

GPS E GLONASS: ASPECTOS TEÓRICOS E APLICAÇÕES PRÁTICAS

GPS and GLONASS: Theoretical Aspects and Practical Applications

ISABEL FRANCO DO LAGO ¹

LUIZ DANILO DAMASCENO FERREIRA ²

CLAUDIA PEREIRA KRUEGER ³

Universidade Federal do Paraná – UFPR

Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas

¹ isabellago@ibge.gov.br

² danilo@geoc.ufpr.br

³ ckrueger@cce.ufpr.br

RESUMO

Tanto o GPS (*Global Positioning System*) como o seu similar GLONASS (*Global Navigation Satellite System*) oferecem uma poderosa ferramenta para a determinação de coordenadas de pontos na superfície terrestre. Assim, a realização deste trabalho objetiva o estudo dos aspectos envolvidos na associação dos sistemas de posicionamento global GPS e GLONASS, no que se refere à sua aplicação aos levantamentos geodésicos. Para tal, são abordados aspectos teóricos e práticos, considerados relevantes para o esclarecimento do tema. Dentro deste contexto, na parte teórica apresentam-se as principais características dos sistemas, ressaltando-se suas semelhanças e diferenças. Na parte prática são realizados diversos experimentos, subdivididos em posicionamentos absoluto e relativo. A metodologia de avaliação dos resultados visa uma análise quantitativa do desempenho proporcionado pelos sistemas GPS, GLONASS e GPS/GLONASS.

ABSTRACT

Both GPS (*Global Positioning System*) and its similar GLONASS (*Global Navigation Satellite System*) constitute a powerful tool for the determination of coordinates of points in the terrestrial surface. This way, of this work accomplishment aims the study of the aspects involved in the integration of these two global positioning systems, in what it refers to its application to the geodesic surveyings. Important theoretical and practical aspects are considered for the subjects explain. Into this context, in the theoretical part, the main characteristics of the systems are discussed standing out the similarities and differences of both. In

the practical part several experiments are accomplished, subdivided in absolute and relative positionings. The evaluation methodology of the results seeks for a quantitative analysis of the performance provided by the systems GPS, GLONASS and GPS/GLONASS.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de posicionamento global surgiram como sistemas militares concorrentes, sendo concebidos dentro do contexto da guerra fria. O GPS (*Global Positioning System*) foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa Americano (DoD) enquanto que o GLONASS (*Global Navigation Satellite System*) pela ex União Soviética.

O GPS e o GLONASS possuem características semelhantes, tanto no que se refere aos aspectos orbitais quanto aqueles de controle terrestre, fato que possibilita a sua utilização para os mesmos tipos de aplicação. Estes sistemas passaram por dificuldades durante seus períodos de implantação. O GPS atingiu o estágio de sistema completamente operacional apenas em março de 1994, enquanto que o GLONASS ainda hoje não está plenamente implantado.

Inicialmente o GPS foi mais difundido entre a comunidade usuária internacional, devido à disponibilidade de informações, enquanto que as informações sobre o GLONASS tornaram-se acessíveis após a dissolução da União Soviética, de modo que os dois sistemas passaram a ser considerados como complementares.

A disponibilidade de satélites proporcionada pelo uso combinado GPS e GLONASS oferece diversas vantagens para o posicionamento, tais como melhor precisão em áreas com visibilidade restrita, melhoria da qualidade no posicionamento isolado, maior possibilidade de obter boa geometria no rastreamento e verificação dos resultados obtidos com o uso de cada sistema separadamente. Diante destas potencialidades a associação GPS e GLONASS vem despertando crescente interesse entre a comunidade científica internacional.

Há diversas implicações envolvidas na integração de dados GPS e GLONASS, envolvendo sistemas de referência, características de transmissão dos sinais, programas para processamento de dados, entre outras. Na literatura internacional encontram-se diversos trabalhos relacionados à integração destes sistemas tais como BASLOV et al., 1999; CUNNINGHAM et al., 1999; LEICK et al., 1995; MISRA et al., 1996; ROSBACH et al. 1996; WANG, 1998.

Neste artigo, além da apresentação sucinta de ambos os sistemas aborda-se o estágio atual de desenvolvimento da constelação GLONASS, e mostram-se os resultados de experimentos realizados com posicionamento absoluto e relativo, ressaltando-se as diferenças encontradas nos processamentos com GPS, GLONASS e GPS/GLONASS. Outras informações podem ser encontradas nas referências bibliográficas citadas.

2 COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS GPS E GLONASS

2.1 Aspectos Gerais

Os sistemas GPS e GLONASS geralmente são descritos através do segmento espacial, do segmento de controle e do segmento do usuário. O segmento espacial é composto pela constelação de satélites de cada um dos sistemas, o de controle pelas estações monitoras que rastreiam os satélites, determinam suas órbitas e definem as informações a serem transmitidas aos satélites e o do usuário pelas comunidades civis e militares, acessível por meio de receptores capazes de receber os sinais emitidos pelos satélites GPS e GLONASS.

