

APLICAÇÕES DO GPS NO BRASIL: AS PRIMEIRAS EXPERIÊNCIAS COM EQUIPAMENTO WILD-MAGNAVOX WM-101

Herbert Erwes
Wild Brasil Instrumental Técnico Ltda
Rua Campos Sales, nº 135
CEP. 20270 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil

Resumo

São apresentados os resultados de rastreamento de satélites GPS, em modo diferencial (o de dois receptores) das seguintes campanhas, no período entre 26 de abril e 18 de junho do ano passado:

- 1) UFPR - AERODATA, Curitiba
Linha de Calibração de distanciômetros eletrônicos da UFPR
- 2) USP/IAG - TERRAFOTO, São Paulo
Rede de triangulação de 1ª ordem no IBGE, na região de São Paulo (7 vértices)
- 3) IBGE - 2ª DL/DSG, Brasília
Rede de triangulação de 1ª ordem do IBGE, na região de Brasília (4 vértices)
- 4) IBGE - Rio de Janeiro e Niterói
Rede de triangulação de 1ª ordem do IBGE, na região do Rio de Janeiro (3 vértices)
- 5) PETROBRÁS, Macaé, Rio de Janeiro
Posicionamento de 2 plataformas marítimas, na Bacia de Campos, com referência em vértice de 1ª ordem do IBGE
- 6) IME - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro
Ajustamento de uma rede Geodésica de 4 vértices, através de Trilateração, Espacial (Projeto de fim de curso)

Abstract

This paper presents the results of GPS satellite tracking, in relative mode (base-lines), on the following campaigns during April 26 to June 18, 1988:

- 1) UFPR - AERODATA, Curitiba
Calibration line for electronic distancer measurers of UFPR
- 2) USP/IAG - TERRAFOTO, São Paulo
1ª order triangulation network of IBGE, São Paulo area (7 stations)
- 3) IBGE - 2ª DL/DSC, Brasília
1ª order triangulation network of IBGE, Brasilia area (4 stations)
- 4) IBGE - Rio de Janeiro & Niterói
1ª order triangulation network of IBGE, Rio de Janeiro area (3 stations)

- 5) PETROBRÁS, Macaé, Rio de Janeiro
Relative positioning of 2 off-shore platforms in the Campos oil-field, with reference to a 1ª order network station of IBGE
- 6) IME - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro
Adjustment of a 4 station geodesic network by spacial trilateration (Project of graduation thesis)

1) Introdução

Os trabalhos de medição de campo, com emprego de rastreadores WILD-MAGNAVOX WM-101, de maneira diferencial, foram executados durante sete semanas, entre 26 de abril e 18 de junho do ano passado. Algumas campanhas foram realizadas com a cooperação de várias instituições governamentais e privadas; aliás, estas operações não poderiam ter sido executadas sem ajuda das mesmas.

Nos meses seguintes, os dados de campo foram processados por programa PoPS (Post Processing Software) WILD-MAGNAVOX, novamente com a colaboração de várias instituições e empresas.

Vale mencionar que quase todas as medidas de rastreamento foram realizadas durante a noite (17 noites no total), sendo 5 noites foram seguidas, pois, à época, a disponibilidade de mais satélites só existia durante as horas noturnas (janelas de observação).

2) Experiências e Recomendações

2.1.) Planejamento de Missões de Campo

De acordo com a visibilidade de satélites NAVSTAR (figura 1) foram planejados os períodos de ocupação das estações, i.e., os tempos de observações simultâneas de linhas de base "base lines", a indicação da estação fixa e as de mudanças do rastreador itinerante para outra estação.

Na época, concluiu-se que um período de 60 minutos de observações simultâneas seria necessário e suficiente para fins de obter uma precisão de 10ram + 2ppm para determinação de distâncias de linhas de base, num raio de 30km.

Além do limite estabelecido acima, e em virtude do receptor só dispor de 1 (uma) frequência — L1 — a correção de efeitos ionosféricos não é completa.

