

*Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia de Transportes
LTG - Laboratório de Topografia e Geodésia*



■ Sistema de ■ Posicionamento ■ Global - Princípios

STT 0616 – 2014



NAVSTAR/GPS

NAVigation System with Timing and Ranging/Global Positioning System.

- Sistema de posicionamento desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos. Fornece a posição e o tempo de modo instantâneo e contínuo sobre toda a superfície da Terra.

- Junção de dois programas:
 - TIMATION - Marinha
 - 621B - Força Aérea



Histórico do sistema

- Primeiros estudos: década de 60.
- GPS Joint Program Office (JPO) estabelecido pela USAF.
- Satélites protótipos (BLOCO I): 02/1978 - 1985 - total de 10 satélites.
- Satélites operacionais (BLOCO II): 02/1989. Produzidos pela Rockwell Space Division
- Satélites com aperfeiçoamento de memória (BLOCO IIA): 11/1990. Tempo de vida: 7,5 anos.



Histórico do sistema

- Total implementação dos 24 satélites: 1995
- Satélites de terceira geração (BLOCO IIR): 1989 - contrato com a Lockheed-Martin Astro-Space. O primeiro lançamento em 01/1997 falhou e o segundo ocorreu em 07/1997. Esta geração de satélites deve sustentar o sistema até cerca de 2005.
- Satélites de quarta geração (BLOCO IIF)
- : 1996 - contrato com a Boeing Space Division para a construção de 30 veículos espaciais mais modernos. Tendo em vista a vida útil de um satélite, a substituição total de uma nova geração demora de 7 a 8 anos.



Histórico do sistema

- Em 26 de setembro de 2005 foi lançado o primeiro satélite (PRN17) do Bloco IIR-M dispondo do código C/A na segunda frequência L5. Nos anos seguintes foram lançados mais 7 satélites IIR-M.
- Em 27 de maio de 2010 foi lançado o satélite 62 (SVN62), primeiro do Bloco IIF.



Situação do sistema GPS

GPS Constellation						
SV #	PRN #	CLOCK	LAUNCHED	USABLE	PLANE/SLOT	NOTES
TYPE: Block IIA						
23	32	Rb	11-26-90	2-26-08	E5	
24	24	Cs	7-4-91	12-21-09	D2-F	A
25	25		2-23-92	3-24-92		B
26	26	Rb	7-7-92	7-23-92	F2-F	C
27	27	Cs	9-9-92	9-30-92	A6	
39	09	Cs	6-26-93	7-20-93	A1	
34	04	Rb	10-26-93	11-22-93	D4	
36	06	Rb	3-10-94	3-28-94	C5	
33	03	Cs	3-28-96	4-9-96	C2	
40	10	Cs	7-16-96	8-15-96	E6	C
30	30	Cs	9-12-96	10-1-96	B9	
38	08	Cs	11-6-97	12-18-97	A3	D
TYPE: Block IIR						
43	13	Rb	7-23-97	1-31-98	F3	
46	11	Rb	10-7-99	1-3-00	D2	
51	20	Rb	5-11-00	6-1-00	E1	
44	28	Rb	7-16-00	8-17-00	B3	
41	14	Rb	11-10-00	12-10-00	F1	
54	18	Rb	1-30-01	2-15-01	E4	
56	16	Rb	1-29-03	2-18-03	B1	
45	21	Rb	3-31-03	4-12-03	D3	
47	22	Rb	12-21-03	12-1-04	E2	
59	19	Rb	3-20-04	4-5-04	C3	
60	23	Rb	6-23-04	7-9-04	F4	
61	02	Rb	11-6-04	11-22-04	D1	
TYPE: Block IIR-M						
53	17	Rb	9-26-05	12-16-05	C4	
52	31	Rb	9-25-06	10-12-06	A2	
58	12	Rb	11-17-06	12-13-06	B4	
55	15	Rb	10-17-07	10-31-07	F2	
57	29	Rb	12-20-07	1-2-08	C1	
48	07	Rb	3-15-08	3-24-08	A4	
49	01	Rb	3-24-09		B1-F	E
50	05	Rb	8-17-09	8-27-09	E3	
TYPE: Block IIF						
62	25	Rb	5-28-10		B2	F

Informação da GPS World



Estrutura do sistema GPS

- ***Segmento Espacial***
 - 27 satélites
 - 6 planos orbitais
 - 55° de inclinação dos planos orbitais em relação ao equador
 - 20.200 km de altura da superfície da Terra
 - 12 horas siderais de período
 - até 5 horas acima do horizonte

Estrutura do Sistema GPS



Satélite GPS

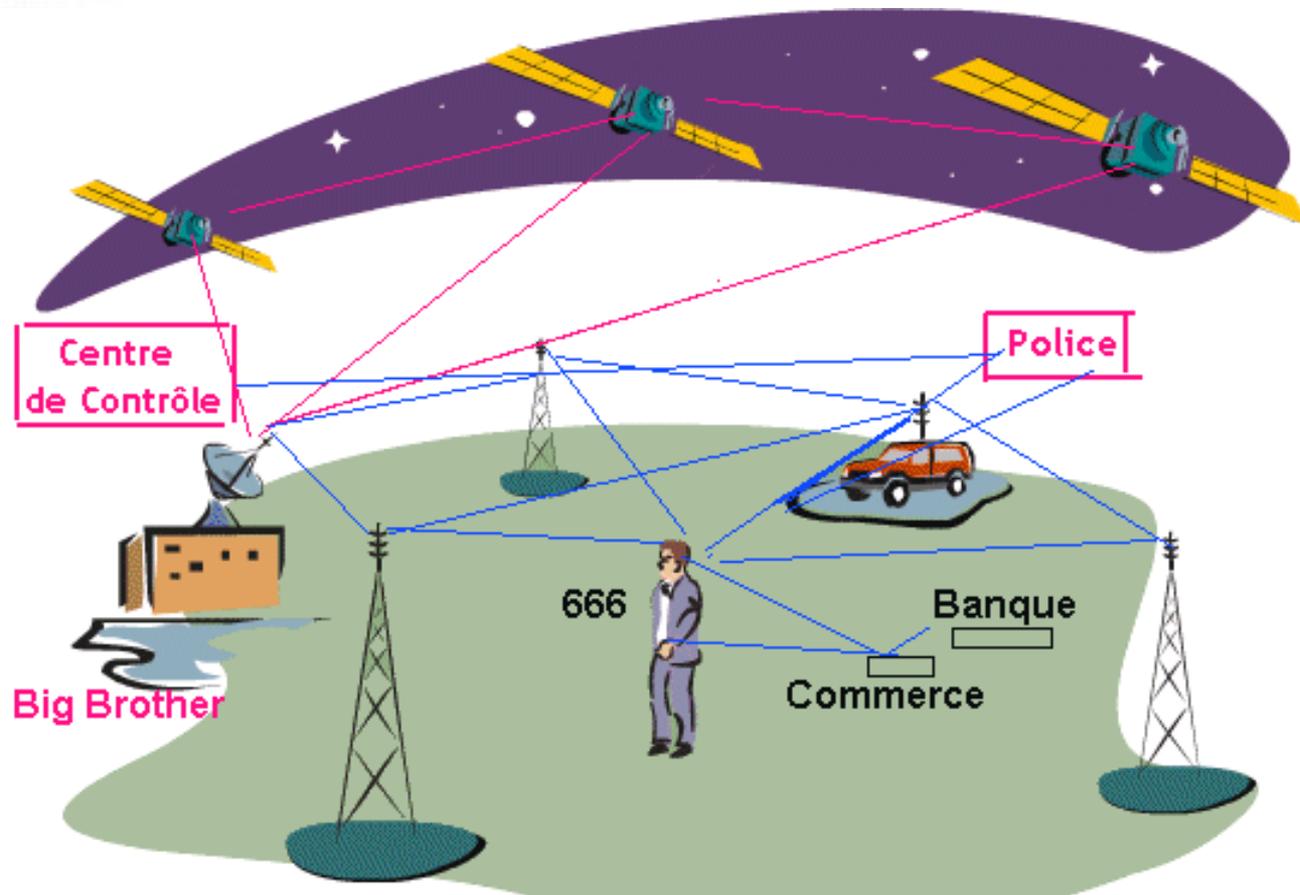




Estrutura do sistema GPS

- ***Segmento de controle***
 - Responsável pelo monitoramento do sistema de satélites e do tempo GPS, pela predição dos elementos orbitais e pela atualização periódica da mensagem de navegação.
- ***Segmento de usuários***
 - Posicionamento topográfico e geodésico; navegação aérea, marítima e terrestre.