A constelação definitiva do GPS é composta por 24 satélites, sendo 21 operacionais e 3 reservas ativos, distribuídos em seis planos orbitais. Cada plano orbital contém 4 satélites em órbita quase circular, a uma altura de aproximadamente 20.200 km e inclinação de 55 graus em relação ao equador.

A constelação do GLONASS, quando estiver totalmente implantada, terá 24 satélites dispostos em três planos orbitais. Cada plano orbital terá 8 satélites em órbita quase circular, com altura de aproximadamente 19.000 km e inclinação de 64,8 graus em relação ao equador.

As diferenças nas características espaciais do GPS e do GLONASS, no que se refere à quantidade de planos orbitais (6 para o GPS e 3 para o GLONASS) e inclinação das órbitas, proporcionam diferenças na disponibilidade de satélites em função da latitude. Desta forma o GLONASS oferece melhor cobertura nas latitudes extremas enquanto que o GPS favorece a latitude médias.

O segmento de controle, responsável pela operação de cada sistema, tem a finalidade de monitorar o comportamento dos osciladores atômicos e as condições operacionais dos satélites, determinar suas órbitas e transmitir aos satélites as mensagens que eles retransmitirão posteriormente aos usuários. Este segmento é composto por estações terrestres, bem distribuídas geograficamente, nas quais se realiza o rastreamento de todos os satélites disponíveis.

No GPS o sistema de controle continha inicialmente cinco estações terrestres pertencentes à Força Aérea, localizadas em Colorado Springs (Estação Principal), Hawaii, Ascencion Islands, Diego Garcia e Kwajalein. Com o desenvolvimento e aprimoramento do sistema, foram adicionadas sete estações ao segmento de controle, pertencentes ao NIMA (*National Imagery Mapping Agency*), localizadas no Equador, Argentina, Inglaterra, Bahrain, Austrália, China e USNO.

O segmento de controle do GLONASS é composto por cinco estações terrestres, distribuídas em território pertencente à antiga União Soviética, localizadas em Moscou (Estação Principal), St. Petersburg, Ternopol, Eniseisk e Komsomdsk-na-Amure.

As concepções básicas dos sistemas, quanto às características orbitais, sinais utilizados e sistemas de referência são mostradas resumidamente na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Comparação entre GPS e GLONASS

	GLONASS	GPS
Número de satélites	24	24
Número de planos orbitais	3	6
Inclinação dos planos orbitais	64,8°	55°
Semi-eixo maior da órbita	25510 km	26560 km
Frequência fundamental (f_0)	5,11 MHz	10,23 MHz
Técnica de separação do sinal	FDMA	CDMA
Frequência portadoras (MHz)		
L1	de 1602,0 a 1615,5	1575,42
L2	de 1246,0 a 1256,5	1227,60
Frequência códigos (MHz)		
C/A	0,511	1,023
P	5,110	10,23
Efemérides transmitidas Pelos satélites	Coordenadas Cartesianas Geocêntricas e suas derivadas	Elementos Orbitais Keplerianos e seus fatores de Perturbação
Tempo de referência	UTC (SU)	UTC (USNO)
Sistema de referência	PZ-90	WGS-84 *

(Fonte: Adaptado de LANGLEY, 1997)

2.2 Estrutura dos Sinais

Os satélites dos sistemas de posicionamento global geram seus sinais à partir da frequência fundamental f_0 , modulados através das portadoras L1 e L2. A geração dos padrões de frequência é controlada pelos osciladores atômicos à bordo dos satélites, permitindo a definição da frequência das portadoras, dos códigos e da mensagem.

No GPS o sistema de transmissão empregado é o CDMA (*Code Division Multiple Access*) no qual se utiliza uma frequência para cada portadora. No GLONASS, a transmissão dos sinais é feita pelo sistema FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) no qual se empregam dois intervalos de frequência distintos, um para cada portadora. Este sistema permite que cada satélite utilize uma frequência distinta para a transmissão dos sinais.

Tanto no GPS quanto no GLONASS a portadora L1 é modulada pelos códigos P (*precise*) e C/A (*clear acquisition*), enquanto que a portadora L2 é modulada apenas pelo código P. Além de conter os códigos ambas as portadoras contêm o fluxo de dados, composto pelas efemérides, pelos parâmetros dos relógios e *status* do sistema.

2.3 Técnicas de Segurança

As observações GPS são afetadas por técnicas de segurança com o propósito de provocar erros na determinação de coordenadas para os usuários não autorizados. Estas técnicas são denominadas de *Anti-Spoofing* (AS) e

Disponibilidade Seletiva (SA – *Selective Availability*). O *Anti-Spoofing*, em pleno funcionamento, é a técnica de criptografia do código P combinado ao código secreto W resultando no código Y, acessível apenas aos militares norte-americanos e usuários autorizados LANGLEY R. B. (1998). A Disponibilidade Seletiva consistia em uma degradação intencional dos parâmetros definidores das órbitas (técnica ϵ) e/ou do erro dos relógios dos satélites (técnica δ). Em 2 de maio de 2000, a Disponibilidade Seletiva foi desligada, de modo que o GPS passou a fornecer melhor precisão aos usuários do serviço de posicionamento padrão. No caso do GLONASS, não existe uma política de implementação de técnicas de segurança com o objetivo de degradar a acurácia dos sinais. No entanto existe distinção entre os sinais de alta acurácia e sinal de acurácia padrão, destinados aos usuários autorizados e não autorizados, respectivamente.

