

CONSIDERAÇÕES SOBRE O ALINHAMENTO GEODÉSICO DE SIMULADOR EM 3 EIXOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE SENSORES INERCIAIS

Kátia Duarte Pereira, Marco Aurélio de Almeida Lima, Antonio Jurandir Constantino de Oliveira

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Diretoria de Geociências/ Coordenação de Geodesia
Av. Brasil 15.671 - Parada de Lucas - Rio de Janeiro, RJ
Tel.: (21)2142.4929
katiaduarte@ibge.gov.br e marcolima@ibge.gov.br

Paulo Giácomo Milani

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Divisão de Mecânica Espacial e Controle - DMC
Av. dos Astronautas 1758, Jardim da Granja
12227-010 São José dos Campos, SP
(12)3945.6181, milani@dem.inpe.br

Resumo

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE tem como missão retratar o Brasil, com informações necessárias ao conhecimento da sua realidade e ao exercício da cidadania, e para executá-la atua nas áreas de estatística, geografia, geodésia, cartografia e recursos naturais. Através da Diretoria de Geociências, a Coordenação de Geodésia é a unidade responsável pelo estabelecimento do Sistema Geodésico Brasileiro – SGB que objetiva fornecer informações posicionais para diversos fins, tais como: apoio ao mapeamento, demarcação de unidades político-administrativas, obras de engenharia, regulamentação fundiária, posicionamento de plataformas de prospecção de petróleo, delimitação de regiões de pesquisas geofísicas, etc.. Para o estabelecimento do SGB ao longo dos anos, foram empregadas diferentes metodologias e técnicas de posicionamento. Inicialmente foram empregados os denominados métodos clássicos que compreendem a triangulação, os métodos astronômicos e poligonação geodésica. Em 1978, a Geodésia à Satélite, passou a ser utilizada através do emprego do sistema TRANSIT; e em 1991, o IBGE passou a empregar exclusivamente o NAVSTAR/GPS (Navigation Satellite with time and Rancing / Global Positioning System), para as determinações de posicionamento. Considerando a experiência adquirida em decorrência de suas atividades, a Coordenação de Geodésia, por diversas vezes, desempenhou tarefas ligadas a determinação de posicionamento preciso junto a outras instituições. Em 1987, atendendo a solicitação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, desenvolveu trabalho no sentido de efetuar o alinhamento geodésico e a orientação do simulador dinâmico em 3 eixos em relação ao Norte Verdadeiro. Nesta ocasião foi utilizado método astronômico para obter-se o alinhamento. No período de 1996 a 1998 foram desenvolvidos diferentes trabalhos para o Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA) / Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), nas dependências de São José dos Campos e na Base de Alcântara (Maranhão). No IAE objetivou-se também a orientação do simulador dinâmico em 3 eixos em relação ao Norte Verdadeiro, enquanto que em Alcântara objetivou-se a determinação do norte verdadeiro para o posicionamento da rampa de lançamentos. Em 2004 foram desenvolvidos novos trabalhos para o INPE, objetivando novamente o alinhamento geodésico de forma a orientar, em relação ao Norte Verdadeiro, o simulador dinâmico em 3 eixos, que é usado para a simulação de sistemas de controle com "hardware in the loop" (de sistemas de controle de satélites, navios, plataformas de petróleo, aviões, submarinos, etc.) e para a caracterização de sensores e plataformas de navegação inercial. Desta vez utilizou-se o GPS para obter o Norte Verdadeiro e a topografia de precisão para o alinhamento geodésico. Este trabalho tem como proposta descrever as atividades desenvolvidas para o alinhamento geodésico do simulador de 3 eixos através do emprego do GPS combinado com a topografia de precisão. As atividades envolveram um conjunto de etapas bem definidas. Inicialmente escolheu-se o local mais adequado para a colocação de um Marco Geodésico, o qual precisava permitir o alinhamento do simulador com a maior linha de base que coubesse naquele local, mas também requeria que fosse possível a sua calibração através do conjunto de receptores e antenas GPS a serem posicionados em pontos estratégicos de prédios. Depois houve a construção em alvenaria do Marco Geodésico, exatamente no ponto escolhido. Uma outra etapa foi a determinação do Norte Verdadeiro em relação a esse Marco, e a sua calibração segundo os procedimentos típicos do IBGE para torná-lo mais uma parte do SGB, sendo que a precisão de posicionamento obtida para o mesmo foi menor do que 0,1mm nas 3 direções (WGS-84). A etapa final foi a mais trabalhosa, quando se alinhou o simulador em relação a esse Marco através do uso de teodolito T3 e de um espelho com precisão de um quarto de onda, operação que exigiu duas semanas de trabalho nesta primeira orientação ocorrida no novo prédio. O resultado final foi um alinhamento com o Norte, com valor médio estimado de 0,22 segundos de arco, bem abaixo dos 5 segundos de arco inicialmente especificados para o serviço. Apresenta-se no artigo todas as etapas do trabalho realizado, os equipamentos utilizados, os resultados obtidos e os procedimentos empregados.

1. Histórico

Em abril de 2003, o INPE efetuou consulta ao IBGE no sentido de que fosse desenvolvido trabalho para definir e materializar o alinhamento geodésico com a linha Norte – Sul (N verdadeiro) de um Simulador Dinâmico de 3 (três) Eixos.