Estrutura do sistema GPS





Sinais transmitidos

- **Portadoras com frequências distintas:**
 - $L1 = 154 \times 10,23 \text{ MHz} = 1575,42 \text{ MHz}$ (19,05 cm)
 - $L2 = 120 \times 10,23 \text{ MHz} = 1227,60 \text{ MHz}$ (24,45 cm)
 - $L5 = 1176,45 \text{ MHz}$ (25 cm)
 - Banda L1: 1563,42 - 1587,42 MHz
 - Banda L2: 1215,6 - 1239,6 MHz
 - Banda L5: 1164,45 – 1188,45 MHz
- **Códigos:**
 - C/A (Clear Access): usado na navegação em geral.
 - P (Precision): estrito ao uso militar.
 - L2C (Código C/A em L2)



Sinais transmitidos

Características do C/A:

- 1,023 MHz
- 1 MS
- 293,1 m
- Modulada em L1 e em breve em L2

Características do P:

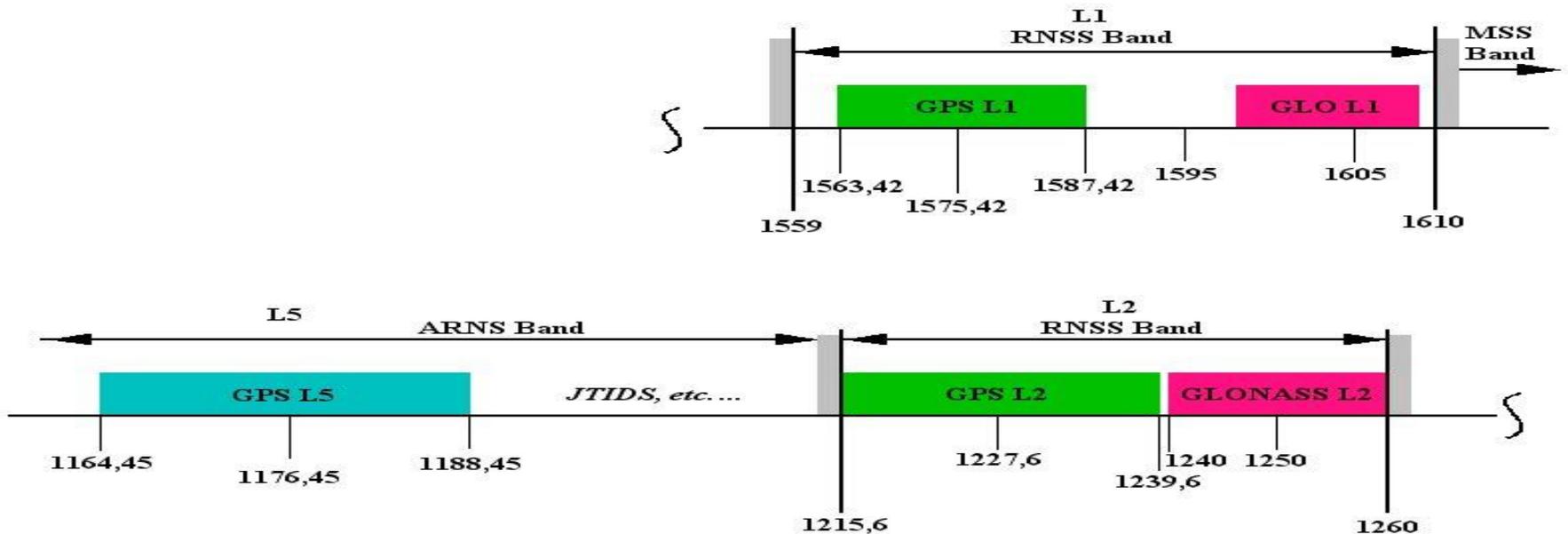
- 10,23 MHz
- 267 dias
- 29,31 m
- Modulada em L1 e L2

Dados: informações aos usuários



Bandas dos sinais GPS

- *RNSS - Radio Navigation Satellite Services*
- *ARNS - Aeronautical Radio Navigation Services*
 - Figura extraída de K. McDonald - GPS World, Set 99.





Sinais transmitidos

$$f = \frac{2\pi}{P} = \frac{d\varphi}{dt} \longrightarrow f - \text{frequência} \longrightarrow P - \text{período}$$