2.4 Sistemas de Tempo

Os sistemas de tempo do GPS e do GLONASS são realizados por osciladores atômicos à bordo de seus satélites e por aqueles das estações do Segmento de Controle, e ambos são baseados no Tempo Universal Coordenado. O sistema de tempo GPS baseia-se no Tempo Universal Coordenado mantido pelo *U. S. Naval Observatory* [(UTC (USNO)] e não contém as correções de segundos inteiros (*leap seconds*). O sistema de tempo empregado pelo GLONASS baseia-se no Tempo Universal Coordenado mantido pela Rússia [(UTC (SU)] e inclui a introdução de *leap seconds*.

2.5 Sistemas de Referência

Os dados obtidos com o rastreamento dos satélites GPS fornecem posições relacionadas ao sistema de referência WGS-84 (*World Geodetic System*), enquanto que as efemérides fornecidas pelo GLONASS são referidas ao sistema de referência PZ-90 (*Parametry Zemli 1990*). Apesar destes sistemas apresentarem definições semelhantes, existem pequenas diferenças entre o PZ-90 e o WGS-84, expressas por rotações, translações e escala. A associação dos sistemas GPS e GLONASS em Geodésia e Navegação requer o conhecimento dos parâmetros de transformação que relacionem os dois referenciais. Algumas soluções são apresentadas na literatura internacional, porém ainda não existe uma solução satisfatória em termos globais. Desta forma, este ainda é um aspecto que merece investigação, para o uso combinado dos sistemas GPS e GLONASS. Os parâmetros de transformação que relacionam os referenciais WGS-84 e PZ-90 são apresentados, por exemplo, por ROSSBACH et al., (1996), MISRA et al., (1994) e BASLOV et al., (1999).

3 PROCESSAMENTO DE DADOS COMBINADOS GPS E GLONASS

Um aspecto importante a ser abordado quando se trata da associação GPS e GLONASS é o processamento de dados para a integração dos dois sistemas. Neste particular, a principal dificuldade está relacionada com as diferentes técnicas de

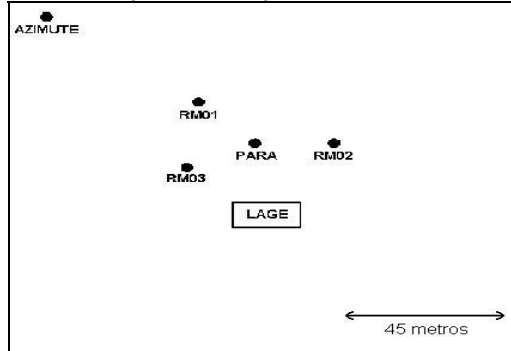
transmissão de sinais empregada em cada sistema. As combinações lineares de observações, extensivamente utilizadas no processamento de dados GPS, estão adaptadas para as características de transmissão dos sinais deste sistema. Deste modo, a técnica FDMA empregada na transmissão dos sinais do GLONASS, conduz a algumas dificuldades no processamento de dados GLONASS e GPS/GLONASS, necessitando adaptar os procedimentos normalmente adotados, em função das características do GLONASS. O problema advém da impossibilidade de eliminar o erro do relógio do receptor nas equações de dupla diferença de fase, quando se utiliza observações GLONASS e GPS/GLONASS, o que conduz a um sistema de equações normais singular (LEICK et al., 1995). Existem metodologias propostas que visam solucionar as equações de dupla diferença para observações GLONASS. O objetivo é avaliar o erro do relógio do receptor presente nas equações, mediante dois procedimentos distintos: baseados na eliminação ou na estimativa do erro do relógio do receptor (WANG, 1998).

4 EXPERIMENTOS REALIZADOS

4.1 Descrição do Local de Realização dos Levantamentos

A aquisição de dados foi realizada numa área teste, localizada no Centro Politécnico, pertencente ao Laboratório de Geodésia Espacial (LAGE) da UFPR, composta por cinco marcos geodésicos denominados de PARA, RM01, RM02, RM03 e AZIMUTE, mostrados esquematicamente na figura 4.1. Os marcos implantados na área teste possuem coordenadas determinadas no sistema WGS-84. As estações PARA e RM03 fazem parte da rede SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), e possuem coordenadas determinadas com precisão final de $\pm 5\text{mm}$, ou seja, com qualidade superior à das demais estações (CARVALHO, 1999). A estação PARA, além de pertencer à rede SIRGAS também faz parte da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo). A estação PARA é permanentemente ocupada por uma antena GPS, o que impossibilitou a sua utilização como estação de referência no caso de levantamento GPS/GLONASS. Deste modo, considerando a qualidade de suas coordenadas, optou-se por utilizar a estação RM03 como referência, nos posicionamentos absoluto e relativo.