2.2.) Rastreamento no Campo

Na realidade, as campanhas planejadas nem sempre tiveram os resultados esperados, pelos seguintes motivos:

2.2.1.) dificuldades de acesso às estações, durante a noite, causando atrasos no início do rastreamento.

2.2.2.) os vértices da rede de 1ª ordem do IBGE e de outras redes, às vezes encontram-se em condições não adequadas para uma boa recepção de sinais de satélites, devido a:

- obstruções de visibilidade acima de um ângulo de elevação de 15°, por árvores e outros obstáculos.
- torres de transmissão muito próximas e emissões de sinais.
- monumentos ao lado do vértice que provocam reflexos de sinais ou ocultamento do satélite.

Estes obstáculos resultaram nos chamados "Cycle Slips" e em ruídos de sinal que deveriam ser eliminados, posteriormente, na fase de processamento e, conseqüentemente, reduzindo a quantidade de observações disponíveis.

2.2.3.) em alguns casos, falta de comunicação entre as turmas de campo.

2.2.4.) falhas dos satélites.

2.2.5.) geometria da constelação de satélites não adequada, i.e., altos valores de PDOP e GDOP.

2.2.6.) quantidade de satélites imprópria devido ao encerramento da janela de observação.

Baseados nestas experiências, apresentamos as seguintes recomendações:

- se forem ocupados os vértices de redes existentes, que não ofereçam as condições necessárias de recepção de sinais, recomenda-se o uso de estações excêntricas, por exemplo, por determinação de elementos de centragem, mediante uma mira horizontal de invar, em relação aos marcos de azimute.

A comunicação entre as turmas de campo é uma necessidade vital, pois economiza baterias e memória do rastreador, podendo até resolver problemas de operação do rastreador.

2.2.7) quanto ao equipamento WM-101, vale mencionar:

- facilidade de operação, sendo que todos os operadores foram instruídos em pouco tempo, antes de iniciar as campanhas.
- receptor compacto e fácil de transportar. A bateria interna permite, no mínimo, 2,5 hs de rastreamento e, por isso, em muitos casos, pode ser dispensada a necessidade de uma bateria externa pesada.
- grande resistência do receptor contra chuva, umidade e choques. Numa das missões, um receptor sofreu uma queda durante seu transporte e, comprovando seu alto poder contra choque, voltou a funcionar normalmente. Oportuno salientar que um receptor trabalhou durante horas a fio sob intensa chuva.
- o posicionamento da antena, acima do marco, é muito preciso, graças ao sistema de centragem com prumo ótico, da WILD,

e um dispositivo de medição de altura da antena, torna muito mais fácil esta tarefa.

2.3.) Processamento de Dados

Logo em seguida às medições de campo, começou o processamento dos dados, através do programa PoPS (Post Processing Software), desenvolvido, em sua maior parte, pelo Instituto Astronômico da Universidade de Berna, Suíça. O programa PoPS processa-se em qualquer computador compatível com o IBM-PC (XT ou AT).

Os cálculos por PoPS são separados nos seguintes segmentos:

2.3.1.) Transferência de dados

Dados gravados, no campo, em fitas-cassete, transferidos para disco ou disquete do computador, mediante leitura de fitas-cassete da marca MEMTEC 5450 XL, ou transferidos diretamente do receptor.

2.3.2.) Fase de pré-processamento

Nesta fase, são, automaticamente, detectados e eliminados os "Cycle Slips".

Nas nossas campanhas, eram muitos os casos de observações repletas de "Cycle Slips", misturados com ruídos de dados de observações (altos resíduos de diferenças duplas). Nestes casos, fomos obrigados a eliminar estas deficiências e suprimir, completamente, as observações desse satélite, processo este demorado, que deve ser repetido várias vezes.

Realizando esta fase, conclui-se claramente:

- estações que não oferecem uma boa qualidade de recepção de sinais:

- aumentam o tempo necessário para o processamento de dados.

Recomenda-se escolher as estações de rastreamento e suas épocas com muito cuidado.