$$\longrightarrow 1 \text{ ciclo/seg} = 1 \text{ Hz}$$

$$\varphi = \int_{t_0}^t f dt \longrightarrow \varphi - \text{fase}$$

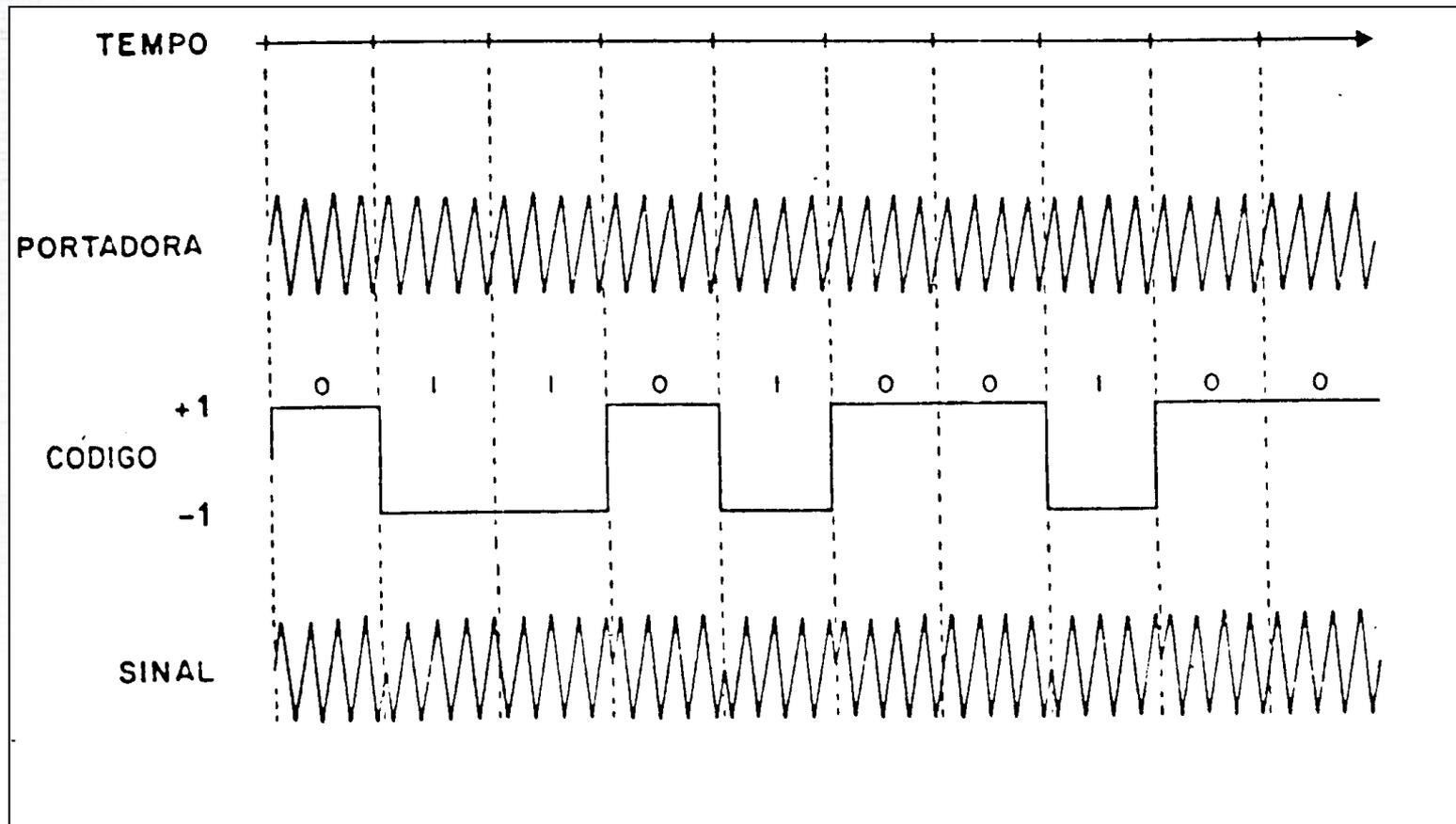


Sinais Transmitidos

- **Todos as informações sobrepostas às portadoras são moduladas em fase. No caso dos códigos C/A e P, modulados na primeira frequência, há uma defasagem entre eles: o código P é modulado na fase co-seno e o código C/A na fase seno. A vantagem é que a portadora pode ser obtida através de um dos códigos independente do outro.**



Modulação em fase





Equações dos sinais

$$L1(t) = A_p P_i \cos(\omega_1 t + f(t)) + A_g G_i(t) D_i(t) \sin(\omega_1 t + f(t))$$

$$L2(t) = B_p P_i(t) D_i(t) \cos(\omega_1 + f(t))$$

- A, B - amplitudes dos sinais
- P, G - códigos P e C/A respectivamente
- D - dados transmitidos



Tempo GPS

- O tempo GPS é controlado por 2 osciladores de césio e 2 de rubídio existentes nos satélites mais antigos. Atualmente há satélites com padrão de tempo a maser de hidrogênio.
- O tempo GPS nada mais é do que um sistema de tempo atômico.
- Origem inicial: 0 horas TUC do dia 6 de janeiro de 1980.
- Modo de contagem: é dado por duas variáveis: a semana GPS e o contador Z.



Tempo GPS

- Semana: teve início em 1980 e perdurou por 1023 semanas, até 1999. Às 0hs TUC de 21 de agosto de 1999 reiniciou em 0. Os receptores precisam reconhecer esta nova origem de contagem da semana.
- Contador Z: representa o número inteiro de 1,5 segundos de tempo decorridos desde o início da semana (0 hs de domingo). Varia de 0 a 403 199.



Distância estação/satélite - uso dos códigos

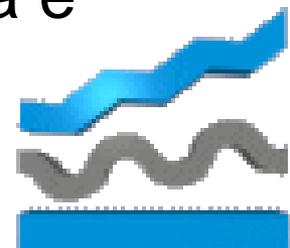
- ***Distância***

- $D_r^i = c \cdot \Delta t_r^i$
- c - velocidade da luz
- Δt_r^i - tempo de propagação do sinal entre o satélite i e a estação r - derivado através de um dos códigos C/A ou P.



Distância estação/satélite - uso dos códigos

- ***Erros sistemáticos envolvidos:***
 - Δt^i - erro de sincronização do relógio do satélite
 - Δt_r - erro de sincronização do relógio do receptor
 - Δt_A - erro devido à refração sofrida pelo sinal na passagem pela atmosfera (troposfera e ionosfera)





Distância estação/satélite - uso dos códigos

- ***Incógnitas envolvidas:***

- X_r, Y_r, Z_r - coordenadas da estação
- Δt_r - erro do relógio do receptor
- “Para se obter uma posição instantânea é necessário observar no mínimo 4 satélites, e com isso resolver 4 equações.”



Técnicas de Posicionamento com o GPS

- O posicionamento estático trouxe uma euforia inicial: precisão de centímetro em 1 a 2 horas.
- Objetivo posterior: resolver a ambigüidade rapidamente (minutos) ou até em movimento.
- Técnicas rápidas de posicionamento:
 - Rápido estático
 - Semi-cinemático
 - Cinemático

Posicionamento rápido com o GPS

- **Rápido estático**

- Duas alternativas:
 - ocupação simples da estação
 - reocupação da estação depois de cerca de 1 hora.
- No primeiro caso é necessário usar métodos rápidos de solução da ambigüidade.
- No segundo caso a estação deve ser reocupada depois de 50 a 120 minutos. Tempo de medições: 4 a 8 minutos. Não é necessário manter o rastreio durante o deslocamento. A interrupção é tratada como perda de ciclos.





Posicionamento rápido com o GPS

- ***Semi cinemático (stop and go)***
 - Resolver preliminarmente as ambigüidades e mantê-las. A sintonia a pelo menos 4 satélites deve ser mantida durante o movimento.
 - determinação de uma base inicial
 - curta observação numa base conhecida
 - troca das antenas
- ***Cinemático***
 - Aplicações: levantamentos aéreos, marítimos, terrestres, etc.



Posicionamento rápido com o GPS

- **Necessidade de resolver as ambigüidades sem ter que fazer um levantamento estático. Os dados do receptor fixo devem ser transmitidos ao móvel - 2000 bps.**
- **Métodos rápidos de solução da ambigüidade. O ideal é ter pelo menos 8 satélites.**
- **Técnica da banda extra larga**
- **Funções de pesquisa da ambigüidade**



Dilution of precision (DOP)





Dilution of precision (DOP)

Considerando que os vários DOPs estão em função das coordenadas dos satélites e da estação, eles podem ser preditos antes de qualquer observação ser realizada. Basta conhecer a distribuição dos satélites ao redor do horizonte e estimar as coordenadas da estação.

