

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

**INFLUÊNCIA DO ACRÉSCIMO DE SATÉLITES
GLONASS SOBRE A QUALIDADE DE
COORDENADAS ESTIMADAS COM SATÉLITES GPS
EM LOCAL DE DIFÍCIL RASTREIO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

Tiago de Carvalho Nobre

**Santa Maria, RS, Brasil
2008**

INFLUÊNCIA DO ACRÉSCIMO DE SATÉLITES GLONASS SOBRE A QUALIDADE DE COORDENADAS ESTIMADAS COM SATÉLITES GPS EM LOCAL DE DIFÍCIL RASTREIO

Por

Tiago de Carvalho Nobre

Monografia apresentada ao Curso de Especialização 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 de
Especialista em Geomática

Orientadora: Dr^a Liane de Souza Weber

Santa Maria, RS, Brasil

2008

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Monografia

**INFLUÊNCIA DO ACRÉSCIMO DE SATÉLITES GLONASS SOBRE A
QUALIDADE DE COORDENADAS ESTIMADAS COM SATÉLITES
GPS EM LOCAL DE DIFÍCIL RASTREIO**

elaborada por
Tiago de Carvalho Nobre

como requisito parcial para obtenção de grau de
Especialista em Geomática

Comissão Examinadora:

Liane de Souza Weber, Dr^a. (UFSM)
(Presidente / Orientadora)

Adroaldo Dias Robaina, Dr. (UFSM)

Elódio Sebem, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 11 de novembro de 2.008.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser o princípio de tudo.

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

À Professora Liane de Souza Weber pela oportunidade e pelo ensinamento.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Geomática pelo convívio e ensinamento.

À Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária - FEPAGRO, especialmente na pessoa do Sr. Jorge Alberto Porciúncula, pela disponibilidade da área para a realização do experimento.

Ao Engenheiro Agrônomo e amigo Evaldo Andrade Souto, pelo empréstimo de equipamentos e, principalmente, pela ajuda e interesse.

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

Muito Obrigado.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 8 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 11 |
| 2.1 Sistema de Posicionamento Global – GPS..... | 11 |
| 2.1.1 Segmentos do Sistema..... | 11 |
| 2.1.1.1 Segmento Espacial..... | 12 |
| 2.1.1.2 Segmento de Controle..... | 12 |
| 2.1.1.3 Segmento do Usuário..... | 13 |
| 2.1.2 Princípio de Posicionamento com o GPS..... | 13 |
| 2.1.2.1 Característica do Sinal..... | 14 |
| 2.1.2.2 Geometria dos Satélites..... | 14 |
| 2.1.2.3 Fontes de Erros das Observáveis..... | 15 |
| 2.1.3 Métodos de Posicionamento..... | 16 |
| 2.1.3.1 Posicionamento Isolado ou Absoluto..... | 16 |
| 2.1.3.2 Posicionamento Relativo ou Diferencial..... | 16 |
| 2.2 Sistema GLONASS..... | 16 |
| 2.3 Integração entre GPS e GLONASS..... | 18 |
| 2.4 Precisão e Acurácia..... | 19 |
| 2.5 Fatores influentes na precisão..... | 20 |
| 2.6 Intervalo de confiança..... | 21 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 22 |
| 3.1 Transporte de coordenadas..... | 22 |
| 3.2 Coleta dos dados do experimento..... | 24 |
| 3.3 Transferência dos dados brutos..... | 26 |
| 3.4 Processamento dos dados..... | 26 |
| 3.5 Aplicação do conceito de Intervalo de Confiança..... | 26 |
| 3.5.1 Acurácia horizontal com dados GPS..... | 26 |
| 3.5.2 Acurácia horizontal com dados GPS+GLONASS..... | 28 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 30 |
| 4.1 Análise do processamento dos dados GPS..... | 30 |
| 4.2 Análise do processamento dos dados GPS + GLONASS..... | 31 |

| | |
|--|-----------|
| 5 CONCLUSÃO..... | 33 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 34 |
| APÊNDICES..... | 35 |
| ANEXOS..... | 50 |

RESUMO

Monografia de Especialização
Programa de Pós Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

INFLUÊNCIA DO ACRÉSCIMO DE SATÉLITES GLONASS SOBRE A QUALIDADE DE COORDENADAS ESTIMADAS COM SATÉLITES GPS EM LOCAL DE DIFÍCIL RASTREIO

Autor: Tiago de Carvalho Nobre
Orientadora: Prof^a Liane de Souza Weber
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 11 de novembro de 2008

A partir de um ponto com coordenadas estimadas através da utilização de satélites da constelação GPS, localizado em local de difícil rastreamento, mediante a utilização de procedimentos de transporte de coordenadas com a utilização de aparelhos receptores de sinais de satélites de dupla frequência, georreferenciado ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), avaliou-se a influência do acréscimo da constelação GLONASS sobre estas coordenadas, com sinais captados pelos mesmos receptores e tratados em pós-processamento em programa computacional específico. O acréscimo dos dados de satélites GLONASS indicou uma melhora na qualidade da acurácia e a redução dos valores de PDOP destas observações.

Palavras-chave: GPS; GLONASS; coordenadas; acurácia.

ABSTRACT

Monograph of Specialization
Post-Graduate in Geomatics
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

INFLUENCE OF THE ADDITION OF GLONASS SATELLITES ON THE QUALITY OF ESTIMATED COORDINATES WITH GPS SATELLITES IN A DIFFICULT TRACING PLACE

Author: Tiago de Carvalho Nobre
Adviser: Prof^a Liane de Souza Weber
Date and Place of Examination: Santa Maria, November 11th, 2008

From estimate coordinates point through the use of GPS satellites constellation, located in difficult tracing GPS signs place, by means of using coordinated procedures of transport with the use of receiving devices with double frequency signals satellites, referring to the Brazilian Geodetic System (SGB), it was evaluated the influence of the addition of GLONASS constellation on these coordinates, with signals caught for the same receivers and treated in after-processing specific software. The addition of GLONASS's data indicated an improvement in the accuracy's quality and the reduction of the values of PDOP of these observations.

Keywords: GPS; GLONASS; coordinates; accuracy.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Silva et al.(200-), a Geodésia é a ciência que tem, entre outros objetivos, a determinação da forma e as dimensões da Terra, através de medições, observações e operações matemáticas.

