAMPAIO, R. J. B. Determinação das ambigüidades GPS mediante análise do número de épocas e geometria dos satélites. Foz do Iguaçu. In Anais do II SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE AGRIMENSURA E CARTOGRAFIA, 2000. Foz do Iguaçu. **Anais ...** Foz do Iguaçu: 2000.

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

GOMES, A. C. dos Santos. **Efeitos de diferentes estratégias de irrigação sob a cultura da soja (*Glycine max (L.) Merrill*) na região de Santiago, RS.** 2007. 132 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

GUERREIRO, J. **Características do sinal.** (2000) Disponível em: <<http://www.paginas.teleweb.pt/~geodeisia/gps.htm>>. Acesso em: 04 de novembro. 2005.

HERRING, T. A. Modelling atmospheric delays in the analysis of space geodetic data. In: Munck, J. C de, Spoeltra T. A. T. (eds): Refraction of transatmospheric signal in geodesy. Netherlands Geodetic Comissin, Delft, new series, v. 36, p. 157-164, 1992.

HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER H.; COLLINS J. **Global Position System: Theory and Praticce.** New York: Springer-Verlag Wien 2001. 389p.

HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER H.; COLLINS J. **Global position system: theory and practice.** New York: Springer-Verlag Wien 1997. 389 p.

HOPFIED, H. S. Two-quartic tropospheric refractivity profile for correcting satellite data. Journal of Geophysics Research, 74(18): p. 4487-4499. 1969

IBGE. Modelo de ondulação geoidal: MAPGEO 2004. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm. Acesso em: 18 de novembro de 2005.

ISHIKAWA, M. I., ITAME, O. Y. Efeitos de multicaminhamento em levantamentos utilizando GPS aplicados ao cadastro técnico urbano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 5, 2000. Florianópolis. **Anais... Florianópolis:** CIASC, 2000. P. 1-10

JORDAN, D. W. **Tratado General de Topografia**. Barcelona: Editora Gustavo Gili, v. 1, 9a ed, 1961. 320p.

KLOBUCHAR, j. a. Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users. IEEE Transactions on Aerospace and Eletronics Systems, vol 23, n. 23, p 325-331, 1987

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. John Wiley & Sons Inc. First Edition, 1994.

LOCH, C., CORDINI, J. **Topografia contemporânea: planimetria**. Florianópolis: UFSC. 1995. 320p.

MAIA, T. C. B. **Estudo e análise de poligonais segundo a NBR 13.133 e o sistema de posicionamento global**. São Carlos: USP, 1999. 176 p. Tese (Mestrado em Transporte) Escola de Engenharia de São Carlos- Universidade de São Paulo.

MARINI, J. W. Correction of satellite tracking data for an arbitrary tropospheric profile. Radio Science, v. 7, n.2, p:223-231, 1972

MONICO, João Francisco Galera. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2000.

MORAES, R. V., FITZGIBBON, K. T.; WALTER, F. **O sistema GPS**. 2000. Disponível em <<http://www.barretos.com.br/gps/Artigos/IIA/artig12a.htm>> Acesso em: 04 de novembro. 2005.

PESSOA, L. M. C.. GPS Rápido-estático: eficiência em levantamentos topográficos. Fator GIS _ **Revista de geoprocessamento**. Ed. Sagres, Curitiba - PR, n 16, p30., 1996.

_____. Efeitos que degradam a precisão do GPS. Fator GIS _ **Revista de geoprocessamento**. Ed. Sagres, Curitiba - PR, n 17, p. 28-29, 1997.

_____. Desvendando o sinal GPS. Fator GIS _ **Revista de geoprocessamento**. Ed. Sagres, Curitiba - PR, n 18, p. 44-45, 1997.

ROBAINA, A. D.; TEN CATEN, A. **Fundamentos do Sistema de posicionamento global -GPS**. Santa Maria: Colégio Politécnico de Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2006, 67 f. (Série Caderno Didático).

ROCHA, César Henrique Barra. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Editora do Autor, 2000. 220 p.

SAASTAMOINEN, I. I. Contribution to the teory of atmospheric refraction. Bulletin Géodésique, n.107. p. 13-34, 1973.

SANTOS, M. C. A ionosfera e as redes de referência ativas - GPS. INFO GEO – **Revista de geoprocessamento**. Curitiba: Espaço GEO, n 12, p. 32-33, 2000.