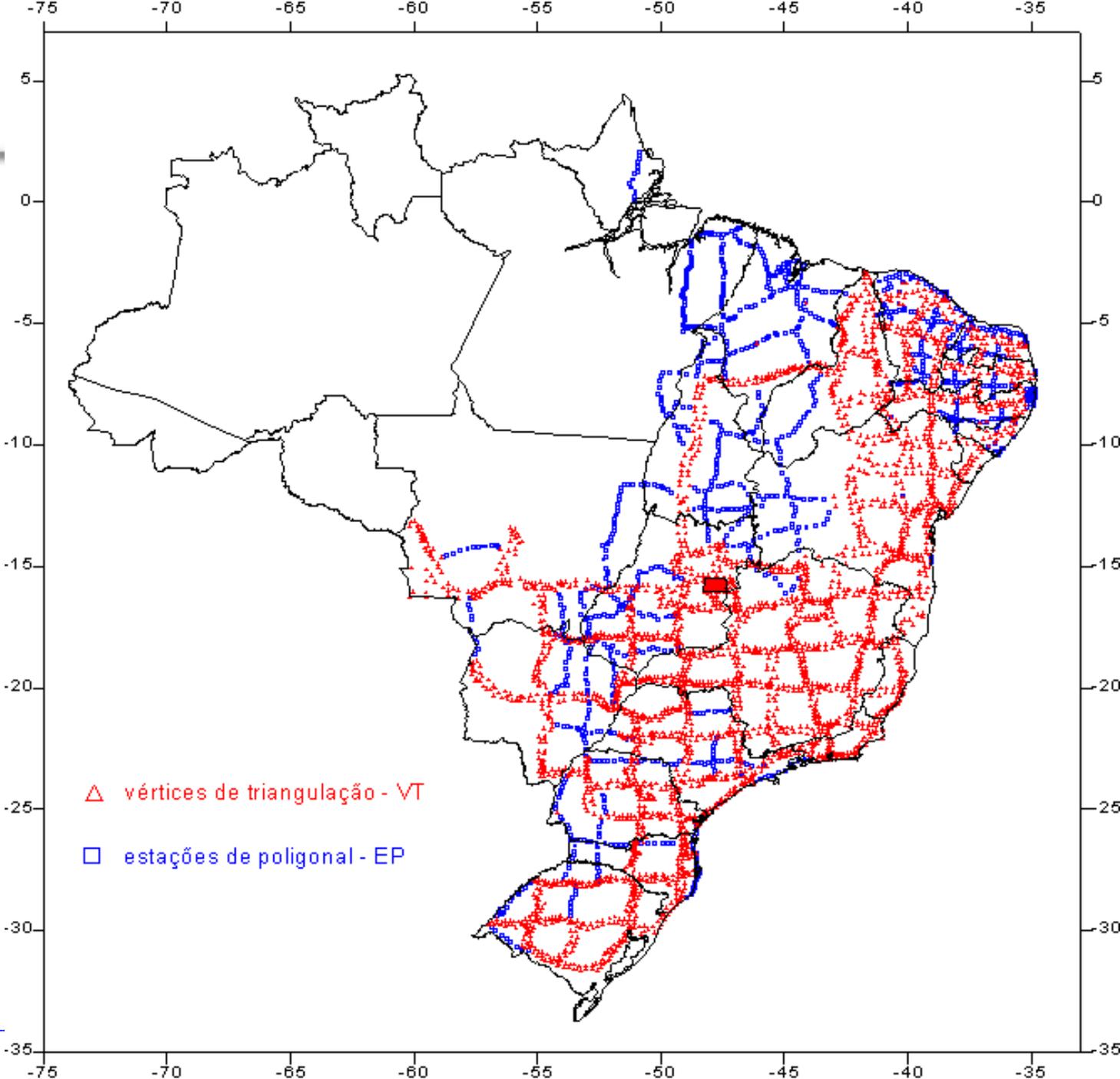


■ O Sistema Geodésico Brasileiro

Os métodos denominados clássicos (triangulação e poligonação geodésica), foram utilizados pelo IBGE até 1990.

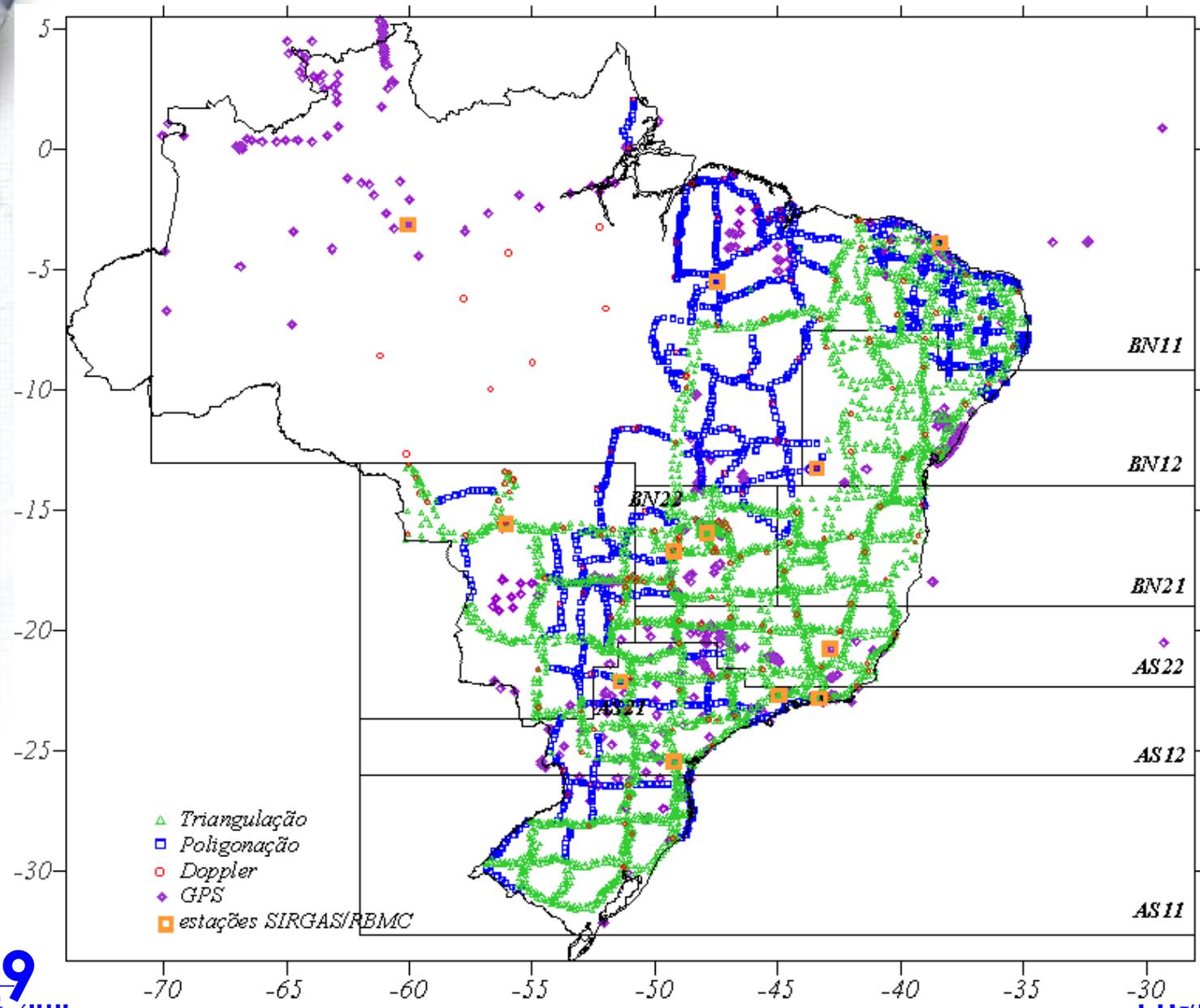
Partindo do princípio que o Sistema NAVSTAR/GPS, possibilita aliar rapidez e precisão muito superiores aos métodos clássicos de levantamentos.

A partir de 1991, o IBGE passou a empregar o Sistema GPS para a densificação da componente planimétrica do SGB, gerando a Rede Nacional GPS.





IBGE





■ A RBMC

É uma rede de estações GPS permanentes composta por 9 estações operadas diretamente pelo IBGE e 1 estação operada pelo INPE, sendo portanto, uma ferramenta suporte para utilização da tecnologia GPS no Brasil e o principal elo de ligação com os sistemas de referência internacionais.