Efetuiu-se visita técnica para estabelecer as necessidades para o desenvolvimento dos trabalhos. Foi constatado que:

1. a precisão na definição do alinhamento deverá ser melhor que 5 seg de arco;

2. será necessário determinar estações auxiliares para a definição do alinhamento, ou seja, deverá ser determinado um ponto de partida (marco principal) que tenha visada direta para a sala onde será instalado o equipamento. Para tanto, será necessário proceder a locação do alinhamento através de visadas recíprocas, empregando teodolitos;
3. após a definição do ponto de partida (marco principal), deverá ser escolhida área para o estabelecimento de um ponto secundário (marco de azimute) de forma que seja possível definir o alinhamento norte;

4. será necessário proceder a materialização do alinhamento na sala onde será instalado o equipamento, de forma a evitar possíveis problemas que podem ser ocasionados com a perda das referências externas;
5. de forma a minimizar possíveis erros de centragem, devem ser empregados dispositivos de centragem forçada nos marcos principal e de azimute;
6. deverá ser empregado o *Global Positioning System* (GPS) para a determinação das estações auxiliares (marco principal e marcos de azimute);
7. os marcos a serem estabelecidos deverão ser de fácil acesso. Como existem estações planimétricas pertencentes ao SGB dentro da área do INPE, conforme exemplificado pela Foto 1, estas podem ser empregadas para a realização desta trabalho do trabalho. Devido a sua localização, porém não poderão ser empregadas diretamente na definição do alinhamento.



Foto 1 – Como a estação 91537 pertence ao SGB, e está localizada dentro da área do INPE, será utilizada na determinação das estações que darão apoio para o desenvolvimento dos trabalhos.

8. há grande número de obstruções na área de visada, conforme indicado na Foto 2, o que restringe o local de instalação do marco principal;



Foto 2 - Local de instalação do marco principal (2) para que fosse efetuada

visada para a sala (1) onde foi instalado Simulador de 3 Eixos.

9. só é possível definir o alinhamento através de um caminho, devido a localização da sala que receberá o equipamento como pode ser verificado pela Foto 3;



Foto 3 – Visão do local onde foi instalado o marco principal para a sala do Simulador. Pode ser constatada a existência de grande número de obstruções (árvores, cercas e telas)

10. devido às características da área do INPE, os marcos de azimute deverão ser alocados nos telhados dos prédios, de forma a manter a intervisibilidade com o marco principal. As Fotos 4 e 5 ilustram uma das opções para a localização de um dos marcos de azimute. Cabe destacar que foi possível manter a distância entre o marco principal e o de azimute menor que 500 metros.

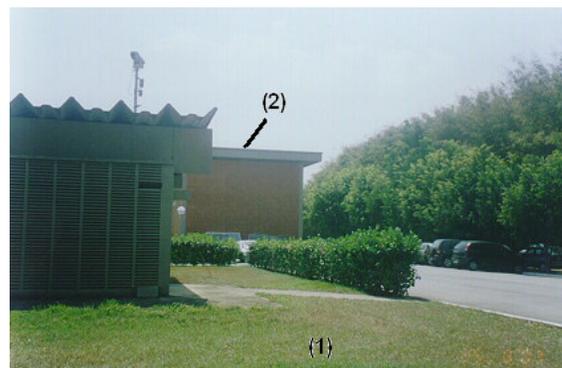


Foto 4 - Visão do marco principal (1) do prédio onde se considerou a instalação do marco de azimute (2).



Foto 5 - Visão do marco principal (1) a partir do local considerado inicialmente para o marco de azimute.

Devido as características próprias deste trabalho, sua realização deverá ser efetuada através de 4 etapas, e foram elas:

- 1ª Etapa: visa definir a locação inicial do alinhamento, através da definição do local definitivo para a construção do marco principal e do marco de azimute. Esta fase do trabalho está a cargo do IBGE;
- 2ª Etapa: confecção de dispositivo de centragem forçada e construção do marco principal. Esta fase está a cargo do INPE;
- 3ª Etapa: construção dos marcos de azimute, fixação dos dispositivos de centragem forçada, determinação planimétrica das estações, cálculo das coordenadas das estações e do seus azimutes. Esta fase do trabalho está a cargo do IBGE;
- 4ª Etapa: locação do alinhamento Norte - Sul. Esta fase do trabalho está a cargo do IBGE.

2. Determinação das estações planimétricas

Esta etapa dos trabalhos teve início com a escolha dos locais para o estabelecimento das estações de azimute e a fixação dos dispositivos de centragem forçada. Posteriormente, a estação principal (SAT 93653 – Foto 6) e as de azimute (SAT 93654 e SAT 93655, Foto 7) foram determinadas através do Sistema de Posicionamento Global (GPS).

As determinações utilizando GPS foram realizadas de acordo com o exposto nas Especificações e Normas para Levantamentos com GPS (IBGE, 1992), ou seja, foram efetuadas medições em dois dias consecutivos, tendo como partida as estações SAT 91536 e SAT 91537 estações já existentes dentro da área do INPE em São José dos Campos (SP) e pertencentes ao Sistema Geodésico Brasileiro - SGB. Os equipamentos utilizados encontram-se identificados na Tabela 1

Tabela 1- Equipamento utilizados nas determinações das estações planimétricas

Quant.	Equipamento	Marca/Modelo	Características
2	Georeceptores	TRIMBLE/ modelo 4000 SSI	Dupla frequência
2	Georeceptores	ASHTECH/ modelo Z- FX	Dupla frequência
2	Antenas geodésicas	TRIMBLE	Choke Ring
2	Antenas geodésicas	ASHTECH	Choke Ring

3. Desenvolvimento das Determinações

Nos dois primeiro dia de levantamento (dias juliano 211 e 212) foram medidas todas as estações, através da execução de 3 (três) sessões de observação, com duas horas de duração cada uma. Foram observadas as seguintes estações: SAT 91536, SAT 91537, SAT 93653, SAT 93654 e SAT 93655.



Foto 6: Estação principal, SAT 93653

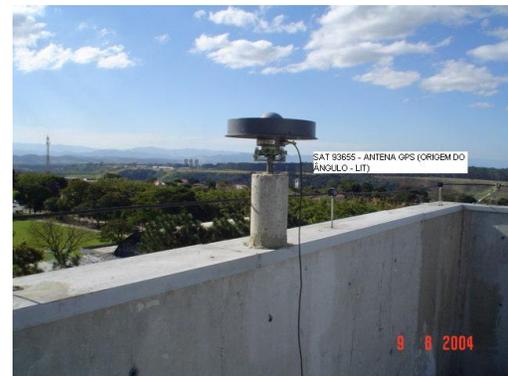


Foto 7 - Estação de azimute (SAT 93655) estabelecida no prédio do LIT

Para a determinação das coordenadas da estação 93653 foi empregado o software *Trimble Geomatics*

Office – TGO, da Trimble. As estações utilizadas como base para esta determinação foram as estações 91536 e 91537. A Tabela 2 informa o valor das coordenadas obtidas.