SCHNEIDER, P.R. **Análise de Regressão Aplicada à Engenharia Florestal**. 2. ed. Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1998. 236 p.

SEEBER, G. Satellite geodesy: foundations, methods and applications. New York: Walter de Gruyter, 2003. 589p.

SEGANTINE, P. C. L. **GPS – Sistema de Posicionamento Global**, São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005, 364p.

SEGANTINE, P. C. L. **GPS – Sistema de Posicionamento Global**. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo. 1998. 181p.

SILVA, A. J. P. **O uso do GPS nas medições geodésicas de curta distância.** Curitiba: UFPR, 1990. 180 p. Tese (Mestrado em Ciências Geodésicas) Universidade Federal do Paraná, 1990.

SILVA, A. S. **Global positioning system.** Universidade de Viçosa. Viçosa. MG. 1997. 117p.

SILVA, N. C. C., SANTOS, M. C., OLIVEIRA L. C. Estudo comparativo sobre o efeito da refração troposférica no posicionamento geodésico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 3., 1998. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: CIASC, 1998. P. 1-11.

SOKKIA. Spectrum Survey. **GPS post processing software reference manual.** Melrose Drive, Lenexa, Kansas, U.S. A. 1999.

SOUZA, D., RODRIGUES, D. D., SILVA, A. S. Avaliação da precisão dos vetores resultantes obtidos por observação GPS. In: Simposio de Pesquisa e Iniciação Científica, 2003, Governador Valadares. **Anais ...** Governador Valadares: Editora Univale, 2003. v. 1. p. 69-69.

WILLMONT, C. J.: On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, n. 2, p.184-194,1981.

WOLF, P.R. GHILANI, C. D. **Adjustment Computations: statistics and least squares in surveying and GIS.** New York: John Wiley & Sons, 1997. 564 p.

ANEXOS

ANEXO 1 – Relatórios dos processamentos das observações GPS para a implantação do marco de precisão MP – RBMC Santa Maria-RS e MP – RBMC Porto Alegre-RS.

Project Name: FL_SMARP2_161205
 Processed: Wednesday, 22 de February de 2006 15:52
 WAVE Baseline Processor, version 2.35

Summary Reference Index:

From Station: SMAR - RBMC Santa Ma

Data file: SMAR3501.RNX

Antenna Height (meters): 0.118 True Vertical 0.008 Uncorrected

Position Quality: Fixed Control

WGS 84 Position: 29° 43' 08.136172" S	X	3280748.886
53° 42' 59.710120" W	Y	-4468909.246
113.153	Z	-3143408.978

To Station: MPC2

Data file: PRO1350M.RNX

Antenna Height (meters): 1.400 True Vertical

WGS 84 Position: 29° 03' 40.441460" S	X	3215442.935
54° 48' 44.412952" W	Y	-4560265.233
386.856	Z	-3080023.328

Start Time: 16/12/05 12:54:05.00 Local (1353 478445.00)

Stop Time: 16/12/05 21:24:00.00 Local (1353 509040.00)

Occupation Time 08:29:55.00 Meas. Interval (seconds): 15.00

Solution Type: Iono free fixed double difference

Solution Acceptability: Passed ratio test

Ephemeris: Broadcast

Met Data: Standard

Baseline Slope Distance (m): 128951.636 Std. Dev. (m): 0.000773

	Forward	Backward
Normal Section Azimuth:	304° 09' 21.251885"	124° 41' 37.181858"
Vertical Angle:	-0° 27' 28.965319"	-0° 42' 04.595547"

Baseline Components (m): dx -65305.951 dy -91355.987 dz 63385.650

Standard Deviations (meters): 0.003610 0.005076 0.003375

Variance Ratio: 3.3 Cutoff: 1.5 Reference Variance: 6.701

Observable Count/Rejected: 11374/76 RMS: 0.028 Iono free phase

Project Name: FL_POAL_161205
 Processed: Wednesday, 22 de February de 2006 16:16
 WAVE Baseline Processor, version 2.35

Summary Reference Index:

From Station: POAL - RBMC Porto AI

Data file: POAL3501.RNX

Antenna Height (meters): 0.007 True Vertical

Position Quality: Fixed Control

WGS 84 Position: 30° 04' 26.562210" S	X	3467519.872
51° 07' 11.127570" W	Y	-4300378.022
76.793	Z	-3177518.006