■ Vantagens da RBMC

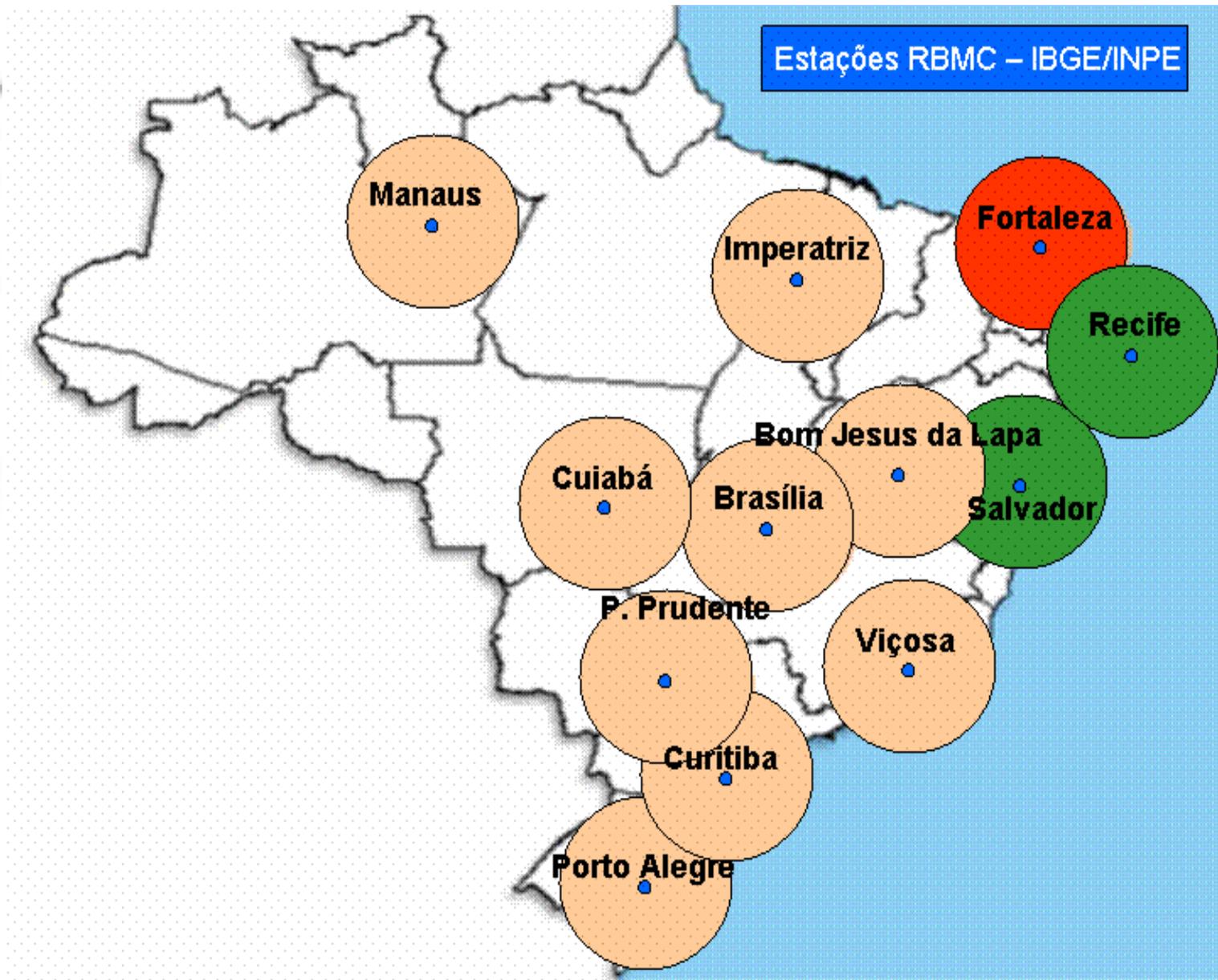
Em decorrência da permanente coleta de observações, ela permite o cálculo contínuo das coordenadas sobre a superfície terrestre, monitorando deste modo, as deformações da crosta terrestre.



■ Vantagens da RBMC

Possibilita a quantificação da variação temporal das coordenadas geográficas geodésicas do SGB, proporcionando, assim, um referencial atualizado aos usuários.

ESTACIONES RBMC



Estações RBMC – IBGE/INPE



D A D O S

R B M C

O IBGE mantém arquivos contendo os dados coletados de forma contínua e permanente. Cada arquivo é referente a um dia e para cada estação.

Diariamente todos os dados coletados pelas estações são transferidos automaticamente e disponibilizados aos usuários em formato RINEX.



■ O SIRGAS

O Projeto Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul (SIRGAS), foi desenvolvido sob coordenação do IBGE, com a participação de diversos países sul-americanos, tais como: Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Paraguai, Peru, Suriname, Uruguai, Venezuela e Ilhas coloniais.



I

R

E

C

S

R

G

A

S





■ Parâmetros

■ SAD-69 \Rightarrow SIRGAS

Em 1997 com os resultados do ajustamento da rede de referência SIRGAS, foi calculado um conjunto de parâmetros de transformação entre os sistemas SAD69 e SIRGAS.



■ Parâmetros

■ SAD-69 SIRGAS

Utilizando-se apenas 4 estações (Curitiba, Cachoeira Paulista, Brasília, Presidente Prudente), obtendo-se os seguintes resultados:

 Translação em X : 67.327 ± 0.036 m

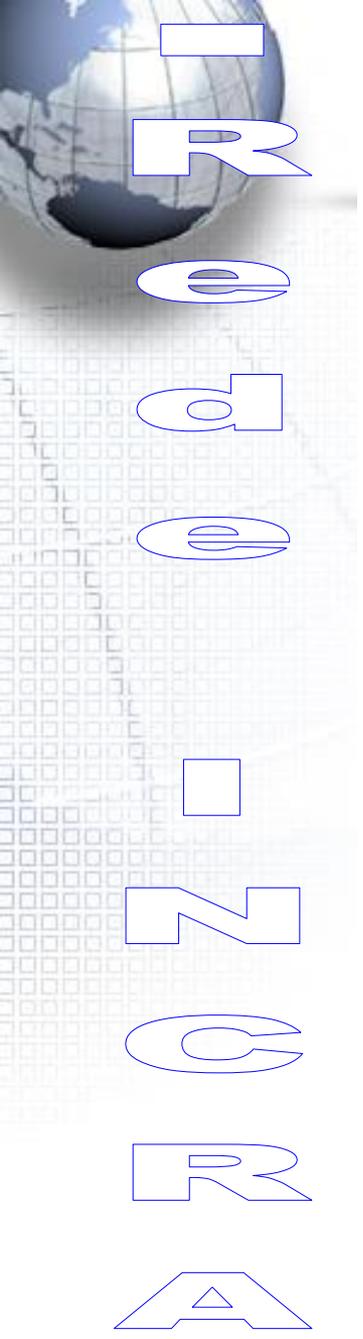
 Translação em Y : -3.899 ± 0.036 m

 Translação em Z : 38.292 ± 0.036 m

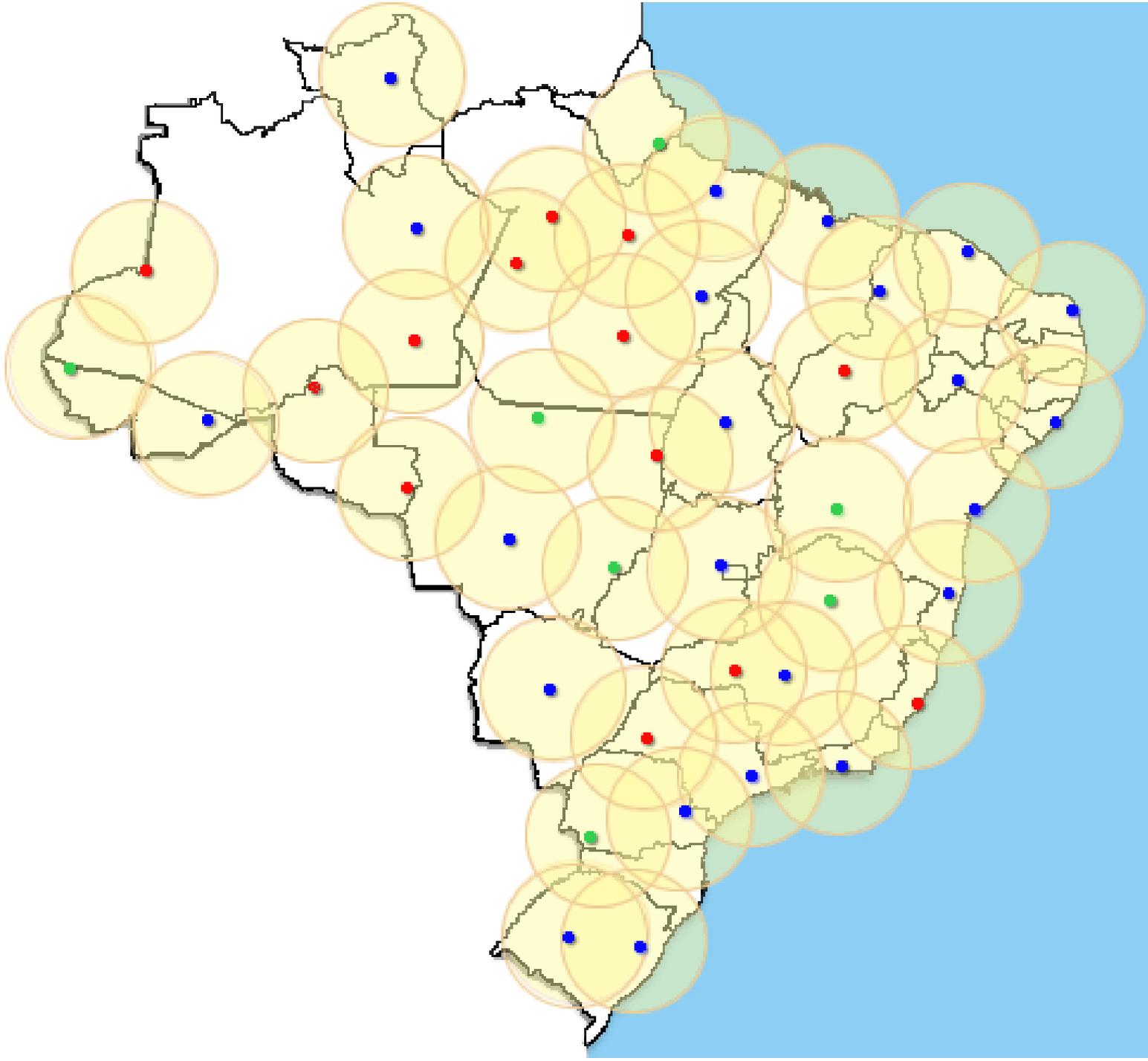


Segundo o IBGE, também em 1997 foi determinada uma rede geodésica continental de precisão científica e nela foram apoiadas as redes nacionais sul-americanas.

A integração entre a rede de referência SIRGAS e as redes existentes em outras regiões do planeta está garantida pela existência no continente de estações de operação contínua pertencentes à Rede Global do International GPS Service for Geodynamics (IGS).

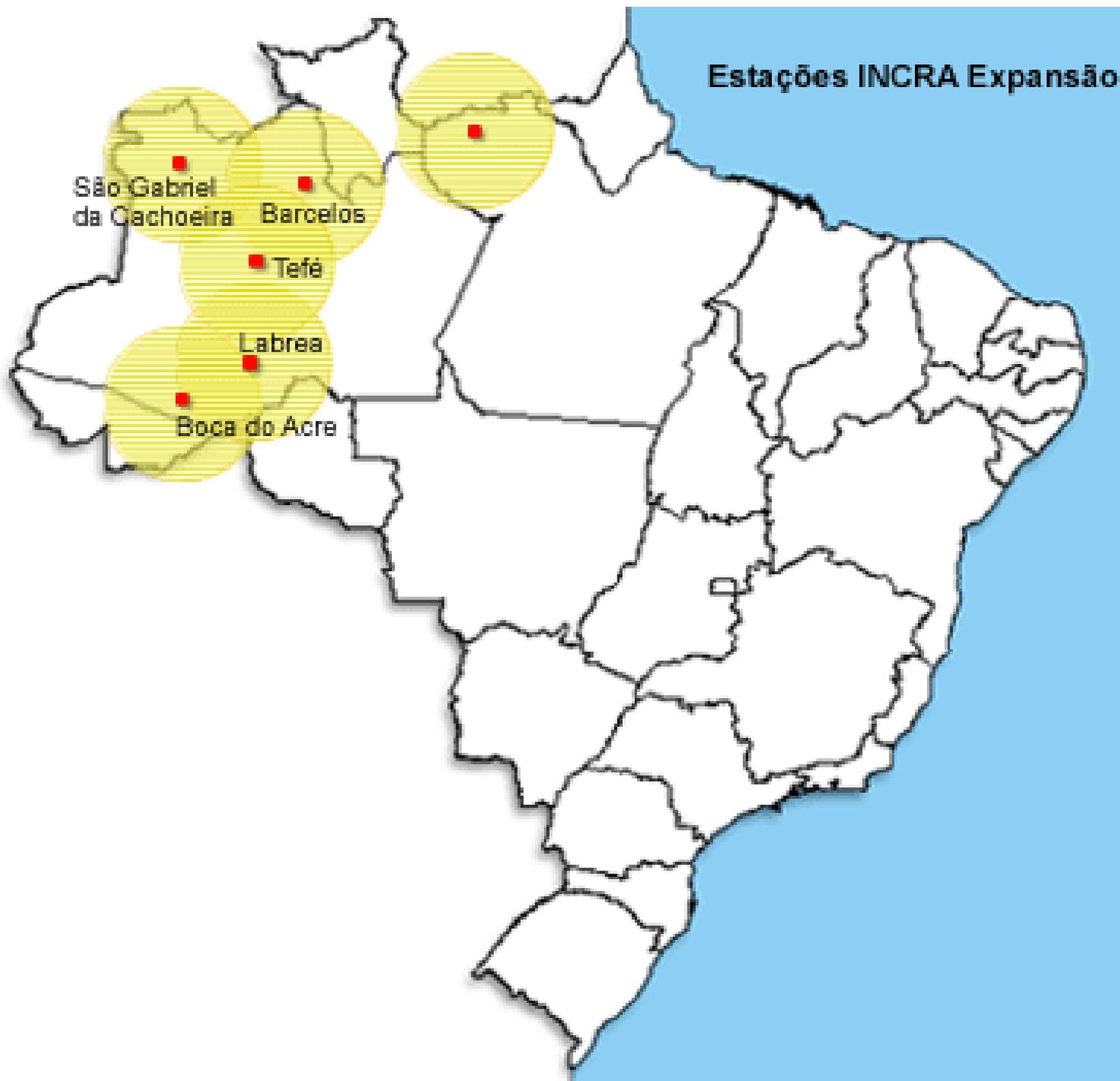


FRANZOSARI





FRANZ-OPRI



Estações INCRA Expansão

São Gabriel
da Cachoeira

Barcelos

Tefé

Labrea

Boca do Acre



Rede INCRA

■ A Rede INCRA de Bases Comunitárias do GPS - RIBaC é um conjunto de 44 (quarenta e quatro) estações de referência do GPS implantadas em diversos pontos do território brasileiro e tem o propósito de auxiliar a execução dos serviços de agrimensura desenvolvidos, direta ou indiretamente, pelo INCRA, quando utilizando esta tecnologia.



