

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Diretoria de Geociências
Departamento de Geodésia

Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos

(Coletânea das Normas Vigentes)

XVII Congresso Brasileiro de Cartografia

Salvador, Bahia
Julho, Agosto/1995

Apresentação

O Departamento de Geodésia (DEGED) responsável pela implantação e manutenção do Sistema Geodésico Brasileiro - SGB, conforme o estabelecido no Decreto Lei nº 243/67, apresenta as especificações e normas técnicas, elaboradas com a finalidade de garantir a homogeneidade de procedimentos na condução dos levantamentos geodésicos em território nacional.

Identificação da documentação

Especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos

Destinam-se a regularizar a execução dos levantamentos geodésicos em território brasileiro, estabelecendo tolerâncias e critérios segundo os quais deverão ser conduzidos de maneira a serem aceitos como contribuição ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB).

A resolução da presidência do IBGE nº22 de 21-07-83 aprovou as Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos elaboradas pela Diretoria de Geodésia e Cartografia, posteriormente foi homologada como Norma Técnica da Cartografia Terrestre Nacional pela Comissão de Cartografia - COCAR em 14 de julho de 1983, e publicada no D.O.U. em 27 de julho de 1984

Parâmetros para Transformação de Sistemas Geodésicos

Em 27 de fevereiro de 1989 o D.O.U. publicou a alteração referente ao Apêndice II da Resolução da Presidência do IBGE nº22 de 21-07-83, relacionada a Parâmetros para Transformação.

Especificações e Normas Gerais para levantamentos GPS (Preliminares)

As Especificações e Normas Gerais para levantamentos GPS (Preliminares) foram aprovadas através da Resolução da Presidência do IBGE nº5 de 31-03-93, passando a complementar o Capítulo II das Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos, objeto da R.PR nº22 de 21-07-83.

Padronização de Marcos Geodésicos

As especificações para construção e implantação de marcos geodésicos em território nacional foram estabelecidas através da Norma de Serviço do Diretor de Geociências nº29 de 22 de setembro de 1988, passando a vigorar no âmbito do IBGE em 1 de janeiro de 1989.

Instrução de Serviço para Verificação da Realidade Física do Sistema Geodésico Brasileiro - SGB

A Instrução de Serviço para a Verificação da Realidade Física do SGB, foi estabelecida, preliminarmente, durante a VIII Reunião Técnica do Departamento de Geodésia, em dezembro de 1994.



Presidência

Do Presidente

Atos

RESOLUÇÃO — PR n.º 22, de 21-07-83.

Art. 1.º Ficam aprovadas, na forma do Anexo, as Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em território brasileiro.

Art. 2.º Ficam atribuídos à Diretoria de Geodésia e Cartografia os encargos pertinentes à expedição de instruções para o cumprimento desta Resolução e à adoção das providências para publicação e disseminação das Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos.

Art. 3.º Esta Resolução entra em vigor nesta data, revogadas as disposições em contrário.

ANEXO A R. PR n.º 22, de 21-07-83.

APRESENTAÇÃO

As Especificações e Normas Gerais destinam-se a regularizar a execução dos Levantamentos Geodésicos em território brasileiro, estabelecendo tolerâncias e critérios segundo os quais deverão ser conduzidos de maneira a serem aceitos como contribuição ao Sistema Geodésico Brasileiro.

Tais Especificações e Normas Gerais serão colocadas à disposição do público por intermédio do IBGE, atendendo assim, ao disposto no Capítulo VIII do Decreto-lei n.º 243, de 28 de fevereiro de 1967, que determina a competência da Instituição quanto aos levantamentos geodésicos.

As tolerâncias e recomendações delinearão-se a partir da revisão de "Ordens de Serviços Técnicos da Superintendência de Geodésia", da Diretoria de Geodésia e Cartografia — IBGE, acumuladas em mais de quarenta anos de atividades, atendidos os acordos internacionais dos quais o Brasil é signatário.