2.3.3.) Computação

Neste segmento, são resolvidas as ambigüidades e calculadas as coordenadas, as distâncias e os resíduos.

Aqui encontramos nossos maiores problemas:

A resolução de ambigüidades.

Devido aos insuficientes tempos de observação as grandes distâncias e, ainda, as eliminações de (já poucas) observações na fase de pré-processamento, em alguns casos não foi possível resolver todas as ambigüidades. (ver tabelas: Resultados).

No seu livro (5), pag. 285, o Prof. Seeber recomenda um período de observação entre 1 (uma) e até 3 (três) horas — em função da distância — para fins de resolver ambigüidades, por método geométrico.

Na mais recente publicação da Joan Yau (7), são feitas investigações sobre a resolução de ambigüidades, nas observações com receptores de duas frequências (L1 + L2).

Em resumo: 45 a 60 minutos de boa observação, são necessários e suficientes para resolver este problema, em distâncias acima de 100 km.

2.3.4.) Ajuste

Para ajuste de figuras fechadas, por exemplo, de um quadrilátero com diagonais, na campanha do IME, aplicamos o seguinte programa:

"Post-baseline Adjustment Program", do Prof. José Bittencourt de Andrade, da Universidade Federal do Paraná.

Provavelmente, devido aos problemas de resolução de ambigüidades, em alguns lados de figuras fechadas, encontramos erros de fechamentos de até 6 decímetros.

2.3.5.) Transformação

Nesta última fase de processamento, as coordenadas determinadas no sistema WGS 84 são transformadas em sistema SAD 69 - Datum Geodésico, adotado no Brasil.

Por determinação do Prof. G. Seeber, a orientação da rede nacional (em SAD 69) seria feita mediante o uso dos seguintes elementos:

- um ponto idêntico (a estação fixa).
- o paralelismo entre os eixos dos sistemas WGS e SAD 69.

Então, o procedimento foi adotado visando, sempre, os mesmos parâmetros de translação, em uso até início de 1988, no Brasil (7, Souto Fortes Blitzkow 1987). Os parâmetros de translação do WGS 72/84 para o SAD 69, usados nesta publicação, são os seguintes:

$$\begin{aligned} T_x &= 65,08\text{m} \\ T_y &= - 3,95\text{m} \\ T_z &= 37,63\text{m} \\ \text{Alturas geoidais} &= \text{variáveis} \end{aligned}$$

Ratificando, as três fases são:

2.3.5.1.) Antes do processamento e fora do PoPS

- transformar a altitude ortométrica, da estação fixa, em altitude elipsoidal (SAD 69)
- transformar as 3 coordenadas, em sistemas SAD 69, da estação fixa, em sistema WGS 72/84

2.3.5.2.) Durante a fase de computação pelo PoPS:

- introduzir as coordenadas calculadas, anteriormente, em sistema WGS 72/84 para a estação fixa
- calcular as coordenadas da rede GPS em sistema WGS 84

2.3.5.3.) Depois, no segmento de transformação pelo PoPS:

- transformar as coordenadas de todos os pontos da rede GPS, de WGS 84 para SAD 69
- transformar as altitudes elipsoidais (SAD 69) em altitudes ortométricas

É claro que este procedimento vale somente para áreas limitadas, onde não ocorram variações de alturas geoidais.

4) Conclusões

Terminados os cálculos, podemos chegar às seguintes conclusões:

- O posicionamento, por NAVSTAR/GPS, oferece às precisões necessárias para uma rede fundamental nacional (10 ppm), quando as exigências (quantidade de satélites, geometria de sua constelação e tempo suficiente de observações) sejam cumpridas. (6, Souto Fortes, Blitzkow, 1989).
- As determinações de coordenadas por GPS, para fins de apoio de campo, para diversos tipos de levantamentos, têm suficiente

precisão, com menos exigências para as observações, como no caso anterior.

5) Agradecimentos

O autor agradece muito aos colaboradores das campanhas de campo, sem os quais as observações não seriam realizadas.