Tabela 2 – Coordenadas da estação 93653, sistema de referência WGS 84

Latitude	23° 12' 29,90134" S
Longitude	45° 51' 31,87086" W
Altitude	607,554 m

Após a determinação das coordenadas da estação 93653, essa foi utilizada para determinar as coordenadas e outras informações das estações 93654 e 93655, para o processamento dessas observações também foi utilizado o software TGO. As Tabelas 3 e 4 informam os valores das coordenadas, azimute e distância obtidas para as estações 93654 e 93655.

Tabela 3 - Informações da linha 93653 para 93655 (Sistema WGS 84)

Coordenadas SAT 93655	Latitude	23° 12' 37,82135" S
	Longitude	45° 51' 28,16234" W
Distância	265,484m	
δ dist	0,48 m	
Azimute	156° 35' 49,8909"	
δ az	-0,26 m	

Tabela 4 - Informações da linha 93653 para 93654 (Sistema WGS 84)

Coordenadas SAT 93654	Latitude	23° 12' 31,30191" S
	Longitude	45° 51' 34,02608" W
Distância	74,911 m	
δ dist	- 0,17 m	
Azimute	234° 53' 23,3700"	
δ az	2,18 m	

Conforme indicado nas Tabelas 3 e 4 foram determinados dois azimutes para a estação SAT 93653, um partindo da estação SAT 93654 e outro da estação SAT 93655. Estes azimutes foram analisados, de forma a identificar o que oferecesse a melhor definição. Para análise foram considerados os seguintes fatores: extensão da linha de base (distância entre as estações) e os desvio padrão da linha e do azimute. Pelas informações, verificou-se que o azimute determinado a partir da estação SAT 93655 oferece a melhor definição, e será utilizado como azimute da estação SAT 93653.

O procedimento adotado para determinação do alinhamento será o seguinte: com o valor do azimute conhecido, mede-se o ângulo dessa linha de base até o alvo a ser conhecido; soma-se este ângulo ao azimute anterior da linha, obtendo-se então, o azimute do ponto que foi utilizado como base. Como a linha Norte/ Sul

da base para o alvo é conhecida, para saber a direção Norte/ Sul do alvo, basta subtrair ou soma 180°.

4. Definição do Alinhamento Norte – Sul

Para a definição e materialização da linha Norte – Sul foram utilizados dois Teodolitos WILD T3, com precisão de 0.08 segundos de arco. Esta fase foi iniciada com um alinhamento “grosseiro” do espelho que seria utilizado como alvo das medições efetuadas com o Teodolito. O alinhamento do espelho reveste-se de especial importância pois os ângulos que serão medidos para efetuar a orientação do Simulador no alinhamento Norte/ Sul , terão como origem a imagem da luneta do Teodolito refletida no espelho. Caso o espelho fique fora de alinhamento, a imagem da luneta não será perfeitamente refletida, o que ocasionará erro na leitura do ângulo do alinhamento. A Foto 8 possibilita visualizar a localização do espelho no Simulador



Foto 8: Simulador de Teste de Sensores Inerciais

5. O ajuste do espelho

O espelho utilizado tem um suporte que permite ajustar o seu plano em dois eixos, de forma que o eixo ótico da linha de visada do teodolito seja ortogonal com a superfície do espelho. Isso quer dizer que após o ajuste o teodolito deve ser capaz de se ver refletido no espelho.

Um ajuste apenas não é o suficiente. É preciso que o eixo do prato ao qual o espelho está fixado seja girado de 180 graus após o ajuste e que se tenha a mesma leitura no teodolito após esse movimento. Isso garante que o eixo de rotação do simulador (neste caso o eixo interno) esteja alinhado com o eixo ótico de visada do teodolito. O procedimento para isso inclui medidas de autocolimação feitas com o teodolito e comandos do simulador (eixo externo) para posições que procurem levar as leituras no teodolito para valores cada vez menores

quando se alterna o eixo interno entre as posições de 0 e 180 graus. Depois, neste trabalho, apresentam-se mais detalhes deste ajuste.

A Foto 9 permite visualizar parte dos procedimentos adotados para o alinhamento do espelho, com utilização do Teodolito T3. Através da Foto 10 pode ser verificado um dos momentos em que foi necessário movimentar o espelho.



Foto 9: Procedimento para alinhar espelho, teodolito a 3 metros.



Foto 10: Execução de movimentos com o espelho, visando acerto do alinhamento.

Embora o alinhamento inicial do espelho não tenha ficado perfeito, foram efetuadas medições dos ângulos, objetivando determinar a variação do erro. Os ângulos foram observados em duas situações distintas, primeiro com o Simulador na posição direta, isto é, com o eixo horizontal do equipamento direcionado para o SUL, e depois com o Simulador na posição inversa, ou seja, direcionado para o NORTE. Na posição direta foram determinados 2 (dois) ângulos através da leitura de 16 posições para cada um, posteriormente utilizou-se a média das 16 leituras e depois a média de cada um dos ângulos. Para minimizar os erros de leitura, foram empregados dois operadores. As Tabelas 5 e 6 informam os valores de leitura observados por cada operador, enquanto que a Foto 11 permite verificar os preparativos para o início da leitura dos ângulos no T3.