FIGURA 4.1 – Localização das Estações Utilizadas nos Levantamentos



(Fonte: Adaptado de Carvalho, 1999)

4.2 POSICIONAMENTO ABSOLUTO

A aquisição de dados para o posicionamento absoluto foi conduzida durante um período de 29 dias consecutivos, dentro de uma breve participação na campanha IGEZ-1999 (*International GLONASS Experiment*). Para tal manteve-se uma antena GPS/GLONASS permanentemente instalada sobre o marco geodésico RM03. Do rastreamento obteve-se 32 arquivos de dados com 12 horas de duração, nos quais se utilizou taxa de gravação de dados de 30 segundos, proporcionando 1440 épocas de rastreamento para cada arquivo de 12 horas. Durante a aquisição dos dados foi observada grande variação na disponibilidade de satélites GLONASS, com quantidade entre 1 e 5 satélites rastreados. Esta situação decorre da constelação do sistema estar incompleta. Visando evidenciar este fato, nos gráficos 4.1 e 4.2 mostra-se, respectivamente, a quantidade de satélites GPS e GLONASS rastreados durante um período de 12 horas, no dia 30/01/1999.

Gráfico 4.1 – Disponibilidade de Satélites GPS no dia 30/01/1999

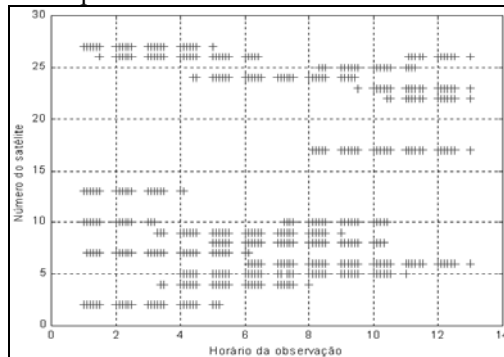
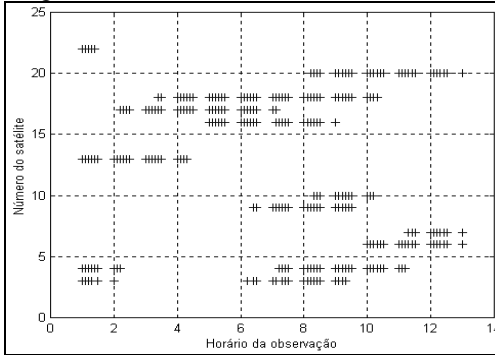


Gráfico 4.1 – Disponibilidade de Satélites GLONASS no dia 30/01/1999



No gráfico 4.1 observa-se uma disponibilidade mínima de 4 satélites no sistema GPS, o que proporciona a obtenção do posicionamento tridimensional em qualquer hora do dia. No gráfico 4.2 mostra-se a disponibilidade de satélites GLONASS, com ocorrência de períodos em que não há disponibilidade mínima de 4 satélites, necessária ao posicionamento tridimensional. Como exemplo, pode-se destacar o período entre às 12 e 13 horas, em que se tem apenas 3 satélites disponíveis para rastreamento.

4.3 RESULTADOS OBTIDOS NO POSICIONAMENTO ABSOLUTO

Na análise do posicionamento absoluto foram empregados dois conjuntos de dados distintos: um contendo apenas um dos arquivos de dados de 12 horas, e o outro englobando o conjunto total dos arquivos de dados de 12 horas rastreados. A análise dos resultados foi baseada em gráficos de dispersão, gerados a partir do cálculo das diferenças entre as coordenadas de referência da estação RM03 e as coordenadas obtidas dos levantamentos. Para comparar o desempenho do posicionamento dos sistemas GPS e GLONASS foram realizados processamentos independentes gerando resultados a partir de dados GLONASS, GPS e GPS/GLONASS. Nos gráficos 4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3 mostram-se as dispersões dos erros cometidos em latitude e longitude, calculados à partir das diferenças entre as coordenadas instantâneas e as de referência, empregando dados GLONASS, GPS e GPS/GLONASS, respectivamente. Para maior facilidade de interpretação dos gráficos 4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3 destaca-se que 1" de arco é equivalente a aproximadamente 30,8 metros, tanto em latitude quanto em longitude.

Gráfico 4.3.1 – Dispersão em Função das Diferenças em Latitude e Longitude com dados GLONASS.

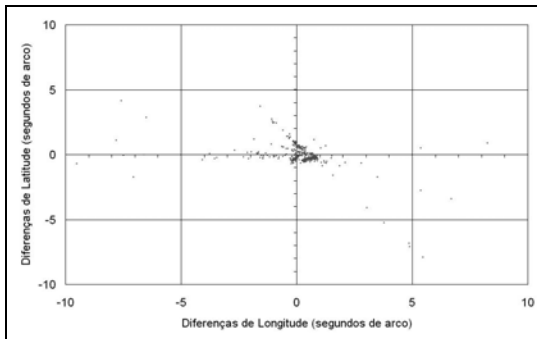
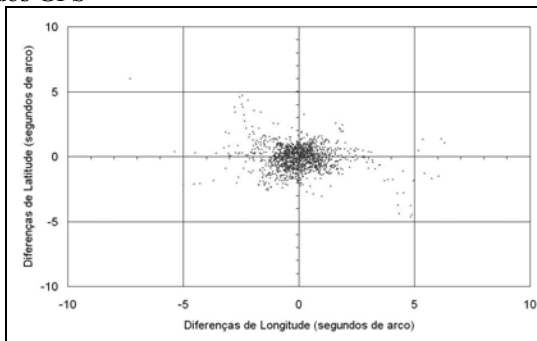
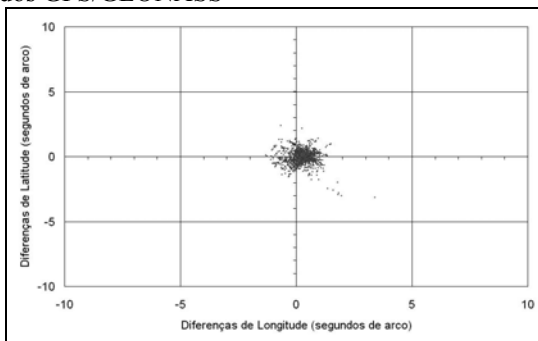