Rede INCRA

- **As estações estão localizadas em unidades próprias do INCRA e, através de acordos, em Universidades Federais ou Estaduais e em sedes de Órgãos e Empresas Públicas e Privadas.**



Rede INCRA



■ Brasília



■ Curitiba



■ Fortaleza



■ Teresina



Rede INCRA

- **Permite efetuar correção diferencial das observações coletadas pelos receptores de sinais do GPS, em qualquer dia, a qualquer hora, em diversos lugares do Brasil, por equipamentos que possuam esse recurso.**



Rede INCRA

- Por ser constituída por receptores de frequência única (L1) sua utilização, para correção de observações oriundas da fase da onda portadora, deve ser feita considerando-se a distancia máxima de linha de base recomendada pelo fabricante do aparelho receptor (em média 30 km).



Rede INCRA

- Para a correção de observações obtidas pelo código C/A recomenda-se a utilização de dados de estações de referência que estejam à uma distância inferior a 300 km do usuário.



INFORMAÇÕES MARRIENS





■ Redes estaduais

Até o ano de 1999 foram estabelecidas 04 (quatro) redes estaduais, através de convênios de cooperação técnica com:

- ↪ Universidade de São Paulo - USP, no estado de São Paulo em 1994;
- ↪ Instituto Ambiental do Paraná - IAP, no estado do Paraná em 1995;
- ↪ Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico para o Mercosul, no estado de Santa Catarina, em 1998.



□ Rede SP

- É uma rede tipicamente regional formada por 24 vértices, distribuídos pelo estado e mais o referencial geodésico brasileiro, VT-CHUÁ.



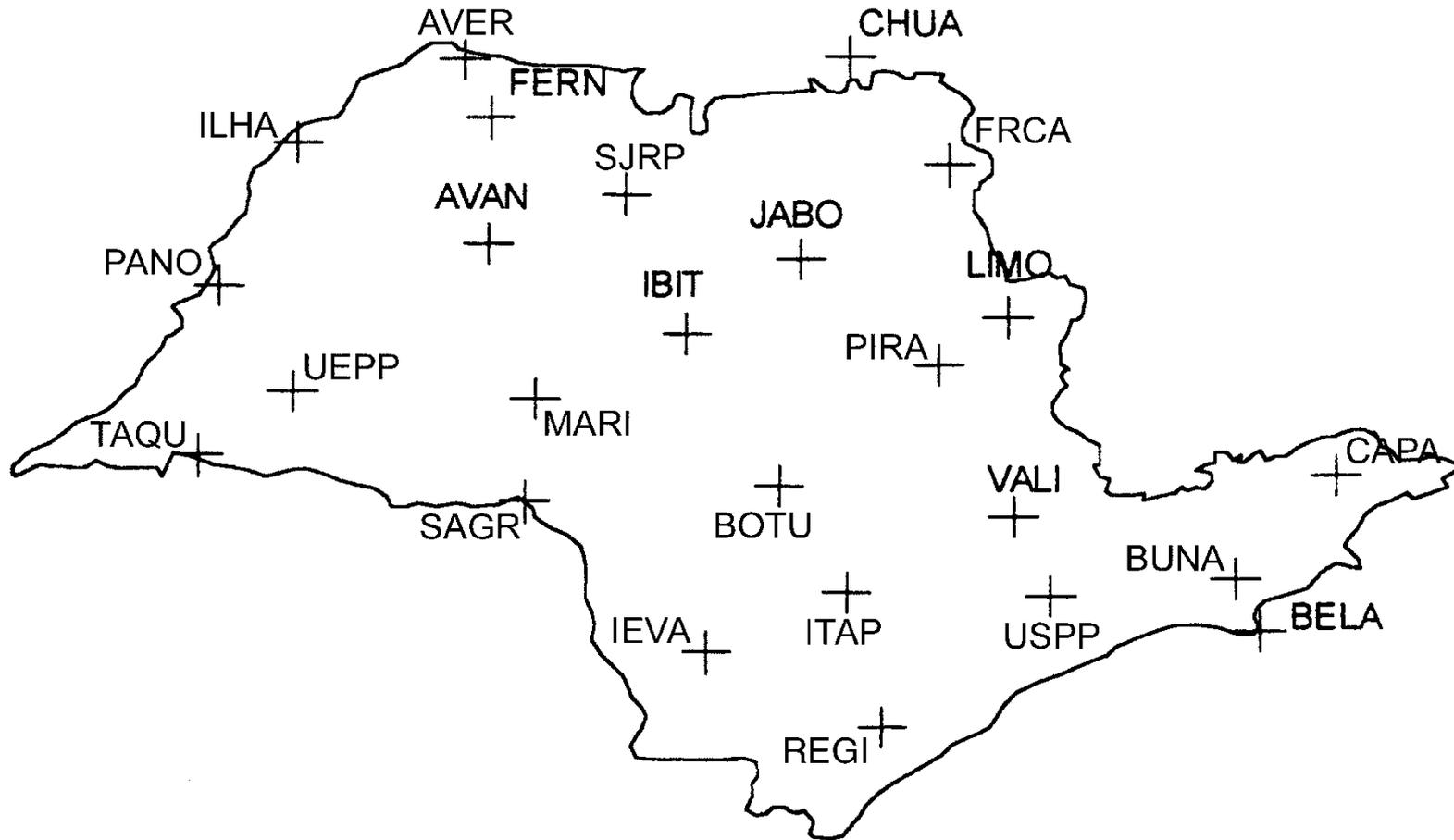
□ Rede SP

■ Esta rede foi escolhida, primeiramente, para ser implantada no estado de São Paulo, pelas seguintes razões:

- É uma região dinâmica, com variações rápidas na ocupação e uso do solo;
- Possui zonas de interesse ambiental;
- Grande potencial de usuários;
- Existência de universidades, empresas e organizações que poderiam ajudar na implantação do projeto.