Também estende seus agradecimentos à:

- IME, Rio de Janeiro
- USP-IAG, São Paulo
- AERODATA, Curitiba
- 2ª DL/DSG, Brasília
- IBGE, Rio de Janeiro
- PETROBRÁS-DEGEOD, Macaé, Rio de Janeiro
- PROSPEC, Petrópolis
- AEROSUL, Curitiba
- TERRAFOTO, São Paulo
- AEROFOTO CRUZEIRO, Rio de Janeiro

que possibilitaram o processamento das observações pelo programa PoPS, em suas instalações.

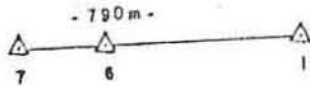
6) Referências Bibliográficas

- 1) AZEVEDO CAMPOS, M.
1º Relatório do Projeto Rastreamento com Receptores GPS, Curitiba, 1988
- 2) HOTHEM, L. D.
Summary Report on Test and Demonstration of the WM 101 GPS Satellite Surveying System and Processing Software.
FGCC - Federal Geodetic Control Committee Rockville, Maryland Febr. 1989.
- 3) IME - INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
Aplicações Práticas do Sistema de Posicionamento Global em Levantamentos de Redes Geodésicas, através da Trilateração Espacial, Rio de Janeiro, Dez. 1988.
- 4) SHERRER R.
The WM GPS Primer
WM Satellite Survey Company, Heerbrugg, 1987.
- 5) SEEBER G.
Satelliten- Geodaesie
Verlag de Gruyter, Berlin, 1989.
- 6) SOUTO FORTES L. P., BLITZKOW D.
Geodetic Positioning Experiments with NAVSTAR/GPS in Brazil
5th International Geodetic Symposium of Satellite Positioning, Las Cruces, Mar. 1989.
- 7) SOUTO FORTES L. P., BLITZKOW D.
As Alturas Geoidais Doppler e os Modelos de Grau Elevado do Potencial Gravitacional
Cadernos de Geociências nº 1, IBGE, 1987.
- 8) YAU J.
Investigations of WM 102 Dual Frequency Receiver and Pops L1/L2 Post-processing Software
WM-News, Heerbrugg, Mar. 1989.
- 9) WM 101 Technical Reference Manual
WM Satellite Survey Company, Torrance, Califórnia, 1987.
- 10) PoPS Post-Processing Software:
Manual Version 2.01
WM Satellite Survey Company, Nov. 1987.

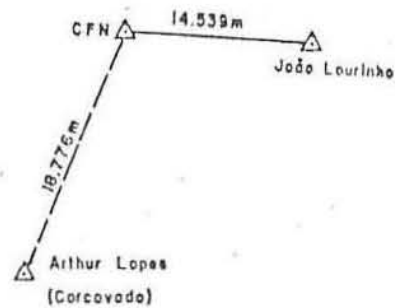
3.1-RESULTADOS

COMPARAÇÕES DE DISTÂNCIAS ELETRÔNICAS E DIFERENÇA DE NÍVEL

3.1.1 Linha de Calibração da Distanciômetros eletrônicos da UFPR, Curitiba.



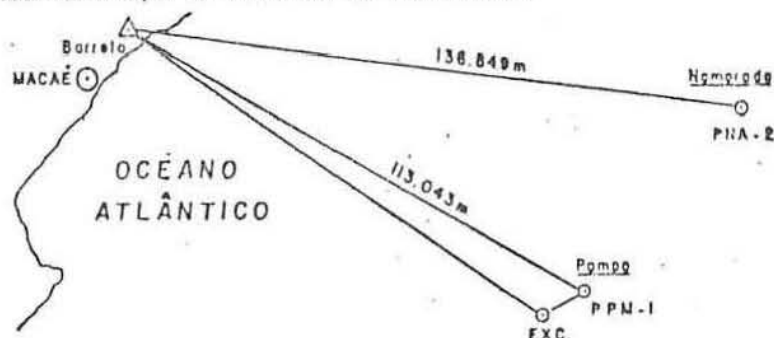
3.1.2-Rede de 1ª Ordem do IBGE, RJ.