Gráfico 4.3.2 – Dispersão em Função das Diferenças em Latitude e Longitude com dados GPS



Para o gráfico 4.3.1, gerado com dados GLONASS, o desvio padrão obtido foi de 54,870 metros, enquanto que para o gráfico 4.3.2, gerado com dados GPS, foi de 72,966 metros e para o gráfico 4.3.3, gerado com dados GPS/GLONASS foi de 41,320 metros. Nestes gráficos observou-se que a amplitude de variação pontual obtida com dados GPS é maior quando comparada com a do GLONASS, ocorrida em função dos efeitos da Disponibilidade Seletiva sobre o sistema GPS. Para dados GPS/GLONASS fica evidenciado que esta amplitude é menor que as anteriores face ao ganho com a combinação destes sistemas, tanto em quantidade de satélites quanto em geometria para rastreamento.

Gráfico 4.3.3 – Dispersão em Função das Diferenças em Latitude e Longitude com Dados GPS/GLONASS



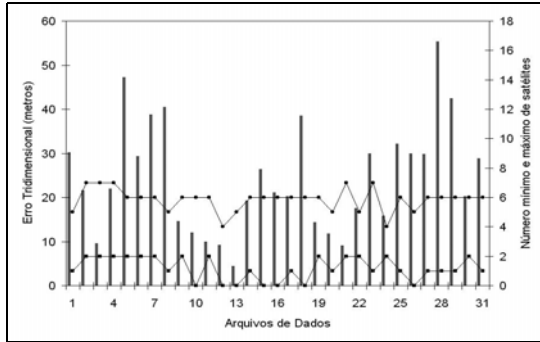
À partir do processamento dos dados GPS, GLONASS e GPS/GLONASS obteve-se valores finais para as coordenadas da estação RM03. Na tabela 4.3 mostra-se as diferenças entre as coordenadas finais obtidas com cada um dos sistemas e as coordenadas de referência.

Tabela 4.3 - Diferença entre as Coordenadas de Referência da Estação RM03 e as Finais Obtidas com cada Sistema

DADOS	DX (m)	DY (mm)	DZ (m)
GLONASS	1,837	-9,284	1,727
GPS	2,314	1,616	6,683
GPS/GLONASS	1,205	-8,629	3,380

Na segunda análise realizada foram utilizados 32 arquivos de dados com 12 horas de duração, contendo informações GPS e GLONASS. Esta análise foi realizada com o objetivo de verificar o comportamento do sistema GLONASS em função do tempo, justificável pelo fato da sua constelação estar incompleta, resultando em variações em termos de geometria, para cada dia rastreado. Tal análise foi baseada em gráficos, observando-se a amplitude de variação das coordenadas (coordenadas finais e coordenadas de referência). Os gráficos gerados contém a variação das coordenadas e as quantidades mínimas e máximas de satélites. Nos gráficos 4.3.4, 4.3.5 e 4.3.6 apresenta-se os erros tridimensionais em função da quantidade de satélites. Tais gráficos foram gerados, respectivamente, à partir de dados GLONASS, GPS e GPS/GLONASS.

Gráfico 4.3.4 - Erro Tridimensional em Função do Número de Satélites, obtido com dados GLONASS



Nos gráficos 4.3.4, 4.3.5 e 4.3.6 foram utilizadas duas escalas distintas para ilustrar os resultados: na escala da direita, são apresentados os erros tridimensionais, e na escala da esquerda as quantidades mínima e máxima de satélites. No gráfico 4.3.4, obtido à partir de dados GLONASS, percebe-se um comportamento mais discrepante quando comparado aos demais processamentos. Observam-se variações entre 4 e 55 metros nos erros tridimensionais cometidos. Esta discrepância de resultados pode ser atribuída às variações na geometria e quantidade dos satélites, em função da constelação GLONASS estar incompleta. No gráfico 4.3.5, calculado com dados GPS, observam-se menores amplitudes de variação, comparativamente ao processamento com dados GLONASS (gráfico 4.3.4). No processamento com GPS, apesar da disponibilidade seletiva estar ativa na época de execução dos levantamentos, os erros cometidos foram inferiores a 10 metros. Tais resultados refletem a qualidade possível de ser obtida quando se dispõe de um sistema que apresenta constelação completa.