Tabela 5: Ângulos na posição direta (operador Jurandir)

Estação	Ré	Vante	Posições	Média	Média Final	Ângulo Final
Sat 93653	Sat 93655	Espelho	16	14,88"	14,64"	12° 30' 14,64"
			16	14,40"		

Tabela 6: Ângulos na posição inversa (operador Robson)

Estação	Ré	Vante	Posições	Média	Média Final	Ângulo Final
Sat 93653	Sat 93655	Espelho	16	23,57"	23,19"	12° 30' 23,19"
			16	22,82"		



Foto 11 - Preparação para início da leitura dos ângulos com o T3.

Com os azimutes médios encontrados foi efetuado o primeiro alinhamento do Simulador na linha Norte/ Sul, cabe destacar que o valor encontrado divergia de 1° em relação ao alinhamento inicial determinado pelos técnicos do INPE. A Tabela 7 informa os valores encontrados para os azimutes nas posições direta e inversa.

Tabela 7- Valores determinados para os azimutes, posições direta e inversa

DIRETA (SUL)	INVERSA (NORTE)
AZ.GPS 156° 35' 49,89"	AZ.GPS 156° 35' 49,89"
ANGULO T3	ANGULO T3
+ 12° 30' 14,64"	+ 12° 30' 23,19"
169° 06' 04,53"	169° 06' 13"
+ 180°	+ 180°
349° 06' 04,53"	349° 06' 13,08"
- 90°	- 90°
AZ. P/ SUL:	259° 06' 13,08"
259° 06' 04,53"	
	- 180°
	AZ. P/ NORTE
	79° 06' 13,08"

A diferença encontrada entre as médias (08,55") é dividida por dois, obtendo-se o valor de (04,28"). Esse valor é somado a média menor, no caso a média sul (259° 06' 04,53"), obtendo-se o valor de (259° 06' 08,81"). Como este valor ultrapassa

180°, entende-se que a posição é norte. Do valor de (259° 06' 08,81") retira-se 180°, obtendo-se assim o valor de 79° 06' 08,81", que indica a direção onde está o marco de partida.

Este valor será utilizado para alinhar o Simulador na linha Norte/ Sul, porém quando inserido no simulador ocasionou um desvio no eixo horizontal, que saiu da direção anteriormente determinada. Para solucionar este problema, foi necessário calibrar o simulador, através dos parafusos calantes existentes em sua base. A Foto 12 possibilita a visualização dos parafusos.



Foto 12: Simulador, destaque para os parafusos utilizados para fixação do equipamento

Após esta correção foram efetuadas mais leituras dos ângulos, de maneira a confirmar se os valores se a direção estavam corretos. Como os valores da posição INVERSA mostravam-se mais consistentes, foi efetuada mais uma leitura de ângulo na posição inversa e duas leituras de ângulo na posição direta. Novamente foram empregados dois operadores. As Tabelas 8 e 9 informam os valores encontrados para cada posição.

Tabela 8 - Ângulos na posição inversa (operador Jurandir)

Estação	Ré	Vante	Posições	Média	Média Final	Ângulo Final
Sat 93653	Sat 93655	Espelho	16	16,60" 15,02"	15,81"	12° 30' 15,81"

Tabela 9 - Ângulos na posição direta (operador Robson)

Estação	Ré	Vante	Posições	Média	Média Final	Ângulo Final
Sat 93653	Sat 93655	Espelho	16	9,61" 10,22"	9,91"	12° 30' 09,91"

Com as médias encontradas, expostas na Tabela 10, foi efetuado um ajuste no alinhamento do simulador na linha Norte/ Sul, também foi necessário calibrar o simulador através do parafuso de sua base.

Tabela 10 – Média das posições direta e inversa

DIRETA – SUL	INVERSA - NORTE
AZ.GPS 156° 35' 49,89"	AZ.GPS 156°35' 49,89"
ANGULO T3	ANGULO T3
+ 12° 30' 09,91"	+ 12° 30' 15,81"
169° 05' 59,80"	169° 06' 05,70"
+ 180°	+ 180°
349° 05' 59,80"	349° 06' 05,70"
- 90°	- 90°
AZ. P/ SUL	259°06' 05,70"
259° 05' 59,80"	
	- 180°
	AZ. P/ NORTE
	79° 06' 05,70"

A diferença encontrada entre as médias (05,90") é dividida por dois, obtendo-se o valor de (02,95"). Esse valor é somado a média menor, no caso a média sul (259° 05' 59,80"), obtendo-se o valor de (259° 06' 02,75"). Como este valor ultrapassa 180°, entende-se que a posição é norte. Do valor de (259° 06' 02,75") retira-se 180°, obtendo-se assim o valor de 79° 06' 02,75", que indica a direção onde está o marco de partida. Este foi o valor utilizado para o segundo alinhamento do equipamento na linha Norte/ Sul.



Foto 13- Montagem da armação

Apesar dos procedimentos adotados, as médias obtidas dos ângulos nas posições direta e inversa ainda encontravam-se fora das norma adotadas pelo IBGE. Segundo essas normas, as médias dos ângulos de uma mesma direção não podem ter diferenças maiores que 1" da primeira para a segunda medição. Considerando este axioma, efetuou-se nova análise dos elementos envolvidos na determinação, verificando-se que, o espelho utilizado como referência para as medições apresentava pequenas variações de posição quando dos movimentos do simulador. Para resolver esta situação, o espelho foi fixado através de cola no simulador. De maneira a eliminar os fatores naturais que poderiam influenciar na medição, estabeleceu-se que seriam efetuadas novas leituras de ângulo a noite. Para execução desta medição, foi necessário construir uma armação de metal junto ao marco de referência, de maneira que pudessem ser sustentadas

lâmpadas para viabilizar a iluminação da luneta do Teodolito, de maneira que sua imagem refletida no espelho fixado no simulador pudesse ser percebida. As Fotos 13 e 14 indicam a montagem da estrutura e a operação de leitura realizada.