De acordo com Erba et al (2003), a busca da determinação da forma da terra não é recente. O homem sempre teve o interesse de conhecer o espaço onde estava instalado e a representação gráfica deste espaço tornou-se uma necessidade, principalmente com os deslocamentos de exércitos para a conquista de novos territórios.

As principais contribuições para a determinação de uma Terra esférica vieram de Pitágoras (aproximadamente 580-500 anos antes de Cristo) e Aristóteles (aproximadamente 384-322 A.C.), comprovada por Eratóstones (aproximadamente 276-195 A.C.). Apesar da comprovação realizada por Eratóstones, a idéia de uma Terra esférica acabou sendo esquecida ao longo dos séculos e somente com as viagens de Fernão de Magalhães (1480-1521) é que foi aceita definitivamente. Esta idéia prevaleceu até fins do século XVII, quando Cristian Huygens (1629-1695) e Isaac Newton (1642-1727) afirmaram que a real forma da Terra era a de um elipsóide de revolução com os pólos achatados. Esta afirmação foi comprovada pela Academia de Ciências de Paris que no ano de 1735 decidiu enviar duas expedições independentes para medir simultaneamente dois arcos de meridiano. Uma expedição foi à Lapônia, o mais próximo possível do Pólo Norte e outra expedição dirigiu-se ao mais próximo da linha do Equador. Estas medidas de comprimento de arco de meridiano deram origem ao primeiro Elipsóide de Referência, sendo publicadas em 1799. (SILVA et al, 200-)

Todas estas medições eram efetuadas com o auxílio de instrumental óptico-mecânico, com medidas lineares e angulares obtidas a campo. Com o surgimento da fotografia e o desenvolvimento de aeronaves, desenvolveu-se a fotogrametria. A partir de 1990, a fotogrametria passou a utilizar imagens digitais ao invés de papel, sendo chamada de fotogrametria digital. Mais recentemente, a utilização em maior escala de satélites artificiais para a obtenção de imagens obtidas por sensores digitais ou sua utilização para a estimativa de uma posição na superfície da Terra ou

próximo a ela proporcionaram uma revolução nos métodos e instrumentos de mensuração. (ERBA et al, 2003)

Hofmann-Wellenhof et al. (1997) afirmam que se conhecendo a posição dos satélites torna-se possível a estimativa de posição de qualquer ponto na superfície terrestre. Para tanto, utiliza-se o Princípio da Trilateração Espacial, com a medição da distância entre uma base terrestre e o satélite. Com esta distância conhecida, efetua-se o cálculo a partir de pontos conhecidos na superfície terrestre.

A primeira técnica para a obtenção de um par coordenado na superfície terrestre partindo-se de coordenadas conhecidas de satélites foi baseada no efeito Doppler, com o uso do sistema TRANSIT, das forças armadas americanas, disponibilizado para a comunidade civil a partir de 1967. Neste sistema, o número de satélites era insuficiente para uma cobertura global, além das órbitas dos satélites serem relativamente baixas. A consequência disso era que não se conseguia obter posições com a frequência desejada – ou necessária. (MONICO, 2000)

O Sistema de Posicionamento Global NAVSTAR (NAVigation Satellite with Time And Ranging), popularmente conhecido como GPS (Global Positioning System), projetado, desenvolvido e mantido pelo Departamento de Defesa Americano, teve início em meados dos anos 80 desde o início obteve grande sucesso, substituindo em toda plenitude seu antecessor. Inicialmente projetado para uso militar, seu sucesso foi tal que passou a ser utilizado pela comunidade civil. (MONICO, 2000).

Outro sistema com características semelhantes ao GPS foi concebido no início dos anos 70 pela antiga URSS, denominado Sistema GLONASS e que deverá estar confiável a partir de 2011.

A União Européia, para não ficar atrás desta corrida espacial, também prepara o Sistema Galileo, que deverá estar operando a partir de 2010. (MONTES JUNIOR, N.L.& WALTER, F., 200-)

A literatura já utiliza o termo Sistema de Navegação Global por Satélites, cuja abreviatura, em inglês, é GNSS (Global Navigation Satellite System), e tem por objetivo designar todos os sistemas existentes e os que venham a entrar em operação no futuro. (MONICO, 2000).

Alguns receptores de dupla frequência de sinais de satélites existentes no mercado captam sinais de satélites russos – além, é claro, de sinais dos satélites pertencentes à constelação GPS.

Este trabalho tem por objetivo avaliar a influência dos sinais dos satélites já disponíveis da constelação GLONASS sobre uma posição na superfície terrestre localizada em local de difícil rastreamento, cujo par coordenado foi estimado a partir de um transporte de coordenadas realizado com receptor de sinais de satélite com duas frequências, com posterior coleta de sinais por períodos de tempo próximos a 5 minutos, criando uma situação análoga às encontradas diariamente por profissionais da área da mensuração e do posicionamento, especialmente aqueles envolvidos com o georreferenciamento de imóveis rurais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema de Posicionamento Global – GPS

Com o advento da guerra fria, as forças armadas dos Estados Unidos sentiram a necessidade de melhorar a precisão do sistema de posicionamento até então utilizado, denominado Transit. Desta forma, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos desenvolveu, implantou e mantém o chamado Global Positional System (GPS), ou Sistema de Posicionamento Global, cuja característica principal é a capacidade de fornecer solução instantânea, em qualquer ponto da superfície terrestre ou próximo a ela, para os problemas de posicionamento, em qualquer condição meteorológica, independentemente da velocidade de deslocamento deste ponto, e a qualquer momento. (MONICO, 2000).

A concepção do sistema GPS permite que um usuário, em qualquer local da superfície terrestre ou próximo a ela, tenha a sua disposição, no mínimo, quatro satélites para serem rastreados. (MONICO, 2000).