To Station: MPC2

Data file: PRO1350M.RNX

Antenna Height (meters): 1.400 True Vertical

WGS 84 Position: 29° 03' 40.441766" S	X	3215442.843
54° 48' 44.413586" W	Y	-4560265.133
386.708	Z	-3080023.264

Start Time: 16/12/05 12:54:05.00 Local (1353 478445.00)

Stop Time: 16/12/05 22:28:40.00 Local (1353 512920.00)

Occupation Time: 09:34:35.00 Meas. Interval (seconds): 15.00

Solution Type: Iono free float double difference

Solution Acceptability: Acceptable

Ephemeris: Broadcast

Met Data: Standard

Baseline Slope Distance (m): 374952.482 Std. Dev. (m): 0.001655

	Forward	Backward
Normal Section Azimuth:	286° 30' 07.149321"	108° 19' 28.690285"
Vertical Angle:	-1° 38' 10.767045"	-1° 43' 51.902491"

Baseline Components (meters): dx	-252077.029	dy	-259887.111	dz	97494.742
Standard Deviations (meters):	0.003136		0.003801		0.002482

Reference Variance: 2.973

Observable Count/Rejected: 12630/70 RMS: 0.019 Iono free phase

ANEXO 2 - Análise do erro de fechamento

A.2.1 – Análise do erro de fechamento

O vetor erro de fechamento é dado por:

$$W = F(Lb) = \begin{bmatrix} W1 \\ W2 \\ W3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X1 + \Delta X2 + (X1 - X3) \\ \Delta Y1 + \Delta Y2 + (Y1 - Y3) \\ \Delta Z1 + \Delta Z2 + (Z1 - Z3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,033 \\ +0,029 \\ +0,010 \end{bmatrix}$$

O erro total calculado, a partir dos valores observados no levantamento, é

$$E_{tc} = \sqrt{0,033^2 + 0,029^2 + 0,010^2} = 0,045 \text{ m}$$

e o erro total admissível, ao nível de significância de 95%, é $E_{ta} = 3,1328 \sqrt{\rho_{Lc}}$,

sendo $\rho_{Lc} = U^T (B \cdot P^{-1} \cdot B^T) U$ e $U^T = [-0,732 \ 0,644 \ 0,222]$

A matriz B é obtida por:

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

e a matriz P^{-1} é dada por:

$$P^{-1} = \begin{bmatrix} 0,000238 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,000104 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,000251 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,001026 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,000268 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,000406 \end{bmatrix}$$

de modo que:

$$B \cdot P^{-1} \cdot B^T = \begin{bmatrix} 0,000342 & 0 & 0 \\ 0 & 0,001227 & 0 \\ 0 & 0 & 0,000674 \end{bmatrix}$$

$$\rho_{Lc}^2 = \begin{bmatrix} -0,732 & 0,644 & 0,222 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,000324 & 0 & 0 \\ 0 & 0,001227 & 0 \\ 0 & 0 & 0,000674 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0,732 \\ +0,644 \\ +0,222 \end{bmatrix} = 0,001m^2$$

$$Et_a = 3,1328 \sqrt{0,001} = 0,086 m > Et_c = 0,045 m$$

A.2.2 – Conclusão

Sendo o erro total calculado ($Et_c = 0,045 m$) menor do que o erro total admitido ou tolerado ($Et_a = 0,086 m$), pode-se proceder o ajustamento das coordenadas do Marco MP transportado para o interior da propriedade.

ANEXO 3 - Ajustamento das coordenadas do marco de precisão MP

3.3.1 – Avaliação do ajustamento

O método utilizado para o ajustamento das coordenadas de um Marco foi o método das equações de condição:

As observações (Lb) são em número de 6 ($\Delta X1$, $\Delta Y1$, $\Delta Z1$, $\Delta X2$, $\Delta Y2$ e $\Delta Z2$), e as incógnitas são 3 (as coordenadas do ponto Marco). O número de equações de condição (3) e $r = 3$ é o número de graus de liberdade.