Foto 14 - Montagem da Armação



Foto 15. Operação com T3 à noite



Foto 16. Operação com T3 à noite

Foram efetuadas então, mais 2 (duas) leituras de ângulos na direta e 2 (duas) leituras de angulo na inversa. Caso todos as influências externas tivessem

sido resolvidas, as médias ficariam dentro das normas do IBGE. Os valores obtidos encontram-se nas Tabelas 11 e 12, para evitar erros de leitura, foram utilizados dois operadores.

Tabela 11 - Ângulos na posição direta (operador Robson)

Estação	Ré	Vante	Posições	Média	Média Final	Ângulo Final
Sat 93653	Sat 93655	Espelho	16	10,97"	10,89"	12° 30' 10,89"
			16	10,82"		

Tabela 12 - Ângulos na posição inversa (operador Jurandir)

Estação	Ré	Vante	Posições	Média	Média Final	Ângulo Final
Sat 653	Sat. 655	Eepelho	16	14,42"	14,45"	12° 30' 45"
			16	14,49"		

Pelos resultados expressos, constata-se que as influências externas foram eliminadas, pois as médias da leitura direta e as médias das leituras inversa ficaram dentro das normas do IBGE , ou seja ficaram dentro 1", conforme pode ser verificado na Tabela 13.

Tabela 13 - Média das posições direta e inversa

DIRETA (SUL)	INVERSA (NORTE)
AZ.GPS 156° 35' 49,89"	AZ.GPS 156° 35' 49,89"
ANGULO T3	ANGULO T3
+ 12° 30' 10,89"	+ 12° 30' 14,45"
169° 06' 00,79"	169° 06' 04,34"
+ 180°	+ 180°
349° 06' 00,79"	349° 06' 04,34"
- 90°	- 90°
AZ. P/ SUL	259° 06' 04,34"
259° 06' 00,79"	
	- 180°
	AZ. P/ NORTE
	79° 06' 04,34"

Conclui-se que a média com o equipamento posicionado para o Norte (inversa) é 79° 06' 02,56". Como a última média utilizada para alinhar o simulador na linha Norte/ Sul foi de 79° 06' 02,75", fazendo-se a diferença entre os valores obtém-se o erro do azimute, conforme indicado na Tabela 14

Tabela 14 Comparação das médias

Penúltima Média	79° 06' 02,75"
Última Média	79° 06' 02,56"
Erro em Azimute	00,19"

Concluiu-se que o erro em azimute na orientação do simulador na linha Norte/ Sul ficou em 0,19"

(0,19 seg arc), o que atendeu às normas do IBGE, e também à especificação do INPE.

6. Requisitos para realização do procedimento

O simulador dinâmico em 3 eixos do INPE (Contraves 53M2-30H) é um equipamento muito preciso e que exige uma grande precisão de alinhamento com o eixo de rotação da Terra para que possa funcionar corretamente. Recentemente foi necessária a sua mudança para outro prédio dentro do próprio INPE e a infraestrutura existente para a realização de seu alinhamento não podia ser utilizada ou já havia sido danificada. Foi necessário criar uma nova infraestrutura de Marcos Geodésicos e Pontos de Mira, além de adequar o novo prédio do Laboratório de Simulação para receber esse simulador. Os passos que se realizaram para atingir esse objetivo são apresentados a seguir.

Janela com visada para Marco Geodésico

Para o alinhamento de um simulador do tipo do disponível no INPE são necessárias algumas precauções, conforme recomendado pelo pessoal que instalou esse equipamento quando de sua aquisição. É necessária uma visada direta do simulador para a direção do Norte verdadeiro, sem obstruções físicas de nenhuma espécie como janelas de vidro, telas, grades e folhas ou galhos de árvores. Essa visada deve permitir o estabelecimento de uma linha de base de até 1Km, quando possível. No caso do INPE essa linha foi de aproximadamente 150m. Numa extremidade dessa linha fica o simulador e na outra deve ser construído um Marco Geodésico, assim como os ilustrados nas Fotos 1, 6 e 11 deste texto. Esse Marco é um padrão recomendado pelo IBGE e todas as informações sobre a construção do mesmo podem ser obtidas junto à Diretoria de Geociências / Coordenação de Geodésia daquele órgão.

A visada a partir do simulador para o Marco deve ser aproximadamente para o Sul ou para o Norte, tanto quanto for possível. Os erros de leitura do teodolito são mantidos em seu mínimo dessa forma.

O suporte do teodolito (e das antenas GPS, conforme o momento) no Marco Geodésico é feito de um prato com um pino roscado que se adapta à base do teodolito (ou antena) sem folgas. Os procedimentos antigos de posicionamento dos teodolitos com tripés exigiam o uso de um fio de prumo, procedimento esse que podia ter um erro de até 5mm, o que já pode ocasionar erro de 1 seg arc se a linha de base for de 1km!

O teodolito deve ser um padrão T2 ou T3, dependendo da necessidade do alinhamento, sendo o T3 com precisão abaixo de 0,4 seg arc. É necessário que o mesmo trabalhe no modo Autocolimador sem que seja necessário mudar seu ponto de foco de local para infinito quando se estiver fazendo as medidas. Esse requisito é uma das implicações para se ter a linha de base bem grande.

O espelho deve ter precisão de planicidade de superfície de quarto de onda ($\lambda/4$), para se realizar um procedimento de orientação do simulador com a linha N_v-S_v .

O simulador deve estar pré-alinhado com o N_v com poucos graus de diferença, ou seja, caso esteja desalinhado deve ser possível alinhar o mesmo sem ter que refazer os furos de fixação do mesmo no chão.

Construção de Bloco Sísmico

O simulador precisou de um novo bloco sísmico para sua instalação e isso foi feito sobre um bloco de concreto em forma de L onde os lados maiores têm 5m e os menores têm 2,5m. A profundidade é de 2m. Esse bloco foi construído com essa dimensão para permitir a instalação de outros equipamentos já disponíveis no INPE sobre a mesma base. Um bloco 2m x 2m x 2m é suficiente para um simulador Contraves 53M2-30H.