Lado	Dia	Tempo de observação	Número de observação	PDOP		GDOP		Ambiguidades		GPS : Distâncias / Dif Nível m	GPS-Rede m
				Min	Max	Min	Max	Exist.	Res		
1 - 7	29.04	54	120	2,1	2,1	5,2	5,8	3	3	789,915±0,001	0,003
1 - 7	29.04	54	120	2,1	2,1	5,2	5,8	3	3	0,255±0,003	0,046
CFN-João Lourinho	28.05	70	305	1,4	2,1	2,8	8,3	6	6	14.538,971±0,001	0,011

Fontes: UFPR, IBGE

3.1.3-Determinação de Plataformas da PETROBRAS.



Estação	Dia	Épocas proce.	PDOP		GDOP		Distâncias GPS m	GPS-ARGO m	GPS-Trilat m
			Min	Max	Min	Max			
PNA-2	18.05	171	1,4	2,2	2,8	8,3	136.849,245±0,004	17,311	1,327
PPM-1	19.05	111	1,4	2,1	2,8	8,3	113.043,136±0,009	0,452	- 2,482
PPM-1/Exc	19.05	53	1,4	2,2	3,7	7,8	113.043,602±0,020	0,918	- 2,016

Fonte: PETROBRÁS-DEGEOD, MACAÉ-RJ

Observações:

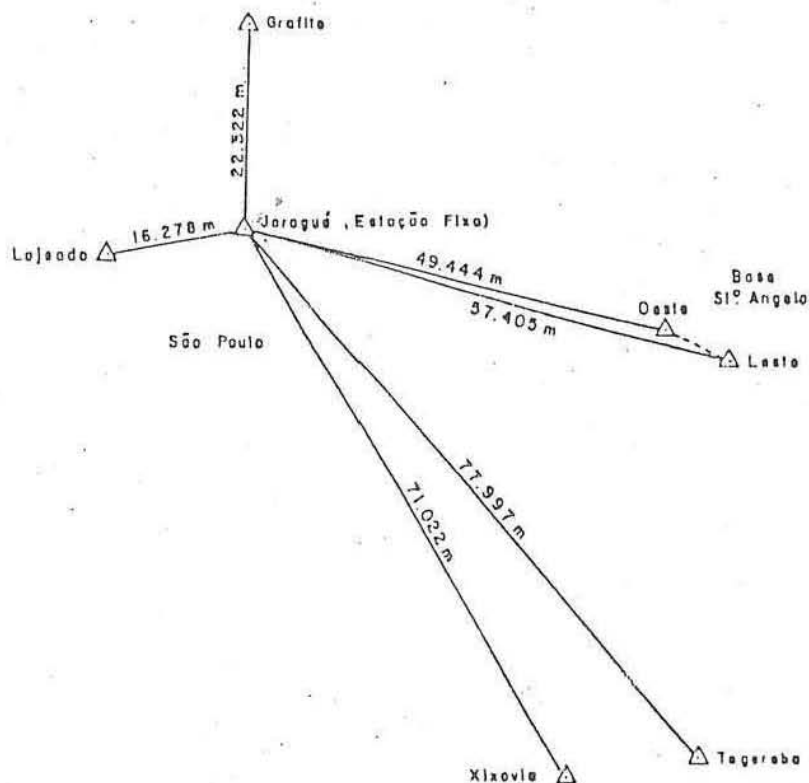
- 1) Foram eliminadas as observações do WM 101: abaixo de 30º do ângulo vertical.
- 2) Desvio padrão do posicionamento do ARGO: $\pm (10...15)$ m
- 3) Desvio padrão do posicionamento por Trilateração: $\pm (1,5.....2,5)$ m

3.2 - RESULTADOS

COMPARAÇÕES DE COORDENADAS (GPS - REDE)

REDE DA TRIANGULAÇÃO DE 1º ORDEM DO IBGE.

Região: São Paulo.