O modelo matemático é do tipo $F(La) = 0$, que será expresso por:

$$\Delta X1 + V1 + \Delta X2 + V2 + (X3 - X1) = 0$$

$$\Delta Y1 + V3 + \Delta Y2 + V4 + (Y3 - Y1) = 0$$

$$\Delta Z1 + V5 + \Delta Z2 + V6 + (Z3 - Z1) = 0$$

Que pode ser transformado em

$$V1 + V2 + W1 = 0$$

$$V3 + V4 + W2 = 0 \quad \text{-----} > \mathbf{B \cdot V + W = 0}$$

$$V5 + V6 + W3 = 0$$

Equações normais

$$\mathbf{M \cdot K + W = 0} \quad \text{-----} > \mathbf{K = - M^{-1} \cdot W} \quad \text{com} \quad \mathbf{M = B \cdot P^{-1} \cdot B^T}$$

Conhecidas as matrizes W e B, a matriz dos pesos P foi montada admitindo que as observações são independentes, que os pesos sejam inversamente proporcionais as variâncias de cada componente e que $\rho_0^2 = I$ (variância da unidade de pesos *a priori*).

$$M = B \cdot P^{-1} \cdot B^T = \begin{bmatrix} 0,000342 & 0 & 0 \\ 0 & 0,001227 & 0 \\ 0 & 0 & 0,000674 \end{bmatrix}$$

$$M^{-1} = \begin{bmatrix} 2926,886 & 0 & 0 \\ 0 & 783,276 & 0 \\ 0 & 0 & 1484,098 \end{bmatrix}$$

$$K = -M^{-1} \cdot W = \begin{bmatrix} +96,587 \\ -22,715 \\ -14,841 \end{bmatrix}$$

Variância da unidade de peso *a posteriori* ($\hat{\rho}_0^2$)

$$V^T P V = -K^T W = 3,995 \qquad \hat{\rho}_0^2 = \frac{V^T P V}{r} = \frac{3,395}{3} = 1,332 \text{ m}^2$$

Hipótese de nulidade $H_0: \rho_0^2 = \hat{\rho}_0^2 = 1$

Hipótese alternativa $H_a: \rho_0^2 \neq \hat{\rho}_0^2 \neq 1$

$$\chi^2 \text{ calculado} = \frac{1,332}{1} \cdot 3 = 3,996$$

A.3.3 - Cálculo do vetor dos resíduos V

$$P^{-1} B^T = \begin{bmatrix} 0,000238 & 0 & 0 \\ 0,000104 & 0 & 0 \\ 0 & 0,000251 & 0 \\ 0 & 0,001026 & 0 \\ 0 & 0 & 0,000268 \\ 0 & 0 & 0,000406 \end{bmatrix} \quad V = P^{-1} B^T \cdot K = \begin{bmatrix} -0,010 \\ -0,023 \\ +0,023 \\ +0,006 \\ +0,006 \\ +0,004 \end{bmatrix}$$

A.3.4 – Valores observados ajustados (diferença de coordenadas)

$$L_a = L_b + V = \begin{bmatrix} -65305,951 \\ 252076,970 \\ -91355,987 \\ 259887,182 \\ 63385,650 \\ -97494,688 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,010 \\ -0,023 \\ +0,023 \\ +0,006 \\ +0,006 \\ +0,004 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -65305,961 \\ 252076,947 \\ -91355,964 \\ 259887,186 \\ 63385,656 \\ -97494,684 \end{bmatrix}$$

A.3.5 - Coordenadas ajustadas do Marco MP - Datum SAD 69

Coordenadas dos pontos de controle	Diferenças de coordenadas ajustadas	Coordenadas Ajustadas Marco MP
POAL X = 3476586,742 m	$\Delta x = -252076,947$ m	X = 3215509,795 m
POAL Y = -4300382,392 m	$\Delta y = -259887,188$	Y = -4560269,580 m
POAL Z = -3177479,486 m	$\Delta z = 97494,684$ m	Z = -3079984,802 m
SMAR X = 3280815,756 m	$\Delta x = -65305,961$ m	X = 3215509,795 m
SMAR Y = -4468913,616 m	$\Delta y = -91355,964$	Y = -4560269,580 m
SMAR Z = -3143370,458 m	$\Delta z = 63385,656$ m	Z = -3079984,802 m