No buraco que foi feito no chão, antes de ter o bloco construído, foram feitas paredes de concreto para segurar o terreno e permitir que o Bloco ficasse isolado de qualquer contato nas laterais.

Para isolar as vibrações que vêm pelo solo, como as geradas pelo deslocamento de veículos pesados, é necessário que o Bloco fique suportado por uma caixa de areia seca. Assim, uma caixa com área maior que a base do Bloco e com profundidade de pelo menos 30cm foi feita para suportar esse Bloco, o que gerou muitas dificuldades na construção. Ao se fundir o concreto do Bloco Sísmico, o que foi feito em apenas uma operação, é preciso evitar que se encharque de água a areia usada para curar o concreto. Usou-se uma proteção de plástico que procurou evitar essa contaminação, mas uma alternativa diferente pode ser mais interessante para o longo prazo. Pode-se embutir na areia, por baixo de onde se construirá Bloco e, antes da fusão do mesmo, distribuir uma tubulação de cobre que seja levada para o exterior do prédio. Um sistema de aquecimento e circulação de óleo permite que se aqueça e se elimine a umidade que poderá migrar para a caixa ao longo dos anos. Um sistema de circulação de ar e, da respectiva umidade, deve ser previsto para o espaço entre o bloco e as paredes laterais para garantir que o vapor resultante seja eliminado e a areia permaneça sempre seca.

Medidas feitas à noite

É importante que se realize as medidas em períodos noturnos ou em dias frios e sem a incidência direta da luz do Sol. No caso do INPE as medidas foram todas realizadas após as 18hs e antes das 08hs, todos os dias. A especificação para instalação de um dispositivo de teste de sensores girométricos com qualidade inercial, conforme pode ser visto em Belletti et Pinto (1998) é de 3,6 segundos de arco para o caso de determinação dos parâmetros do modelo com erros menores que 0,0005 [$^{\circ}/h$].

No caso do INPE a linha de base máxima que foi possível implementar foi de aproximadamente 150m e, portanto, os possíveis erros de posicionamento do teodolito têm implicações muito maiores.

Esse erro de posicionamento foi minimizado com a construção do Marco Geodésico em concreto fundido, e com o apoio do Teodolito sendo uma rosca fixa (colada com adesivo a base de epóxi) presa ao próprio Marco, conforme especificação do IBGE. Os procedimentos de alinhamento levaram em consideração essa distância e o erro máximo de alinhamento do simulador foi respeitado mesmo com essa limitação.

7. Pré alinhamento do simulador

Logo após a construção do Bloco Sísmico e antes de realizar o alinhamento geodésico do simulador, foi necessário realizar um pré-alinhamento do mesmo, o que foi executado com referência ao Norte magnético e corrigindo a declinação magnética local.

No caso do INPE, determinou-se uma linha N_M-S_M no campo de futebol, o qual se considerou que estava bastante afastado de influência de campos magnéticos de linhas de transmissão de energia ou de grandes massas de ferro como lajes ou estruturas metálicas. Usou-se uma bússola e prolongou-se sobre o gramado uma linha que correspondia ao azimute N_M-S_M . Depois um teodolito foi colocado sobre essa linha com o uso de um fio de prumo e o primeiro foi alinhado com a mesma. Esse alinhamento foi então transferido para um outro teodolito dentro do prédio do LabSim através da visada mútua de ambos. No teodolito dentro do prédio foi feita a compensação da declinação magnética para o local (São José dos Campos, obtida: http://www.geolab.nrcan.gc.ca/geomag/mirp_e.shtml) e marcado no chão a direção N_V-S_V , bem sobre o local de instalação do simulador. Depois, com um compasso improvisado e um pouco de imaginação, transferiu-se a posição de todos os parafusos de fixação do simulador para o chão.

Após o simulador ter sido fixado e nivelado naquele lugar, durante os procedimentos de alinhamento ótico do mesmo, chegou-se à conclusão que o pré-alinhamento tinha ficado com erro menor do que 0,1 graus.

8. Erros de leitura do instrumento ótico

As medidas, sempre que possível, devem ser realizadas por pessoal treinado para a tarefa, uma vez que já têm um procedimento adequado, registrando dados para pós-processamento e o procedimento é sistemático.

As observações foram todas à noite, minimizando o efeito de correntes de convecção, embora os pré-alinhamentos e preparações ocorressem durante o dia.

9. Garantia de alinhamento do eixo externo!

As medidas foram feitas usando autocolimação a uma distância de 150m do simulador. Isso impôs grandes dificuldades à noite uma vez que era muito difícil localizar o teodolito na imagem refletida pelo espelho que estava no simulador. Para tanto foi necessário iluminar bastante o lugar da realização das medidas para que fosse possível ver a imagem do teodolito no espelho no simulador e, ainda mais, realizar a auto-colimação.

O espelho colocado no simulador, conforme apresentado antes, tinha que estar posicionado a 90 graus com a linha de visada do teodolito que estava no MG. Isso requereu um período bastante grande de ajustes do espelho e do apontamento do simulador. A essência desta parte do ajuste é relativamente simples.

Deve-se alinhar o teodolito e o simulador de forma que o teodolito consiga ver a imagem da própria luneta no espelho e, depois, estabelecendo autocolimação (Figuras dos Anexos 3 e 4). Quando se faz isso à distância o teodolito não precisa que seu foco seja ajustado, trabalhando na posição de foco infinito, o que diminui os erros relativos a esse ajuste. Nesse ponto, gira-se o eixo interno do simulador para uma posição a 180^0 da atual e mede-se o respectivo desvio com o teodolito. Esse desvio tem que ser compensado pelo reposicionamento do eixo externo do simulador e pelo ajuste de ortogonalidade do espelho. Quando as medidas no teodolito nas posições a 0^0 e a 180^0 do eixo interno forem coincidentes, o eixo de rotação deste último estará alinhado com a linha de visada do teodolito. Essa posição foi chamada de *posição direta* no texto apresentado anteriormente. Na posição direta realizou-se o conjunto de medidas conforme apresentado na Tabela 11.