Seu princípio básico consiste na medida das distâncias entre a antena do receptor e quatro satélites. Dentro de um mesmo sistema de referência, conhecendo-se as coordenadas de, no mínimo, quatro satélites torna-se possível calcular as coordenadas da antena do receptor. Geometricamente, seria suficiente o conhecimento de somente três distâncias, desde que não pertençam ao mesmo plano. Desta forma, a problemática estaria resolvida com a solução de três equações com três incógnitas. Porém, a quarta medida é necessária em virtude do não sincronismo entre os relógios do satélite e o do receptor, adicionando-se, assim, mais uma incógnita ao problema. (ALVES, 2006)

2.1.1 Segmentos do Sistema

Existem três segmentos distintos compondo o sistema GPS. Destes segmentos, dois são diretamente mantidos e administrados pelo governo americano e o terceiro segmento é totalmente dependente dos dois primeiros.

2.1.1.1 Segmento Espacial

Este segmento é formado pelos satélites do sistema GPS, cuja função é a geração e a transmissão de sinais. Segundo Monico (2000), um satélite GPS é composto basicamente por osciladores atômicos (relógios), antenas e painéis solares (para navegação e suprimento de energia) e retrofoguetes (para ajuste da órbita).

A configuração final do sistema GPS foi obtida em 1994, com vinte e quatro satélites operacionais, distribuídos em seis planos orbitais, espaçados em 60° (sessenta graus), com planos orbitais inclinados 55° (cinquenta e cinco graus) em relação ao plano equatorial, com altitude média aproximada de 20.200 km. (MONICO,2000).

De acordo com Alves (2006), os satélites percorrem uma órbita completa a cada 12 horas, e cada satélite possui 28° (vinte e oito graus) de visualização sobre a terra.

Hofmann-Wellennhof et al. (1997) citam que existem quatro satélites em cada plano orbital, distribuídos de forma a tornar possível a cobertura em qualquer ponto da terra, em qualquer hora do dia, disponibilizando um mínimo de quatro satélites observáveis.

Os sinais emitidos pelos satélites do sistema GPS, de acordo com Pessoa (1997), consistem 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.

2.1.1.2 Segmento de Controle

O segmento de controle é formado por estações terrestres, sob o controle do Departamento de Defesa americano, com o objetivo de monitorar, corrigir e garantir o funcionamento do sistema. Este segmento possui uma estação de controle principal e uma estação de monitoramento localizada em Colorado Springs, (EUA) e outras quatro estações de monitoramento localizadas no Havaí (EUA), Ilha da Ascensão (Atlântico Sul), Ilha Diego Garcia (Oceano Índico) e Kwajalein (Pacífico Norte).

Para Segantine (1998), as funções do segmento de controle estão em rastrear os satélites do sistema, determinar as suas órbitas, transmitir com periodicidade as mensagens de navegação para cada satélite, corrigir as efemérides transmitidas e os erros dos relógios e determinar o tempo GPS.

Segundo Mônico (2000), as estações de monitoramento localizadas na Ilha da Ascensão, Diego Garcia e Kwajalein possuem antenas para transmitir dados para os satélites.

2.1.1.3 Segmento do Usuário

De acordo com Segantine (1998), o segmento do usuário é constituído por dois grupos distintos: as forças armadas americanas e a comunidade civil.

Quanto ao uso militar americano, praticamente não se dispõe de informações.

Com o fim da guerra fria, o sistema GPS passou a disponibilizar uma precisão de informações muito maior à comunidade civil. Desta forma, sua utilização passou a integrar uma série de atividades que necessitem posicionamento, tais como a navegação, aviação, transporte, logística, turismo, mensuração, entre tantas outras.

Segundo Alves (2006), o segmento do usuário compreende todas as classes de receptores de sinais de satélite GPS e seus componentes, geralmente divididos em receptores de navegação (utilizam código) e receptores para uso em mensuração, necessitando maior precisão (utilizam a fase das portadoras), capazes de transformar sinal GPS em posição, velocidade e tempo. Neste segmento estão incluídos, ainda, todos os elementos necessários para este processo, como antenas e programas de processamento.

2.1.2 Princípio de Posicionamento com o GPS

Para uma correta avaliação da qualidade de um ponto com coordenadas estimadas na superfície terrestre ou próximo a ela, torna-se importante o entendimento dos seguintes itens:

2.1.2.1 Características do Sinal

Segundo Monico (2000), os satélites GPS transmitem duas ondas portadoras de sinais, denominadas L1 e L2, cuja frequência fundamental é de 10,23 MHz. Esta frequência, ao ser multiplicada por 154 e 120, respectivamente, gera as frequências finais de 1575,42 MHz e comprimento de onda aproximado de 19 cm para a portadora L1 e 1227,60 MHz e comprimento de onda aproximado de 24 cm para a portadora L2.

Os códigos são modulados sobre estas duas portadoras. Desta forma, podem-se realizar medidas de distância medindo-se o tempo de propagação da modulação. (Leick, 1995, apud. MONICO, 2000).

O código C/A (Coarse Acquisition), não é criptografado, possuindo comprimento de onda aproximado de 300 m, sendo transmitido a uma frequência de 1,023 MHz, modulado somente sobre a onda portadora L1. Cada satélite transmite um código C/A diferente (MONICO, 2000).

O código P (Precise ou Protected) é utilizado especialmente por militares americanos e usuários autorizados. Ele é transmitido a uma frequência de 10,23 MHz, com comprimento de onda aproximado de 30 cm. Este comprimento de onda, praticamente dez vezes menor do que o comprimento de onda do código C/A, permite que as distâncias estimadas com a sua utilização sejam mais precisas.

Em adição aos dois códigos (C/A e P), o sinal GPS carrega, também, mensagens de navegação. Essas mensagens contêm informações tais como efemérides, correções dos relógios dos satélites, saúde dos satélites e informações necessárias para a correção dos dados transmitidos (SEGANTINE, 1998).

2.1.2.2 Geometria dos Satélites

O efeito da geometria dos satélites sobre a qualidade de uma observação pode ser expresso pelo fator de degradação da precisão (DOP-Dilution of Precision). Esta diluição pode ser representada como a razão entre a exatidão do posicionamento e a exatidão da medição:

$$\text{DOP} = \sigma / \sigma \text{ UERE}$$

Onde UERE (User Equivalent Range Error) significa a influência conjunta de todas as fontes de erro, como erro das efemérides, erros de propagação, erro dos relógios e ruído do receptor.