Gráfico 4.3.5 - Erro Tridimensional em Função do Número de Satélites, obtido com dados GPS

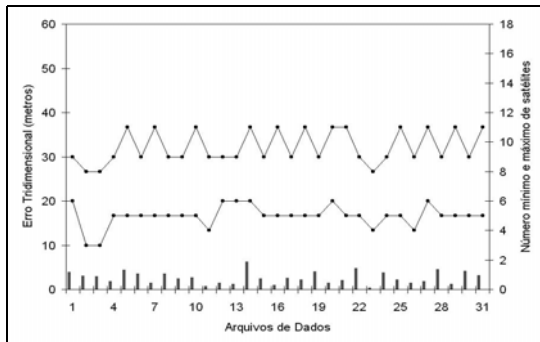
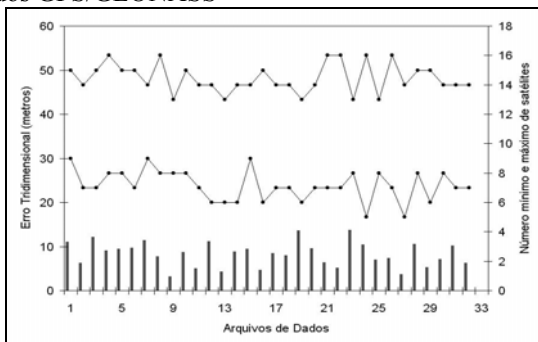


Gráfico 4.3.6 - Erro Tridimensional em Função do Número de Satélites, obtido com dados GPS/GLONASS



No gráfico 4.3.6, gerado à partir de dados GPS/GLONASS os erros cometidos foram inferiores a 20 metros, o que indica uma melhoria de precisão quando se faz a combinação dos sistemas GPS e GLONASS. Observou-se também maior homogeneidade de resultados, comparativamente aos obtidos nos processamentos com dados isolados do GPS ou GLONASS.

4.4 POSICIONAMENTO RELATIVO

A aquisição de dados para o posicionamento relativo foi realizada em junho de 2000. Realizou-se o posicionamento das estações RM01 e RM02, adotando como referência a estação RM03. Para tal foi empregada taxa de gravação de dados de 15 segundos e período de rastreamento de duas horas, obtendo-se aproximadamente 480 épocas em cada arquivo de dados. As duas linhas de base obtidas, RM03-RM01 e RM03-RM02, têm aproximadamente 40 metros de extensão.

4.5 RESULTADOS DO POSICIONAMENTO RELATIVO

A análise de desempenho dos sistemas GPS e GLONASS foi baseada no cálculo de diferenças entre as coordenadas de referência das estações RM01 e RM02, e as suas respectivas coordenadas, obtidas com os levantamentos. Por se tratar de linhas de base curtas realizou-se o processamento empregando a portadora L1. Os resultados obtidos para as linhas de base RM03-RM01 e RM03-RM02 são apresentados, respectivamente, nas tabelas 4.5.1 e 4.5.2.

Tabela 4.5.1 – Processamento da Linha RM03-RM01, com a Portadora L1

	D ϕ (mm)	D λ (mm)	DH (mm)	Erro Bi (mm)	Erro Tri (mm)
GLONASS	-12,6	23,4	2,3	26,6	26,7
GPS	-12,6	20,0	3,1	23,6	23,8
GPS/GLONASS	-12,6	20,6	3,3	24,1	24,4

Tabela 4.5.2 – Processamento da Linha RM03-RM02, com a Portadora L1

	D ϕ (mm)	D λ (mm)	DH (mm)	Erro Bi (mm)	Erro Tri (mm)
GLONASS	-188,4	-64,5	197,3	280,3	279,0
GPS	-19,1	5,2	8,2	21,4	21,0
GPS/GLONASS	-18,7	5,2	8,1	21,0	20,9

Analisando os resultados apresentados nas tabelas 4.5.1 e 4.5.2, verifica-se que os processamentos com dados GPS e GPS/GLONASS apresentaram comportamentos semelhantes, nas duas linhas de base estudadas. Por outro lado, no processamento GLONASS, os resultados obtidos nas duas linhas de base apresentaram grande discrepância entre si. Este comportamento pode ser explicado através da observação do número de satélites GLONASS rastreados e o PDOP obtido em cada levantamento, apresentados nos gráficos 4.5.1 e 4.5.2.