I
R
e
d
e
s
P





IBGE

IBGE

IBGE

IBGE

IBGE

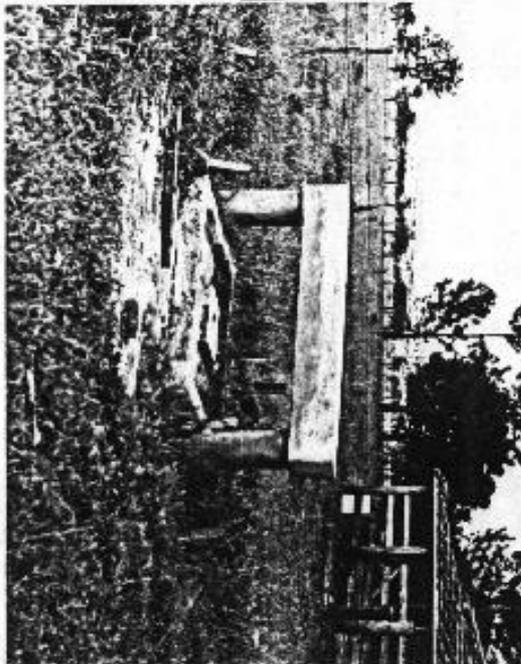
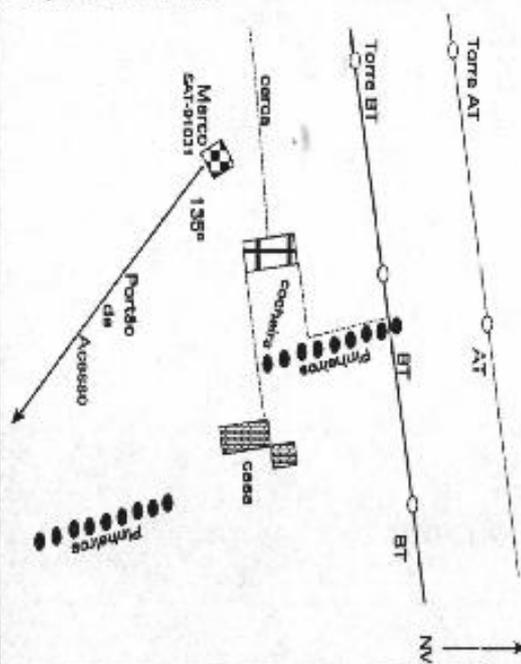
IBGE



EPUSP - ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
 PTR - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
 LTG - LABORATÓRIO DE TOPOGRAFIA E GEODÉSIA



VÉRTICE GEODÉSICO DA REDE GPS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Código do Ponto: 91031		Nome do Ponto: VT-CHUÁ		Município/UF: UBERABA/MG	
Coordenadas Geodésicas ①			Coordenadas UTM		
SAD - 89		WGS - 84	SAD - 89		WGS - 84
$\phi = -19^{\circ} 45' 41,65270''$	σ : INJUNÇÃO	$\phi = -19^{\circ} 45' 43,34588''$	N = 7812295,471 m	N = 7812251,730 m	
$\lambda = -48^{\circ} 06' 04,06390''$	σ : INJUNÇÃO	$\lambda = -48^{\circ} 06' 05,67317''$	E = 803792,792 m	E = 803743,924 m	
Alt. Geom. (h) = 763,2819 m σ : INJUNÇÃO		Alt. Geométrica (h) = 754,1502 m	Altura Ortométrica (H) = 762,9219 m		
<p>Localização: Às margens da BR-262, entre as cidades de Uberaba e Campo Florido, nas terras da Fazenda Providência, antiga Fazenda 2M, a aproximadamente 170m do leito da estrada.</p>		<p>Foto</p> 		<p>Croqui de Localização</p> 	
<p>Descrição: A estação é materializada por uma chapa metálica do CNG, sobre uma base de concreto. É circundada por uma caixa de proteção, por uma base adicional, ambas de concreto. É encimada por uma plataforma de concreto armado, fundida em duas pilastras de apoio, essa plataforma possui dispositivo de centragem forçada, padrão USP, com $\phi = 13,5$ mm, coincidente com a vertical do centro da estação e seu topo, dista 1,197m da chapa do CNG</p>					

① - Coordenadas Oficiais, divulgadas pelo IBGE
 h - Altimetria

Elaborado por LTG-EPUSP em maio/1996
 c:\assunto\trabalho\formulário\vertic_9.doc



I
R

e

d

e

s

P



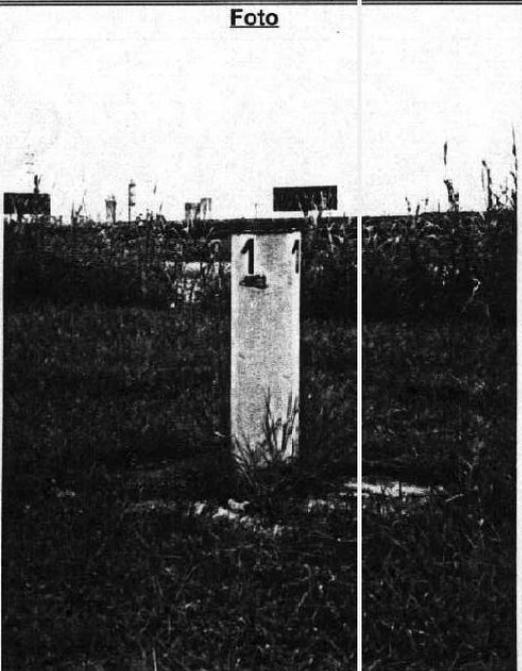
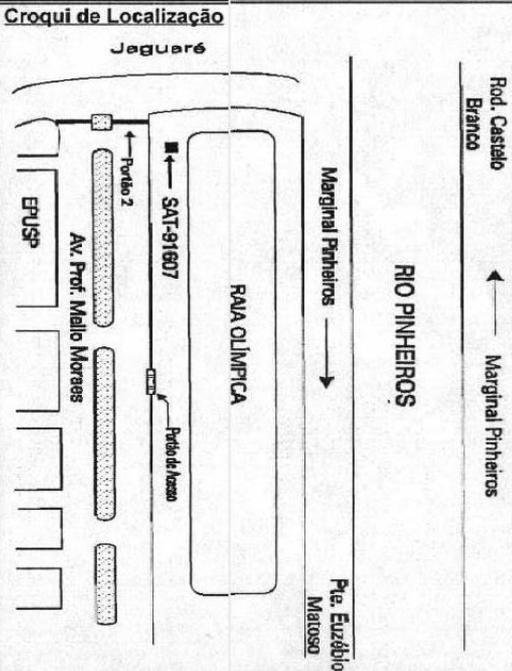
EPUSP - ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PTTR - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

LTG - LABORATÓRIO DE TOPOGRAFIA E GEODÉSIA



VÉRTICE GEODÉSICO DA REDE GPS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Código do Ponto: 91607		Nome do Ponto: PILAR 1 - USP		Município/UF: SÃO PAULO/SP	
Coordenadas Geodésicas ①			Coordenadas UTM		
SAD - 69		WGS - 84		SAD - 69	
WGS - 84		SAD - 69		WGS - 84	
$\phi = -23^{\circ} 33' 01,28744''$	$\sigma: \pm 0,0108 \text{ m}$	$\phi = -23^{\circ} 33' 03,05751''$	N = 7394477,889 m	N = 7394431,893 m	
$\lambda = -46^{\circ} 43' 52,04308''$	$\sigma: \pm 0,0385 \text{ m}$	$\lambda = -46^{\circ} 43' 53,65408''$	E = 323300,191 m	E = 323255,801 m	
Alt. Geom. (h) = 724,8403 m $\sigma: \pm 0,0228 \text{ m}$		Alt. Geométrica (h) = 718,2032 m		Altura Ortométrica (H) = - m	
<p>Localização: No campus da USP, Cidade Universitária, cerca de 10m do espelho d'água, na margem sul da raia de remo, a aproximadamente 90m da extremidade oeste da raia.</p> <p>UTM WGS-84 N 7394431.892 E 323255.801</p>		<p>Foto</p> 		<p>Croqui de Localização</p> 	
<p>Descrição: O marco é um pilar cilíndrico de concreto, fundido em uma base estável do mesmo material, possui 0,30m de diâmetro e afiora 1,12m. No topo tem uma chapa metálica com diâmetro similar ao do pilar, possui ainda, dispositivo de centragem forçada, padrão USP, $\phi = 13,5 \text{ mm}$, sua coloração é branca e tem o algarismo "1" pintado em seu corpo.</p>					

① - Coordenadas Ajustadas em maio/1996 - IBGE/DEGED

Elaborado por LTG-EPUSP em maio/1996
c:\usuario\trabalho\formula\vertice_p.doc