De acordo com Mônico (2000), as seguintes denominações são encontradas na literatura:

σ_H = HDOP para posicionamento horizontal;

σ_V = VDOP para posicionamento vertical;

σ_P = PDOP para posicionamento tridimensional e

σ_T = TDOP para determinação do tempo.

2.1.2.3 Fontes de Erros das Observáveis

De acordo com Farret (2003), podem-se classificar os erros sistemáticos e aleatórios relacionados com as observáveis, de acordo com a fonte e seu respectivo efeito, conforme mostra a Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Erros relacionados com as observáveis GPS

| FONTE | EFEITO |
|--------------------|--|
| Satélite | Erro de relógio do satélite Erros orbitais |
| Meio de Propagação | Refração ionosférica Refração troposférica |
| Receptor | Erro de relógio do receptor Variação do centro de fase da antena Multicaminhamento |

Fonte: Farret (2003)

2.1.3 Métodos de Posicionamento

De acordo com a Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais – 1ª edição existe dois tipos de posicionamento com o GPS:

2.1.3.1 Posicionamento Isolado ou Absoluto

Este método caracteriza-se pela utilização de um único receptor, independente e sem qualquer tipo de correção a partir de informações rastreadas por outro equipamento, seja em tempo real ou confrontadas em pós-processamento. A baixa precisão e acurácia encontrada neste tipo de levantamento indicam seu uso para lazer, esportes, navegação, entre outros.

2.1.3.2 Posicionamento Relativo ou Diferencial

O princípio do posicionamento relativo ou diferencial baseia-se no fato de que a correlação espacial entre os pontos de referência e os pontos a serem determinados permite a eliminação ou redução substancial da maior parte dos erros de posicionamento, podendo fornecer resultado com acurácia de alguns metros ou poucos milímetros, dependendo da observável utilizada.

Este método pode ser realizado de modo estático, ou seja, o ponto a ter o seu par coordenado estimado tem um aparelho receptor de sinais estacionado sobre si ou de modo cinemático, situação onde o aparelho é deslocado até os locais que deverão ter suas coordenadas estimadas, sem perder os sinais dos satélites.

2.2 Sistema GLONASS

De modo a ter o seu próprio sistema de posicionamento, a Rússia criou o sistema GLONASS (Global Navigation Satellite System). De acordo com Seeber (2003), este sistema significa o contraponto russo para sistema GPS americano. Tal qual o seu inspirador, o sistema russo foi projetado para uso civil e militar, fruto da corrida espacial gerada por ocasião da guerra fria ocorrida entre as potências – Estados Unidos e a antiga URSS.

A história do sistema GLONASS teve início na metade da década de 70, de modo a suportar as necessidades de posicionamento militar. O primeiro satélite da constelação foi lançado em 12 de outubro de 1982. No entanto, por dificuldades estratégicas, mas, principalmente, financeiras, o programa GLONASS não deverá estar totalmente operacional até meados de 2011-2012. (SANTOS et al, 2001)

O presidente russo Boris Yeltsin, em setembro de 1993, proclamou oficialmente o sistema GLONASS operacional e, em dezembro de 1995, foram lançados os últimos satélites, de modo a completar os 24 satélites da constelação. No entanto, esta constelação completa durou pouco tempo. Os satélites rapidamente apresentaram problemas, não houve recursos para a manutenção, e a constelação foi reduzida drasticamente. Em 2001, a constelação estava reduzida a seis satélites. Nesse ano, por meio de um decreto governamental, o programa GLONASS tornou-se prioritário para a nação, sendo o único programa espacial do governo a receber este nível de atenção. Assim, o programa GLONASS foi reestruturado de modo a criar o segmento espacial, segmento terrestre, segmento do usuário e criação de um parque industrial relacionado ao uso da geodésia. (SEEBER, 2003)

O segmento espacial deverá ser constituído de 24 satélites ativos e 1 satélite em órbita sobressalente. Os satélites da constelação principal deverão estar distribuídos em três planos orbitais separados de 120° e com inclinação de $64,8^\circ$. (MONICO, 2000).

Segundo Santos et al. (2001), o ângulo de inclinação dos satélites GLONASS oferece uma maior cobertura nas regiões mais setentrionais do planeta e a geometria dos satélites pode ser estimada pelo PDOP, como no sistema GPS.

Na banda L (L1 e L2) são transmitidos dois sinais modulados por códigos equivalentes ao C/A e P do sistema GPS. A diferença é que cada satélite GLONASS transmite o mesmo código.

O sistema utiliza o referencial geodésico PZ-90 - Parametry Zemli 1990 (SEEBER, 2003).

De acordo com Santos et al (2001) o conhecimento dos parâmetros de transformação entre o WGS-84 utilizado pelo sistema GPS e o PZ-90 utilizado pelo GLONASS torna-se uma das informações mais importantes para o seu uso combinado.

O sistema de tempo empregado pelo GLONASS baseia-se no Tempo Universal Coordenado realizado pela Rússia, incluindo a correção de segundos inteiros (leap seconds), ao contrário do sistema de tempo utilizado pelo GPS que é baseado no Tempo Universal Coordenado realizado fornecido pelo U.S. Naval Observatory, sem a introdução das correções dos segundos inteiros (CSIC,1998, apud SANTOS et al, 2001).

De acordo com Santos et al.(2001), o sistema GLONASS pode ser empregado em operações diferenciais (DGLONASS), bem como o GPS, permitindo melhor qualidade nas observações.

2.3 Integração entre GPS e GLONASS

Existem no mercado receptores capazes de receber somente sinais GLONASS. No entanto, devido ao baixo número de satélites disponíveis nessa constelação, este tipo de receptor ainda não tem condições de competir com receptores puramente GPS. A integração de sinais das duas constelações tem despertado interesse na comunidade de usuários, sendo que o principal benefício desta comunhão é combinação de tecnologias para a disponibilidade de um maior número de satélites. (WALLACE & NARUMI, 2005).

Tendo como referência o trabalho publicado por WALLACE & NARUMI, (2005), a Figura 2.1 mostra o planejamento/verificação da disponibilidade de satélites, bem como os valores PDOP ao longo do dia na região da cidade de Brasília, em 23 de fevereiro de 2005, das 8:00h até as 20:00h, com máscara de elevação de 15°. O número médio de satélites GPS disponíveis foi de sete, enquanto que o PDOP variou ao longo do dia, com valor máximo próximo a 7.