Gráfico 4.5.1 - Processamento da Linha RM03-RM01, com a Portadora L1

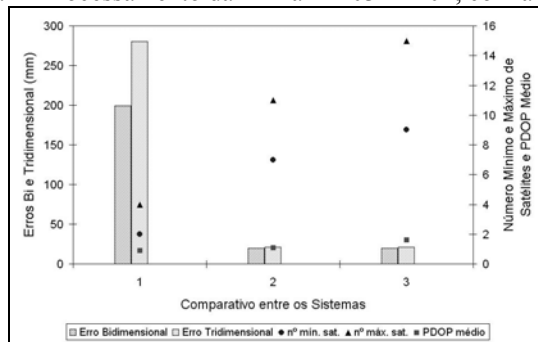
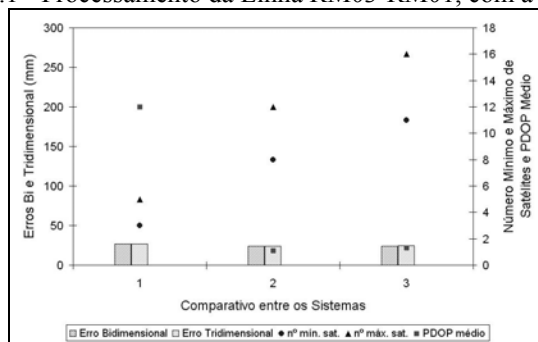


Gráfico 4.5.1 - Processamento da Linha RM03-RM01, com a Portadora L1



Na linha RM03-RM01, o número de satélites GLONASS variou entre 1 e 6, enquanto que o fator PDOP foi de 12. Na linha RM03-RM02 esta variação foi de

2 a 4 satélites com fator PDOP igual a 9. Baseando-se nestas informações, deve-se ressaltar que o número máximo de satélites disponíveis no levantamento da linha RM03-RM02 (4 satélites) proporciona apenas a configuração mínima necessária para se obter o posicionamento tridimensional, fato que acarreta em perda de precisão. Os resultados dos processamentos com GLONASS (1), GPS (2) e GPS/GLONASS (3), para as linhas de base RM03-RM01 e RM03-RM02 são mostrados nos gráficos 4.5.1 e 4.5.2, respectivamente.

4.6 ESTÁGIO ATUAL DE DESENVOLVIMENTO

Apesar do intervalo de 17 meses decorrido entre as aquisições de dados para o posicionamento absoluto e relativo, a constelação GLONASS passou por situações precárias, ocorrendo períodos inclusive em que não era possível a realização de posicionamento tridimensional. Com o lançamento de novos satélites a constelação GLONASS vem passando por constantes modificações. Para ilustrar estas modificações, nas tabelas 4.6.1, 4.6.2, 4.6.3 e 4.6.4 mostra-se o *status* do sistema em quatro datas distintas. No dia 6 de maio de 2000, observam-se a existência de 9 satélites disponíveis na constelação, em contrapartida a 6 satélites no dia 30 de agosto de 2000, 10 satélites em 9 de janeiro de 2001 e 7 satélites em 22 de novembro de 2002.

Tabela 4.6.1 – Constelação GLONASS em 6 de maio de 2000

Nº do sat.	Plano/ Posição	Canal de Freqüência	Data de Lançamento	Início de Operação	Status	Saída de Operação
775	2/16	22	11/08/94	07/09/94	Operacional	
766	3/22	10	07/03/95	05/04/95	Operacional	
781	2/10	9	24/07/95	22/08/95	Operacional	
785	2/11	4	24/07/95	22/08/95	Operacional	
776	2/9	6	14/12/95	07/01/96	Não operacional	05/05/00
778	2/15	11	14/12/95	26/04/99	Operacional	
782	2/13	6	14/12/95	18/01/96	Operacional	
779	1/1	2	30/12/98	18/02/99	Operacional	
784	1/8	8	30/12/98	29/01/99	Operacional	
786	1/7	7	30/12/98	29/01/99	Operacional	

Tabela 4.6.2 – Constelação GLONASS em 30 de agosto de 2000

Nº do sat	Plano/ Posição	Canal de Freqüência	Data de Lançamento	Início de Operação	Status	Saída de Operação
775	2/16	22	11/08/94	07/09/94	Não operacional	13/08/00
766	3/22	10	07/03/95	05/04/95	Não operacional	29/08/00
781	2/10	9	24/07/95	22/08/95	Operacional	
785	2/11	4	24/07/95	22/08/95	Não operacional	13/08/00
776	2/9	6	14/12/95	07/01/96	Não operacional	13/08/00
778	2/15	11	14/12/95	26/04/99	Operacional	
782	2/13	6	14/12/95	18/01/96	Operacional	
779	1/1	2	30/12/98	18/02/99	Operacional	
784	1/8	8	30/12/98	29/01/99	Operacional	
786	1/7	7	30/12/98	29/01/99	Operacional	

Tabela 4.6.3 – Constelação GLONASS em 9 de janeiro de 2001

Nº do sat.	Plano/ Posição	Canal de Freqüência	Data de Lançamento	Início de Operação	Status	Saída de Operação
766	3/22	10	07/03/95	05/04/95	Não operacional	21/11/00
781	2/10	9	24/07/95	22/08/95	Operacional	
785	2/11	4	24/07/95	22/08/95	Operacional	
778	2/15	11	14/12/95	26/04/99	Operacional	
782	2/13	6	14/12/95	18/01/96	Operacional	
779	1/1	2	30/12/98	18/02/99	Operacional	
784	1/8	8	30/12/98	29/01/99	Operacional	
786	1/7	7	30/12/98	29/01/99	Operacional	
783	3/18	10	13/10/00	05/01/01	Operacional	
787	3/17	5	13/10/00	04/11/00	Operacional	
788	3/24	3	13/10/00	21/11/00	Operacional	