Essa condição de medida, embora necessária, não é suficiente. O terceiro eixo (o externo) do simulador deve ser virado a 180^0 da posição obtida e o segundo eixo (intermediário) comandado para a posição simétrica verticalmente à que estava antes. Nessa outra posição (*reversa*) os erros de posicionamento do simulador são medidos da mesma forma que na primeira situação e é feita uma média dos resultados obtidos. A Tabela 12 apresenta os resultados de medida desse segundo caso e a Tabela 13 apresenta os resultados médios. Esses dois conjuntos de medidas foram realizados duas vezes, pelo menos, até que se chegasse ao resultado da Tabela 13.

Deve-se ressaltar que cada leitura era feita com relação a uma linha entre dois marcos geodésicos já pré-calibrados anteriormente e usados como referência (Figura do Anexo 4).

10. Resultados finais

O procedimento apresentado no item anterior foi aplicado 2 vezes, com 15 dias de intervalo entre elas. Cada sessão dessas durou aproximadamente uma semana com as medidas sendo realizadas de manhã, antes do Sol nascer, como à tarde, após o por do Sol. Os dias estavam relativamente frios (de 15 a 18^oC) quando feitas as medidas. Durante o dia havia Sol, sem chuvas, durante todos os dias.

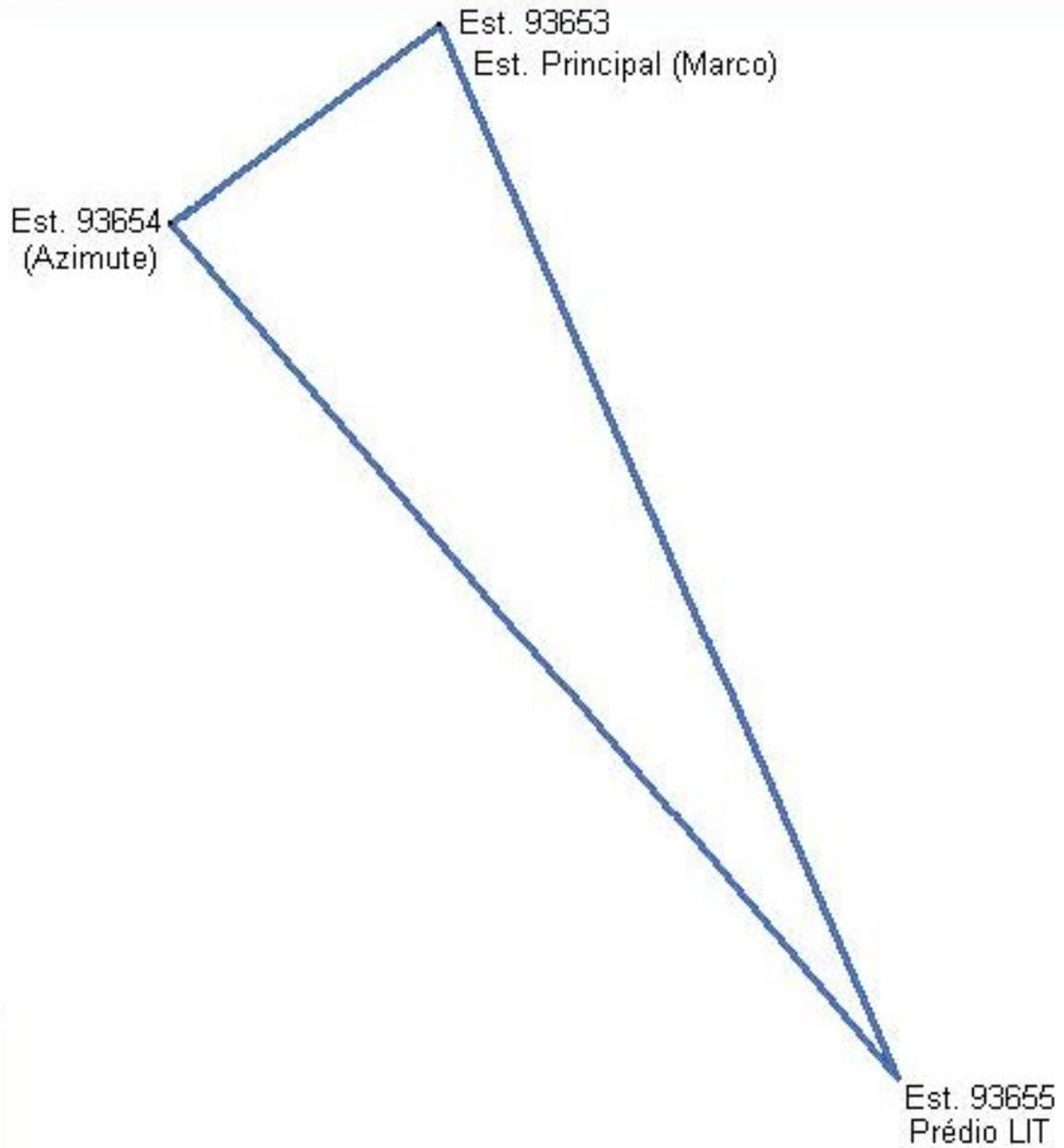
A média final ficou abaixo de 0,5 seg. arc., sendo que a especificação era < 5seg. arc. O desvio padrão das medidas, ainda está para ser determinado, embora os softwares utilizados pelo IBGE indiquem que o mesmo está abaixo das nossas necessidades.

Procedimento total, incluindo escolha do local, construção do M.G., fixação dos Marcos nos telhados dos prédios do Materiais e do LIT, calibração do M.G. com dados de outros marcos e alinhamento do simulador: >30 dias.