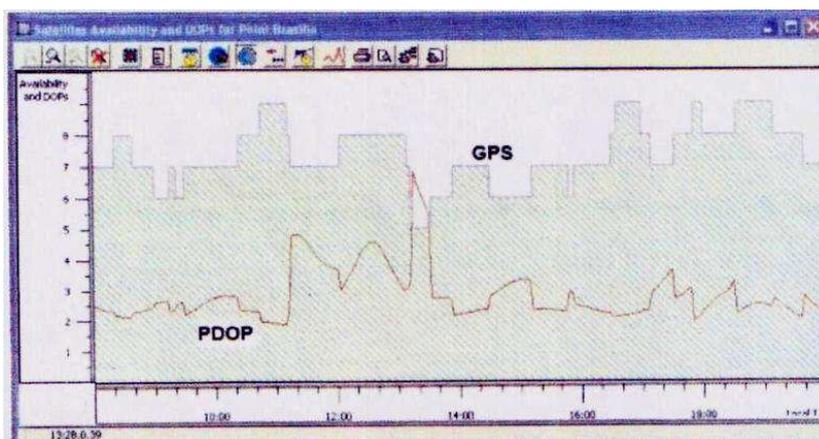


Figura 2.1 - Constelação GPS e PDOP
Fonte: A Mira, n. 125, pg.21,2005.

A Figura 2.2 demonstra o comportamento dos satélites GPS+GLONASS, relativa ao mesmo local, mesma máscara e mesmo período de tempo, na qual o acréscimo dos satélites GLONASS demonstra uma maior disponibilidade de satélites

como, também, uma redução dos valores de PDOP. A referência desta figura é o trabalho de WALLACE & NARUMI, (2005)

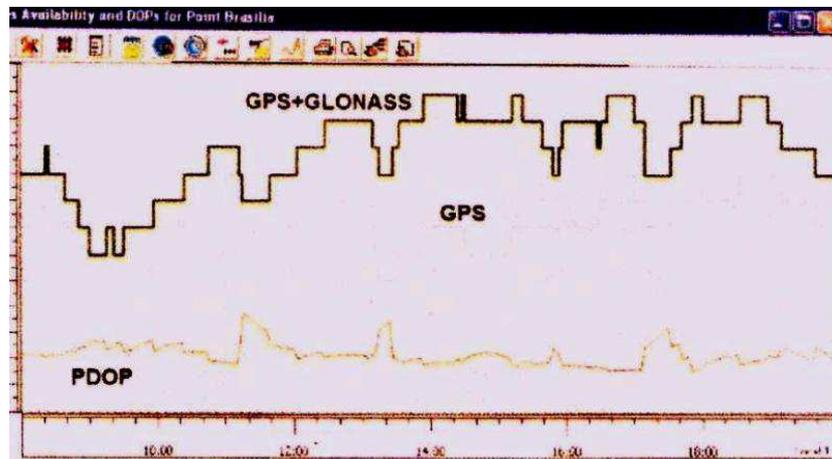


Figura 2.2 - Constelação GPS+GLONASS e PDOP
Fonte: A Mira, n.125, pg.21, 2005.

2.4 Precisão e Acurácia

Para que possamos avaliar a qualidade de uma observação realizada com receptores de sinais de satélite, faz-se necessário a correta compreensão dos termos precisão e acurácia.

De acordo com a 1ª edição da Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais (2003, p.6), “a precisão de uma dada grandeza retrata o nível de aderência entre valores observados, sua repetibilidade ou grau de dispersão”.

Diz-se dizer que a precisão remete ao grau de concordância entre medições individuais de um conjunto de medições, todas da mesma quantidade.

A mesma Norma Técnica conceitua acurácia como o “grau de aproximação de uma grandeza de seu valor verdadeiro”, estando, assim, associado a erros sistemáticos e aleatórios. Portanto, a acurácia é uma medida de confiabilidade, pois é avaliada levando-se em consideração a diferença entre o valor real de uma quantidade medida e o valor provável que foi gerado a partir de uma série de medições. No entanto, o valor verdadeiro é um valor nunca conhecido.

A Figura 2.3 mostra situações que ilustram os conceitos de precisão e acurácia.

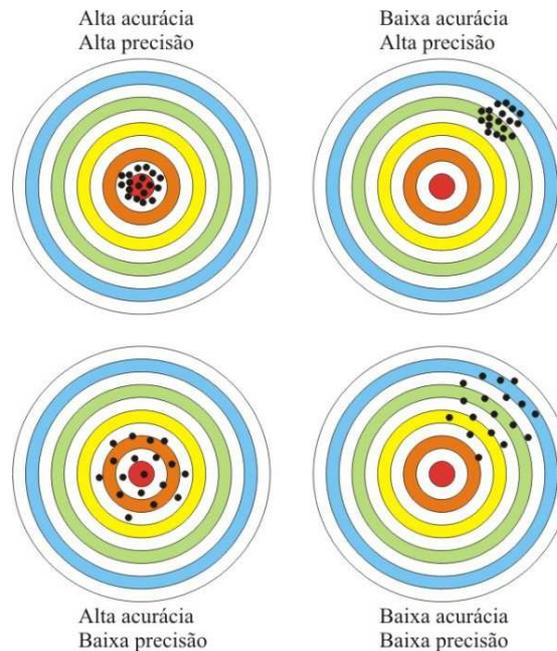


Figura 2.3 - Precisão e Acurácia.

Fonte: <http://www.sampa.if.usp.br:8080/.../blog/files/acuracia/jpg>.
Acesso em: 10 out. 2008.

2.5 Fatores influentes na precisão

De acordo com a Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais – 1ª edição, as seguintes condições devem ser observadas para a estimativa de uma posição com boa qualidade:

- a) Proximidade com a estação de referência (correlação espacial);
- b) Condições atmosféricas nas proximidades de estação de referência e móvel e horário de rastreamento;
- c) Geometria da configuração de satélites;
- d) Magnitude do multicaminhamento na estação móvel;
- e) Qualidade dos receptores.