Tabela 4.6.4 – Constelação GLONASS em 22 de novembro de 2002

Nº do sat.	Plano/ Posição	Canal de Freqüência	Data de Lançamento	Início de Operação	Status	Saída de Operação
784	1/8	8	30/12/98	29/01/99	Operacional	
786	1/7	7	30/12/98	29/01/99	Operacional	
783	3/18	10	13/10/00	05/01/01	Operacional	
787	3/17	5	13/10/00	04/11/00	Operacional	
788	3/24	3	13/10/00	21/11/00	Operacional	
789	1/3	12	01/12/01	04/01/02	Operacional	
790	1/6	9	01/12/01	04/01/02	Operacional	
711	1/5		01/12/01			

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo procurou-se mostrar a viabilidade prática da aplicação conjunta dos sistemas GPS e GLONASS, enfatizando-se os aspectos envolvidos na sua compatibilização, no que se refere aos levantamentos geodésicos. Para tal procurou-se destacar as vantagens oferecidas pelo uso combinado GPS/GLONASS, em função da maior disponibilidade de satélites. A redundância proporcionada, teoricamente, permite melhor desempenho tanto em áreas urbanas quanto naquelas em que existe cobertura florestal, devido à maior quantidade de satélites visíveis nas porções desobstruídas do céu. Com o objetivo de constatar estas vantagens, foram realizados experimentos envolvendo os posicionamentos absoluto e relativo.

No posicionamento absoluto, com apenas um arquivo de dados, verificou-se melhores resultados no processamento combinado GPS/GLONASS em relação aos demais. No posicionamento absoluto, englobando o conjunto total de dados, procurou-se avaliar a repetibilidade de resultados em cada experimento. No processamento GLONASS verificou-se maior heterogeneidade, ocorrendo maior dispersão de valores entre os diversos arquivos analisados. Observou-se também a ocorrência de erros tridimensionais com maior valor numérico para o sistema GLONASS, comparado aos demais sistemas. Os melhores resultados obtidos, em termos de repetibilidade e amplitude, foram aqueles advindos do processamento GPS.

No posicionamento relativo o GPS apresentou resultados semelhantes tanto no processamento da linha RM03-RM01 quanto na RM03-RM02. Os valores obtidos resultaram da utilização de uma constelação completa, dispondo-se de geometria e quantidade de satélites suficientes para realizar o posicionamento tridimensional. No processamento GLONASS ocorreram situações distintas nas duas linhas de base, em função de variações na quantidade e geometria dos satélites rastreados. Dos resultados obtidos pode-se concluir que a disponibilidade em termos de quantidade e geometria dos satélites apresenta influência sobre o desempenho do

sistema GLONASS. No processamento combinado GPS/GLONASS obteve-se comportamento semelhante nas duas linhas de base analisadas. No posicionamento relativo, constatou-se também que a integração GPS e GLONASS nem sempre ofereceu os melhores resultados, ao contrário do que ocorreu no posicionamento absoluto. Esta situação pode ser explicada pelo fato dos dois levantamentos terem sido realizados em períodos diferentes, ocorrendo mudanças na constelação GLONASS. Deste modo, observando-se os resultados obtidos tanto no posicionamento absoluto como no relativo, conclui-se que a combinação de dados GPS e GLONASS só apresenta vantagens quando se dispõe de uma configuração adequada de satélites GLONASS, com geometria favorável e quantidade mínima de satélites.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASLOV, Y. A. et al. **GLONASS to GPS – A New Coordinate Transformation**. GPS World, v. 10, n. 1, p. 54-58, 1999.
- CARVALHO, L. D. **Análise das Técnicas Atuais para os Posicionamentos Estáticos e Cinemáticos em Bases Curtas**. Curitiba, 1999. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.
- LAGO, I. F. **Integração GPS e GLONASS Aplicada aos Levantamentos Geodésicos**. Curitiba, 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.
- LANGLEY, R. B. Propagation of the GPS Signals. In: TEUNISSEN, P. J. G.; KLEUSBERG, A. **GPS for Geodesy**. Local: Springer, 1998. P. 111-150.
- LEICK, A. et al. Processing GLONASS Carrier Phase Observations – Theory and First Experience. In: Annual Proceedings of Institute of Navigation, 1995, Nashville. **Institute of Navigation**. Nashville, 1995. p.1041-1047.
- MISRA, P. N.; ABBOT, R. I.; GAPOSCHKIN, E. M.; Integrated use of GPS and GLONASS: transformation between WGS-84 and PZ-90. In: Annual Proceedings of Institute of Navigation, 1996, Kansas City. **Institute of Navigation**. Kansas City, 1996. p.307-314.
- ROSSBACH, U.; HABRICH, H.; ZARROA, N. Transformation Parameter Between PZ-90 and WGS-84. In: Annual Proceedings of Institute of Navigation, 1996, Kansas City. **Institute of Navigation**. Kansas City, 1996. p.279-284.
- WANG, J. In: Annual Proceedings of Institute of Navigation, 1998, Nashville. **Institute of Navigation**. Nashville, 1998. p.1333-1344.

(Recebido em 25/06/02. Aceito para publicação em 09/12/02.)