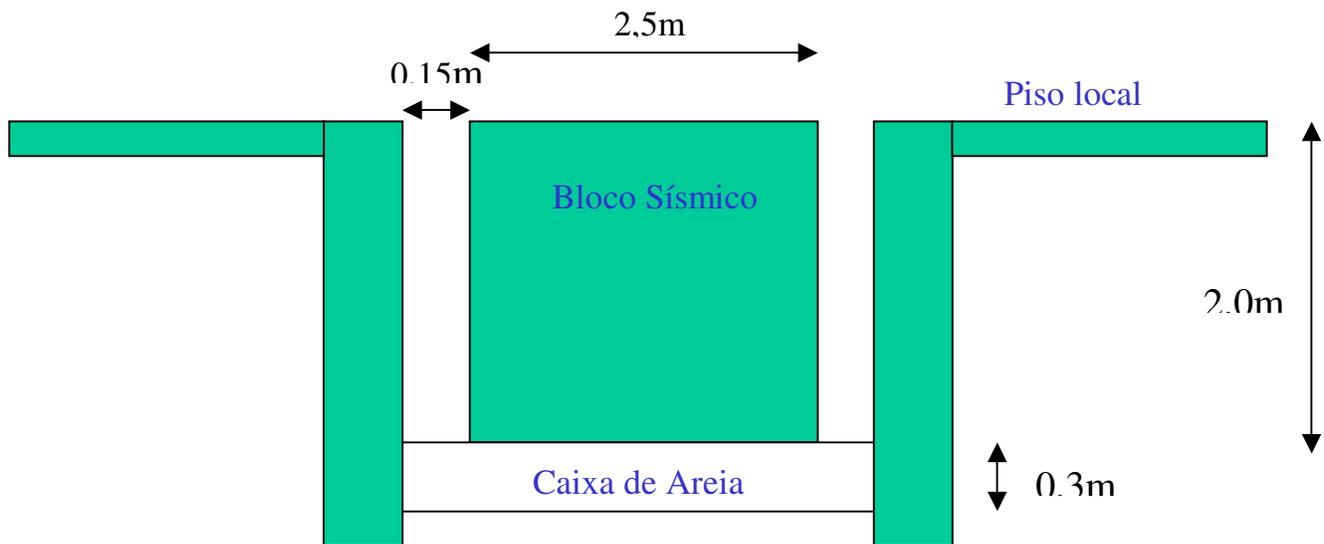
Bibliografia:

Belletti, C.L.C.M.; Pinto, M.F.D.; Estudo dos requisitos de projeto para um dispositivo de testes com três graus de liberdade. Anais do II SBEIN, Instituto de Pesquisas da Marinha, Rio de Janeiro, RJ, 21 a 23 de outubro de 1998, pp 153 a 160.

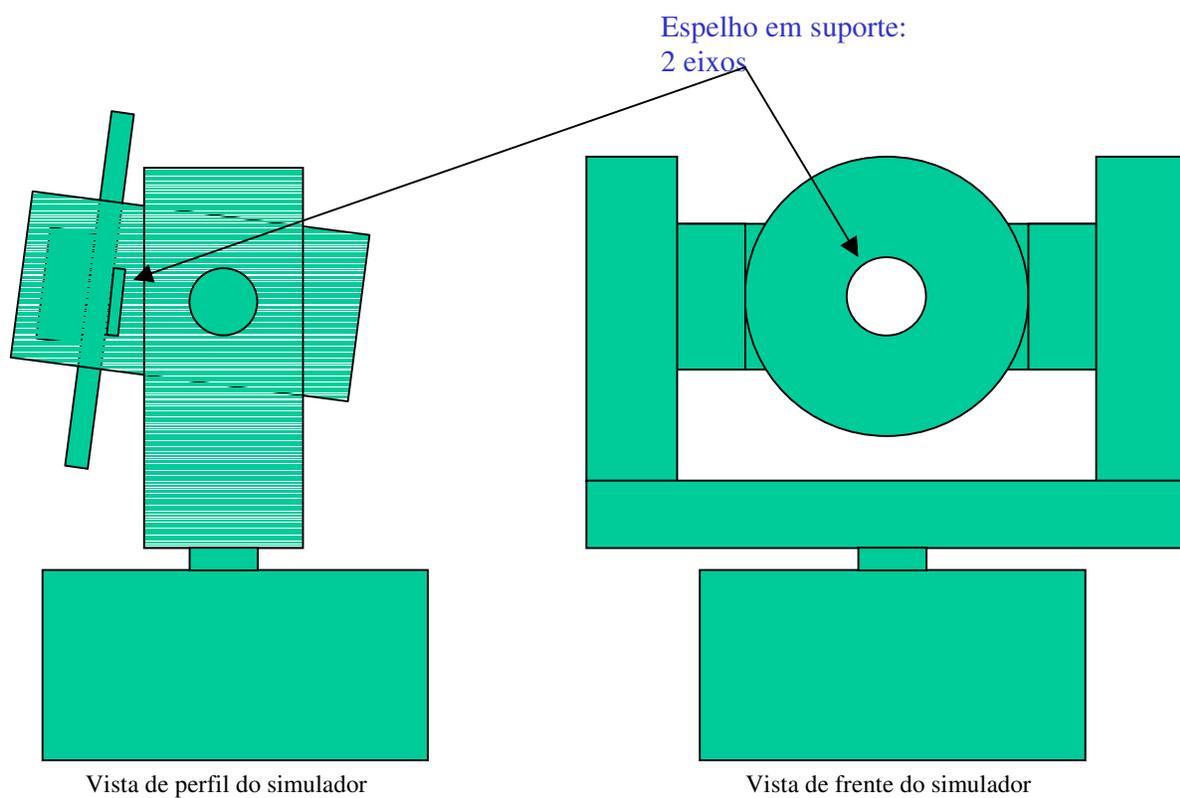
Anexo 1
Croqui da distribuição das estações



Anexo 2: Instalação do Bloco Sísmico no prédio.



Anexo 3: Posicionamento do espelho e do simulador em 3 eixos para auto-colimação.



Anexo 4: Visada do espelho no simulador pelo teodolito em relação a azimute de referência.