2.6. Intervalo de confiança

Segundo Gemael (1994) na estimativa por intervalo resultam dois números, os quais definem um intervalo de confiança que incluirá, com certa probabilidade, o parâmetro populacional estimado.

Sejam a e b os extremos do intervalo e f o estimador do fator densidade de probabilidade conhecida e P o parâmetro estimado:

$$P(a \leq f \leq b) = 1 - \alpha$$

Se $1 - \alpha = 0,95$ então o nível de confiança é de 95%, ou ainda, que a probabilidade do intervalo aleatório contiver o parâmetro f é de 95%.

Em função do desvio padrão, o intervalo de confiança para a média pode ser calculado com a seguinte expressão:

$$P\left[\bar{x} - \frac{s_A}{\sqrt{n}} t_{1-\alpha/2} \leq \mu \leq \bar{x} + \frac{s_A}{\sqrt{n}} t_{1-\alpha/2}\right] = 1 - \alpha$$

Que pode ser interpretada como: “probabilidade de que os valores das observações estejam contidos no intervalo aleatório definido pelo extremo superior e inferior e contenha o parâmetro populacional μ .”, onde:

Média dos valores de acurácia:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Variância dos valores de acurácia:

$$s_A^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{x})^2$$

Desvio-padrão dos valores de acurácia:

$$s_A = \sqrt{s_A^2}$$

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento pretende avaliar a influência da constelação GLONASS sobre a qualidade de um ponto implantado em local apresentando densa vegetação, dificultando assim o rastreamento de sinais dos satélites, cujas coordenadas foram

estimadas a partir da utilização da constelação GPS, utilizando-se dos procedimentos constantes na Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais – 1ª edição para o transporte das coordenadas.

Optou-se para este experimento a materialização de um marco, denominado marco EXPT, localizado em uma posição de difícil rastreamento, bem como um marco testemunha, denominado marco TEST, em posição de qualidade antagônica, ou seja, de fácil rastreamento.

O marco testemunha implantado e as coletas de sinais de satélites nele realizadas deverão servir para a verificação da disponibilidade normal de satélites nos dias coletados.

No Apêndice C encontra-se a tabela de dados referentes à ocupação do marco TEST, com os dados GPS processados e, no Apêndice D, encontra-se a tabela com informações do processamento GPS+GLONASS.

As altitudes elipsoidais referentes às observações, obtidas após o processamento, não serão consideradas neste trabalho.

3.1 Transporte de coordenadas

Os marcos do experimento foram implantados em área pertencente à Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária - FEPAGRO, unidade de São Gabriel/RS, com posterior transporte de coordenadas através da utilização de três aparelhos receptores de sinais de satélites GPS e GPS+GLONASS da marca TOPCON, modelo Hiper GGD, com 40 canais paralelos, com precisão horizontal de 3 mm + 0,5 ppm, capazes de rastrear as frequências L1 e L2. Para esta tarefa, instalou-se um aparelho no marco pertencente à Rede Estadual GPS denominado São Gabriel (código 91.985), homologado pelo IBGE, e outros dois aparelhos nos marcos EXPT e TEST, respectivamente.

Em procedimento de pós-processamento, com a utilização do programa computacional Topcon Tools, com a adição dos dados fornecidos pela estação denominada SMAR, foi realizado o transporte de coordenadas para os marcos TEST e EXPT.

No Apêndice A está o relatório do transporte de coordenadas para o marco EXPT, com o uso da estação ativa SMAR

Na Tabela 3.1 podem ser visualizadas as coordenadas no sistema de projeção cartográfica UTM da estação ativa SMAR e do marco São Gabriel, fornecidas pelo Instituto Brasileiro de geografia e estatística (IBGE).

Tabela 3.1 – Coordenadas UTM das estações SMAR e São Gabriel

| NOME | LESTE(E) | NORTE(N) | FUSO | M.CENTRAL |
|-------------|-------------|---------------|------|-----------|
| SMAR | 237.205,247 | 6.709.269,527 | 22 | 51° W |
| SÃO GABRIEL | 763.099,728 | 6.640.850,916 | 21 | 57° W |

A Figura 3.1 apresentada a seguir mostra, sem qualquer escala, o esquema de transporte de coordenadas para o marco EXPT, utilizando-se a estação ativa denominada SMAR, localizada em Santa Maria / RS, pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) e o marco da Rede Estadual GPS denominado São Gabriel.

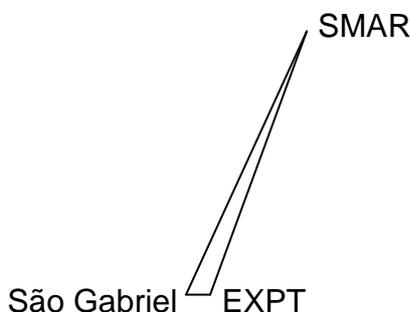


Figura 3.1 - Esquema das estações para o transporte de coordenadas

Nas Figuras 3.2 e 3.3, pode ser visualizado o marco São Gabriel. O tempo de rastreamento aproximado para esta etapa do trabalho foi de aproximadamente 10 horas, com época de coleta de dados programada para 5 segundos, com rastreamento concomitante para os três aparelhos, realizado no dia 14 de setembro de 2008. O mesmo procedimento foi adotado para o transporte de coordenadas para o marco TEST.



**Figura 3.2 - Marco São Gabriel
(91.985)**



**Figura 3.3 - Marco São Gabriel
(91.985)**

3.2 Coleta dos dados do experimento

Durante três dias consecutivos no mês de setembro, foi instalado um receptor já descrito anteriormente no marco São Gabriel, que serviu como base, e outro receptor no marco EXPT, durante aproximadamente 10 horas diárias, com época de coleta para ambos de 5 segundos e máscara de 15°. Para o aparelho instalado no marco EXPT, foram coletadas informações a cada 5 minutos, criando uma situação semelhante às experimentadas em trabalhos de georreferenciamento de imóveis rurais. O mesmo foi realizado para o marco TEST, somente no último dia do experimento.

O referencial geodésico utilizado foi o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000).

Nas Figuras 3.4 e 3.5 apresentadas a seguir pode ser visualizado o marco EXPT. Nas Figuras 3.6 e 3.7, visualiza-se o marco denominado TEST.