A.3.6 – Matriz de Variância-Covariância dos valores ajustados

	$\Delta X1$	$\Delta X2$	$\Delta Y1$	$\Delta Y2$	$\Delta Z1$	$\Delta Z2$
$\Delta X1$	0,000072	-0,000072	0	0	0	0
$\Delta X2$	-0,000072	0,000072	0	0	0	0
$\Delta Y1$	0	0	0,000202	-0,000202	0	0
$\Delta Y2$	0	0	-0,000202	0,000202	0	0
$\Delta Z1$	0	0	0	0	0,000003	-0,000003
$\Delta Z2$	0	0	0	0	-0,000003	0,000003

A.3.7 – Coordenadas do Marco MP e suas precisões (após o ajustamento).

$$\rho_x = 1,154 \sqrt{0,000072} = 0,0098 \text{ m}$$

$$\rho_y = 1,154 \sqrt{0,000202} = 0,0164 \text{ m}$$

$$\rho_z = 1,154 \sqrt{0,000003} = 0,0020 \text{ m}$$

Coordenadas do Marco de Precisão – MP		
Geocêntricas	Geográficas	Cartográficas
X = 3215509,795 m	$\varphi = -29^\circ 03' 38,70025206''$	N = 6783296,034 m
Y = -4560269,580 m	$\lambda = -54^\circ 48' 42,48564480''$	E = 713033,961m
Z = -3079984,802 m	h = 382,066 m	H = 377,576 m (MapGeo)

A.3.8 – Precisão horizontal do Marco MP

$$\rho_{MP2} = \sqrt{9,8^2 + 16,4^2} = 19 \text{ mm} = 1,9 \text{ cm}$$

ANEXO 4 - Resumo do processamento das observações GPS dos vértices da poligonal com fase da portadora L1

Vértice	Tipo de Solução	Linha base m	%	Ratio	rms	Coordenadas Planas (m)	
						Norte	Este
PT_MN02	Fixed	4335.403	90.68%	4.0	0.013	6785368,341	709227,019
PT_MN03	Fixed	4241.955	99.95%	4.7	0.007	6785289,880	709290,930
PT_MN04	Fixed	4007.283	78.91%	4.1	0.007	6785161,557	709488,548
PT_MN05	Fixed	4001.805	99.95%	4.0	0.010	6785169,894	709499,190
PT_MN06	Fixed	3995.762	100.00%	4.2	0.007	6785168,752	709505,407
PT_MN07	Fixed	3947.829	100.00%	4.0	0.007	6785144,005	709546,535
PT_MN08	Fixed	3776.369	100.00%	4.3	0.011	6785198,577	709772,884
PT_MN09	Fixed	3727.928	99.64%	4.1	0.010	6785188,298	709822,948
PT_MN10	Fixed	3645.754	90.04%	4.5	0.010	6785232,717	709946,107
PT_MN20	Fixed	3150.160	97.50%	4.1	0.012	6785232,567	710549,787
PT_MN21	Fixed	3031.774	99.65%	6.2	0.009	6785272,423	710735,242
PT_MN22	Fixed	3030.955	87.71%	4.2	0.012	6785272,621	710736,490
PT_MN23	Fixed	799.928	98.81%	6.3	0.008	6783985,552	713439,452
PT_PE01	Fixed	719.036	99.74%	7.8	0.006	6783893,087	713434,582
PT_PE02	Fixed	643.464	96.74%	4.0	0.007	6783791,199	713444,666
PT_PE03	Fixed	557.275	99.26%	4.1	0.006	6783576,700	713515,337
PT_PE04	Fixed	506.777	99.61%	5.2	0.006	6783469,461	713510,130
PT_PE05	Fixed	412.734	99.48%	5.3	0.007	6783264,428	713445,481
PT_PE06	Fixed	424.986	95.20%	4.3	0.007	6783156,964	713435,555
PT_PE07	Fixed	601.313	99.93%	4.7	0.007	6782913,916	713498,326
PT_PE09	Fixed	833.320	99.87%	6.4	0.005	6782556,271	713417,776
PT_PE10	Fixed	835.548	100.00%	9.1	0.004	6782550,690	713411,776
PT_MS02	Fixed	1669.050	96.96%	4.2	0.012	6783561,357	711386,771
PT_MS03	Fixed	3349.313	90.77%	3.9	0.015	6783488,563	709691,045
PT_MS04	Fixed	3294.450	98.24%	4.0	0.012	6783643,725	709758,825
PT_MS05	Fixed	4372.283	99.96%	4.4	0.006	6784016,108	708721,613