Estação fixa: Jaraguá

Estação	Dia	Tempo de observ. minutos	Número de observ.	PDOP		GDOP		Ambiguidades. Ex. Res.	GPS Distâncias m	GPS - Rede			
				Min	Max	Min	Max			Lat m	Lon m	Alt m	
Grafite	26.04	56	223	1,5	2,2	2,8	5,9	5	5	22.322,354 + 0,002	-0,188	-0,050	-0,067
Xixovia	27.04	41	68	1,7	2,2	4,3	5,9	2	0	71.022,403 + 0,196	-0,180	-1,736	0,045
Tegereba	27.04	46	51	2,1	2,2	5,2	5,3	2	2	77.996,605 + 0,079	-0,225	-1,818	-1,044
Stº Angelo Leste	28.04	41	88	2,1	2,6	4,8	5,1	4	2	57.404,596 + 0,009	-0,171	-0,057	1,507
Stº Angelo Oeste	28.04	40	101	1,4	2,2	2,8	4,5	4	3	49.443,846 + 0,011	-0,155	-0,093	1,566
Lajeado	28.04	39	77	2,1	2,4	5,2	5,3	3	0	16.278,307 + 0,042	0,022	0,189	-0,597

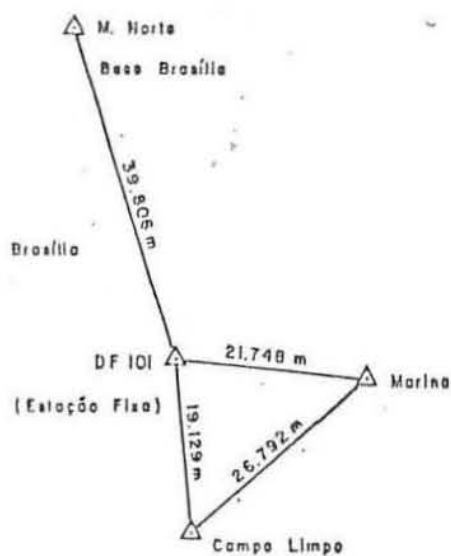
ver: (6) Souto Fortes L.P., Blitzkow D.

3.3 - RESULTADOS

COMPARAÇÕES DE COORDENADAS (GPS - REDE)

REDE DA TRIANGULAÇÃO DE 1ª ORDEM DO IBGE.

Região: Brasília.



Estação fixa: DF 101

Estação	Dia	Tempo de observ. minutos	Número de observação.	PDOP		GDOP		Ambiguidades - Ex. Res	GPS Distâncias m	GPS - Rede			
				Min	Max	Min	Max			Lat m	Lon m	Alt m	
Campo Limpo	11.05	59	265	1,4	1,7	3,3	5,7	5	3	19.129,444 +0,002	0,259	-0,529	1,298
Marina	12.05	50	205	2,0	2,2	3,1	5,7	4	4	21.748,016 +0,002	-1,073	1,023	4,784
H. Norte	12.05	25	102	1,4	1,7	3,3	5,7	5	4	39.806,102 +0,004	0,100	-0,075	1,560

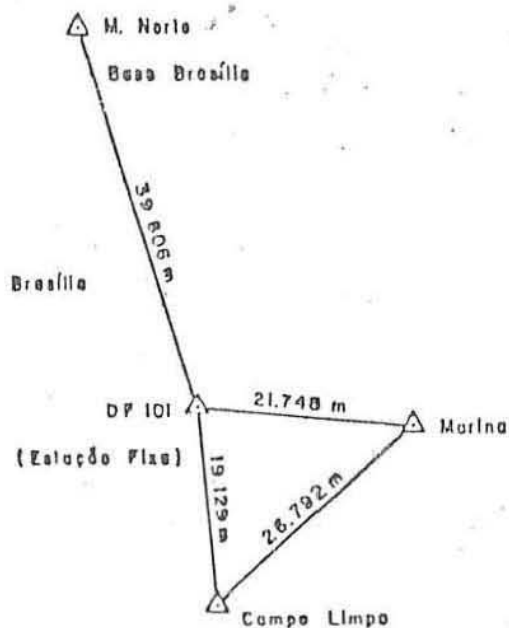
Observação:

Erros de fechamento do triângulo DF 101 - Campo Limpo - Marina:

$$[\Delta x] = 0,321 \text{ m}; [\Delta y] = 0,494 \text{ m}; [\Delta z] = 0,204 \text{ m}; \Delta s = 0,623 \text{ m}$$

3.4 - RESULTADOS
COMPARAÇÃO DE DISTÂNCIAS
GPS - TRANSIT (TRANSLOCAÇÃO)

Região: Brasília.



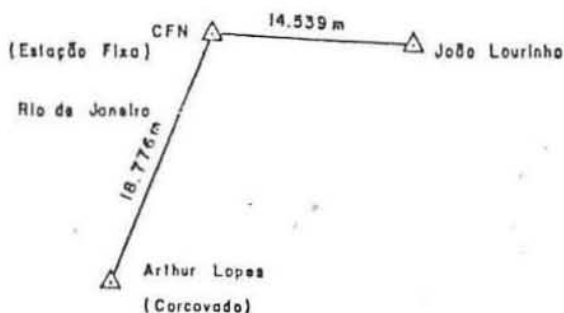
LADO	GPS WM 101	TRANSIT MX 1502	GPS- TRANSIT
	m	m	m
DF 101 - MARINHA	21.748,016	21.748,01	0,006
DF 101 - M NORTE	39.806,102	39.806,10	0,002
DF 101 - CAMPO LIMPO	19.129,444	19.129,52	-0,076
MARINHA- CAMPO LIMPO	26.791,622	26.792,06	-0,438

Fonte: 2ª DL/DSG, 1988

3.5 - RESULTADOS

3.5.1 - COMPARAÇÕES DE COORDENADAS (GPS - REDE)

REDE DA TRIANGULAÇÃO DE 1.º ORDEM DO IBGE - Região: Rio de Janeiro.



Estação fixa: CFN

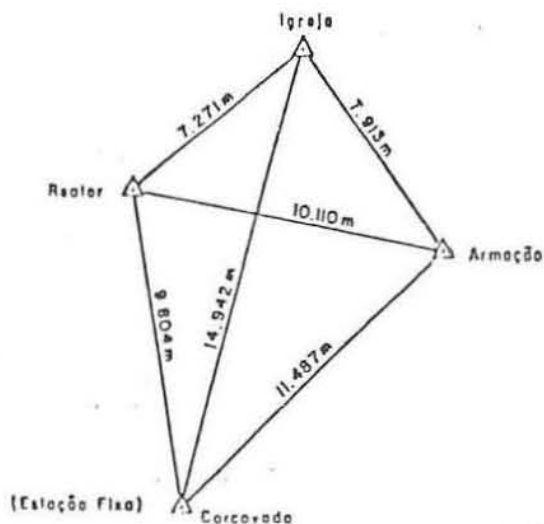
Estação	Dia	Tempo de observ. minutos	Número de observ.	PDOP		GDOP		Ambiguidades		GPS Distâncias m	GPS - Rede		
				Min	Max	Min	Max	Ex.	Res		Lat m	Lon m	Alt m
João Lourinho.	28.05	70	305	1,4	2,1	2,8	8,3	6	6	14.538,971 ± 0,001	-0,024	0,002	-0,130
Arthur Lopes (Corcovado)	28.05	65	122	2,2	2,5	5,2	5,4	3	3	18.776.631 ± 0,002	0,315	0,244	0,501

ver: (G) Souto Fortes L.P., Blitzkow D.

3.5.2 - AJUSTAMENTO DE REDE GEODÉSICA ATRAVÉS DE TRILATERAÇÃO ESPACIAL

PROJETO DE FIM DE CURSO DO IME.

Região: Rio de Janeiro.
Período: 06/05 - 18/06/1988



Fonte: (3) Projeto do IME.