Figura 3.4 - Marco EXPT



Figura 3.5 - Marco EXPT



Figura 3.6 - Marco TEST



Figura 3.7 - Marco TEST

Na Figura 3.8 pode ser visualizado o receptor de dupla frequência utilizado para o transporte de coordenadas e para a coleta de sinais nos marcos São Gabriel, EXPT e TEST.



Figura 3.8 - Receptor de dupla frequência TOPCON, modelo Hiper GGD

3.3 Transferência dos dados brutos

Os dados coletados pelos receptores de dupla frequência marca TOPCON, modelo Hiper GGD (arquivos com extensão TPS) foram transferidos pelo programa Topcon Tools para um computador, criando-se um arquivo específico.

3.4 Processamento dos dados

Os arquivos dos receptores levados a campo para o transporte de coordenadas foram processados e posteriormente ajustados através do software Topcon Tools, juntamente com os dados provenientes da estação ativa SMAR, pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), localizada em Santa Maria / RS.

Os arquivos provenientes dos receptores utilizados para a coleta dos dados nos marcos implantados e no marco São Gabriel foram processados pelo software Topcon Tools.

3.5. Aplicação do conceito de Intervalo de Confiança

Para a análise dos dados estatísticos foram consideradas duas situações: a primeira, contendo somente o valor médio da acurácia horizontal com GPS, e a segunda, envolvendo o valor médio da acurácia horizontal oriunda do GPS acrescido de GLONASS.

3.5.1 Acurácia horizontal com dados GPS

Valor médio da acurácia horizontal=0,387 m

Intervalo de confiança para a média:

a) Para $\alpha = 5\%$

$$s_A^2 = \frac{1}{(322-1)}(133,289)$$

$$s_A^2 = 0,415m$$

$$s_A = 0,644m$$

$$P\left[\bar{x} - \frac{s_A}{\sqrt{n}} t_{1-\alpha/2} \leq \mu \leq \bar{x} + \frac{s_A}{\sqrt{n}} t_{1-\alpha/2}\right] = 1 - \alpha$$

Como $\alpha = 5\%$ então $1 - \alpha = 95\%$ e $1 - \frac{\alpha}{2} = 0,975$

Da tabela t de Student vem:

$$\nu = 300 \text{ e } t_{0,975} = 1,970$$

$$\nu = 400 \text{ e } t_{0,975} = 1,960$$

Fazendo-se a interpolação tem-se como resultado para $\nu = 321$ o valor de $t_{0,975} = 1,972$.

$$P\left[0,387 - \frac{0,644}{\sqrt{321}} 1,972 \leq \mu \leq 0,387 + \frac{0,644}{\sqrt{321}} 1,972\right] = 0,95$$

$$P[0,315 \leq \mu \leq 0,457] = 0,95$$

b) Para $\alpha = 10\%$

$$s_A^2 = \frac{1}{(322-1)}(133,289)$$

$$s_A^2 = 0,415$$

$$s_A = 0,644$$

$$P\left[\bar{x} - \frac{s_A}{\sqrt{n}} t_{1-\alpha/2} \leq \mu \leq \bar{x} + \frac{s_A}{\sqrt{n}} t_{1-\alpha/2}\right] = 1 - \alpha$$

Como $\alpha = 10\%$ então $1 - \alpha = 90\%$ e $1 - \frac{\alpha}{2} = 0,95$

Da tabela t de Student vem:

$$\nu = 300 \text{ e } t_{0,95}=1,649$$

$$\nu = 400 \text{ e } t_{0,95}=1,648$$

Fazendo-se a interpolação tem-se como resultado para $\nu = 321$ o valor de $t_{0,95} = 1,648$.

$$P\left[0,387 - \frac{0,644}{\sqrt{321}} \leq \mu \leq 0,387 + \frac{0,644}{\sqrt{321}}\right] = 0,90$$

$$P[0,327 \leq \mu \leq 0,445] = 0,90$$

3.5.2 Acurácia horizontal com dados GPS+GLONASS

Valor médio da acurácia horizontal=0,279 m

Intervalo de confiança para a média:

a) Para $\alpha = 5\%$

$$s_A^2 = \frac{1}{(322-1)}(95,360)$$

$$s_A^2 = 0,297m$$

$$s_A = 0,545m$$

$$P\left[\bar{x} - \frac{s_A}{\sqrt{n}} t_{1-\alpha/2} \leq \mu \leq \bar{x} + \frac{s_A}{\sqrt{n}} t_{1-\alpha/2}\right] = 1 - \alpha$$

Como $\alpha = 5\%$ então $1 - \alpha = 95\%$ e $1 - \frac{\alpha}{2} = 0,975$

Da tabela t de Student vem:

$$\nu = 300 \text{ e } t_{0,975}=1,97$$

$$\nu = 400 \text{ e } t_{0,975}=1,96$$

Fazendo-se a interpolação tem-se como resultado para $\nu = 321$ o valor de $t_{0,975} = 1,972$.

$$P\left[0,279 - \frac{0,545}{\sqrt{321}} 1,972 \leq \mu \leq 0,279 + \frac{0,545}{\sqrt{321}} 1,972\right] = 0,95$$

$$P[0,219 \leq \mu \leq 0,339] = 0,95$$

b) Para $\alpha = 10\%$

$$s_A^2 = \frac{1}{(322 - 1)}(95,360)$$

$$s_A^2 = 0,2970m$$

$$s_A = 0,545m$$

$$P\left[\bar{x} - \frac{s_A}{\sqrt{n}} t_{1-\alpha/2} \leq \mu \leq \bar{x} + \frac{s_A}{\sqrt{n}} t_{1-\alpha/2}\right] = 1 - \alpha$$

Como $\alpha = 10\%$ então $1 - \alpha = 90\%$ e $1 - \frac{\alpha}{2} = 0,95$

Da tabela t de Student vem:

$\nu = 300$ e $t_{0,95} = 1,649$

$\nu = 400$ e $t_{0,95} = 1,648$

Fazendo-se a interpolação tem-se como resultado para $\nu = 321$ o valor de $t_{0,95} = 1,648$.

$$P\left[0,279 - \frac{0,545}{\sqrt{321}} 1,648 \leq \mu \leq 0,279 + \frac{0,545}{\sqrt{321}} 1,648\right] = 0,90$$

$$P[0,229 \leq \mu \leq 0,329] = 0,90$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As coordenadas planimétricas da projeção cartográfica UTM estimadas dos marcos implantados, no referencial geodésico SIRGAS2000, resultantes do transporte de coordenadas utilizando-se a estação ativa SMAR e o marco pertencente à Rede Estadual GPS localizado em São Gabriel / RS estão listadas na Tabela 4.1, apresentada abaixo:

Tabela 4.1 – Coordenadas estimadas dos marcos implantados

| NOME | LESTE(E) | NORTE(N) | FUSO M.CENTRAL | |
|------|-------------|---------------|----------------|-----|
| TEST | 763.124,608 | 6.640.787,688 | 21 | 57° |
| EXPT | 763.267,522 | 6.640.532,672 | 21 | 57° |

4.1. Análise do processamento dos dados GPS

Após o processamento dos dados coletados pelos receptores de sinais GPS e a aplicação do conceito de intervalos de confiança, as situações obtidas são as apresentadas abaixo, tendo-se 0,386 m como valor médio da acurácia horizontal.

Para $\alpha = 5\%$

$$P[0,315 \leq \mu \leq 0,457] = 0,95$$

Pode-se afirmar, com 95% de probabilidade, que o valor médio da acurácia horizontal está contido entre 0,315m e 0,457m.

Para $\alpha = 10\%$

$$P[0,327 \leq \mu \leq 0,445] = 0,90$$

Pode-se afirmar, com 90% de probabilidade, que o valor médio da acurácia horizontal está contido entre 0,327 m e 0,445 m

4.2. Análise do processamento dos dados GPS+GLONASS

Após o processamento dos dados coletados pelos receptores de sinais GPS e GLONASS e a aplicação do conceito de intervalos de confiança, as situações obtidas são as apresentadas abaixo, tendo-se 0,279 m como valor médio da acurácia horizontal.

Para $\alpha = 5\%$

$$P[0,219 \leq \mu \leq 0,339] = 0,95$$

Pode-se afirmar, com 95% de probabilidade, que o valor médio da acurácia horizontal está contido entre 0,219 m e 0,339 m

Para $\alpha = 10\%$

$$P[0,229 \leq \mu \leq 0,329] = 0,90$$

Pode-se afirmar, com 90% de probabilidade, que o valor médio da acurácia horizontal está contido entre 0,229 m e 0,329 m.

Estes dados podem ser mais bem visualizados na Tabela 4.2, apresentada a seguir.

Tabela 4.2 - Valores médios de acurácia horizontal e intervalos de confiança

| | ACURÁCIA(m) | $\alpha = 5\%$ | $\alpha = 10\%$ |
|--------------------|-------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| GPS | 0,386 | $P[0,315 \leq \mu \leq 0,457] = 0,95$ | $P[0,327 \leq \mu \leq 0,445] = 0,90$ |
| GPS+GLONASS | 0,279 | $P[0,219 \leq \mu \leq 0,339] = 0,95$ | $P[0,229 \leq \mu \leq 0,329] = 0,90$ |

A estatística univariada procura fazer inferências sobre a realidade e trabalhar com cada uma das variáveis de maneira isolada. Portanto, esta análise não é suficiente quando um fenômeno depende de muitas variáveis e existem relações que produzem efeitos múltiplos, antagônicos ou sinérgicos entre elas. Desta forma, analisou-se somente o efeito do acréscimo de satélites GLONASS em pares coordenados inicialmente estimados com satélites GPS, visualizando os efeitos positivos no PDOP quando do acréscimo desta constelação.

5 CONCLUSÃO

De acordo com tecnologia adotada para a avaliação da influência do acréscimo da constelação GLONASS sobre a qualidade de coordenadas estimadas com satélites GPS em local de difícil rastreamento na superfície terrestre concluiu-se que houve melhora na acurácia das observações.

Os valores de PDOP referentes ao período de coleta dos sinais dos satélites apresentaram melhor qualidade quando ocorreu o acréscimo da constelação GLONASS.

Os resultados confirmam que pontos com solução fixa são mais precisos que os pontos com solução flutuante, mas esta solução fixa não garante, necessariamente, exatidão. Recomendamos, portanto, cautela na coleta de pontos em locais de difícil rastreamento.

Sugerimos novas pesquisas nesta área, com tratamento de dados estatísticos relacionando os valores de PDOP com valores de acurácia, através de técnicas de estatística multivariada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, S. **A matemática do GPS** - Revista do Professor de Matemática, nº. 59, pág. 19. 2006.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. 1ª ed. 42 p. Brasília, 2003.

ERBA, D.A.; THUM, A.B.; SILVA, C.A.U. da; SOUZA, G. C. de; VERONEZ, M.R.; LEANDRO, R.F.; MAIA, T.C.B. **Topografia para Estudantes de Arquitetura, Engenharia e Geologia**. São Leopoldo, Ed. Unisinos, 2003.

FARRET, J.C. **Os sinais transmitidos pelos satélites GPS** - estrutura, componentes e produtos derivados. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. UFSM, Santa Maria, 2003.12p.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações**: aplicações geodésicas. Curitiba. Ed. UFPR, 1994, 320 p.

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

IBGE. Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo. Disponível em: <http://ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/estacoes>. Acesso em 10/08/2008.

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2000, 280 p.

MONTES JUNIOR, N.L.; WALTER, FERNANDO. **Estudo e Implementação do Código CA para o Sistema GLONASS da Federação Russa**. Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, SP, [200-]

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

SANTOS, M. C. **GPS e GLONASS, parceria de futuro**. Revista InfoGeo, EspaçoGeo, ano 1 n.2, julho/agosto, pp 45-46, 1998.

SANTOS, M. C.; FERREIRA, L. D. D.; LAGO, I. F. do. **Integração entre GPS e GLONASS**. Bol. Ciências Geodésicas, Curitiba, vol. 6, n. 2, p.15-24, 2001.

SILVA, I. da; ERWES, H.; SEGANTINE, P.C.L. Introdução à GEOMÁTICA. [S.l.: s.n.], [200-].100 p.

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

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

WALACE, P.; NARUMI, T. **Sistema GLONASS**. Revista A MIRA, n. 125, p.21, 2005.