CAPÍTULO I

Considerações Gerais

1. INTRODUÇÃO

Classicamente a Geodésia tem sido definida, a partir de seus objetivos, como a ciência que se ocupa da determinação da forma, das dimensões e do campo gravitacional da Terra.

O problema geodésico, de natureza físico-geométrica, diante da colocação anterior e em primeira análise, pode ser tratado como o da definição de um sistema de coordenadas em que fiquem caracterizados os pontos descritores da superfície física da Terra (ou superfície topográfica).

O sistema de coordenadas associado à família de pontos descritores denomina-se **SISTEMA GEODÉSICO**, sendo necessária, para se atingir os objetivos da Geodésia, a sua extensão à toda superfície da Terra. Operacionalmente a definição de um Sistema Geodésico Mundial esbarra nas fronteiras políticas, obrigando-se ao recurso de subsistemas que poderão, ou não, vincular-se a outros mais abrangentes, embora seja desejável, cientificamente, a vinculação, ao menos, a nível continental.

2. O SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO — SGB

O Sistema Geodésico Brasileiro é definido a partir do conjunto de pontos geodésicos implantados na porção da superfície terrestre delimitada pelas fronteiras do país — pontos estes que são determinados por procedimentos operacionais e coordenadas calculadas, segundo modelos geodésicos de precisão compatível com as finalidades a que se destinam.

O Decreto-lei n.º 243, de 28 de fevereiro de 1967, que fixa as "Diretrizes e Bases para a Cartografia Brasileira", preceitua o estabelecimento de um sistema plano-altimétrico único de pontos geodésicos de controle, materializados no terreno, para servir de base ao desenvolvimento de trabalhos de natureza cartográfica, constituindo-se no referencial único para a determinação de coordenadas e altitudes em território brasileiro.

O conceito de Sistema Plano-Altimétrico Único, de pontos Geodésicos de controle, direcionado no dispositivo legal para fins cartográficos, confunde-se com o anteriormente emitido para o Sistema Geodésico.

2.1 — CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

Para o Sistema Geodésico Brasileiro, a imagem geométrica da Terra é definida pelo Elipsóide de Referência Internacional de 1967, aceito pela Assembléia Geral da Associação Geodésica Internacional que teve lugar em Lucerne, no ano de 1967. O referencial altimétrico coincide com a superfície equipotencial que contém o nível médio do mar, definido pelas observações maregráficas tomadas na baía de IMBITUBA, no litoral do Estado de Santa Catarina.

O Sistema Geodésico Brasileiro integra o Sul-Americano de 1969 (SAD-69), definido a partir dos parâmetros:

a — figura geométrica para a Terra;

— Elipsóide Internacional de 1967:

a (semi-eixo maior) = 6.378.160,000 m

f (achatamento) = 1/298,25

b — Orientação;

— Geocêntrica:

eixo de rotação paralelo ao eixo de rotação da Terra; plano meridiano origem paralelo ao plano meridiano de GREENWICH, como definido pelo BIH (Bureau International de l'Heure);

— Topocêntrica:

no vértice CHUÁ da cadeia de triangulação do paralelo 20.º S:

$\phi = 19.º 45' 41,6527''$ S

$\lambda = 48.º 06' 04,0639''$ W Gr

$\alpha = 271.º 30' 04,05''$ SWNE para VT-UBERABA

N = 0,0 m

O estabelecimento do Sistema Geodésico Brasileiro desenvolve-se tendo como objetivo contribuir para a solução do problema geodésico, sem, contudo, se descuidar dos aspectos aplicados, em que a preocupação maior é a referência para as atividades cartográficas. Os pontos geodésicos, subsidiariamente, suprem a comunidade técnica nacional das informações necessárias à condução dos assuntos públicos, principalmente as que permitem apoiar as grandes obras de engenharia tais como: sistemas de comunicação; transmissão de energia; barramentos para geração de energia ou abastecimento de água e titulação de propriedades, dentre outras não menos importantes.

3. LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS

3.1 — CONCEITOS

O estabelecimento do sistema geodésico se desenvolve a partir do conjunto de atividades que objetivam a definição das coordenadas (parâmetros) dos pontos integrantes do sistema. Denomina-se "Levantamentos Geodésicos" ao conjunto de atividades voltadas para as medições e observações de grandezas físicas e geométricas que conduzem à obtenção dos parâmetros.

A variabilidade dos resultados decorrentes dos processos de medição é propriedade bem conhecida dos profissionais que militam nas ciências experimentais. A repetição do processo de medição conduzirá a valores diversos para as medidas, sendo perfeitamente justificável a flutuabilidade dos resultados, diante da impossibilidade de se controlar as influências do meio que cerca a realização das medições, influências nem sempre atribuídas a agentes físicos.

O comportamento inconstante das observações define o caráter estatístico dos resultados, podendo ser considerado como sua principal propriedade. Classicamente se atribui as variações dos resultados aos erros de observação.

Para melhor se aquilatar as propriedades estatísticas das observações, torna-se necessária a repetição do processo de medição, com o registro de todas as condições físicas que o cercam, de modo a possibilitar, posteriormente, um julgamento adequado dos resultados.

A dispersão das observações em torno do valor verdadeiro — desvios no sentido estatístico — representa os efeitos do meio sobre as observações, distinguindo-se:

— efeito acidental (erro acidental);

— efeito sistemático (erro sistemático);

— engano (erro grosseiro).

Quando os desvios se apresentam com comportamento completamente aleatório, diz-se que as observações estiveram sujeitas aos efeitos acidentais — erros acidentais — sem qualquer possibilidade de controle e tradução matemática.

Apresentando-se os desvios com comportamento tendencioso nem sempre conhecido e dependente das circunstâncias que cercam o processo de medição, as observações são ditas eivadas de erros sistemáticos. As falhas operacionais no decurso do processo de medição dão origem às observações enganosas ou eivadas de erros grosseiros, identificadas a partir dos altos valores dos desvios.

A flutuabilidade dos resultados dos processos de medição decorre da existência dos efeitos anteriormente descritos. Na impossibilidade de se obter o valor verdadeiro para a grandeza em observação, buscam-se **CORREÇÕES** que conduzam ao valor mais provável das medidas. No processo de determinação das correções deverão ser, obrigatoriamente, eliminados os enganos, da mesma forma que é desejável a minimização dos efeitos sistemáticos.

Os analistas, diante da variabilidade dos resultados, sentem-se inseguros na utilização dos mesmos, tornando-se necessária a classificação das observações, para o que recorrem aos estimadores estatísticos a fim de expressarem a precisão e a exatidão. Estes estimadores são representados pelas variâncias das observações e dos parâmetros, denominando-se, classicamente, a raiz quadrada destes estimadores de erro médio ou erro padrão.

Convém observar, também, cuidados no emprego dos termos Precisão e Exatidão. A precisão expressa o grau de aderência das observações umas às outras. A exatidão expressa o grau de aderência do melhor valor para as observações em relação ao valor verdadeiro.

3.2 — CLASSIFICAÇÃO

Os Levantamentos Geodésicos se realizam segundo Especificações e Normas que procuram colimar a unicidade desejável para o Sistema Geodésico. Tradicionalmente, os levantamentos são classificados em ordens que expressam, em função da qualidade das observações, o grau de confiabilidade dos resultados finais. A terminologia clássica de primeira, segunda e terceira ordem foi mantida, em parte, no estabelecimento destas especificações, equivalente à nomenclatura que modernamente começa a se impor, por seu caráter mais representativo à luz da teoria

do ajustamento de observações geodésicas. As três classes enumeram-se:

- Levantamentos Geodésicos de Alta Precisão
- Levantamentos Geodésicos de Precisão
- Levantamentos Geodésicos para fins Topográficos.

Nesta classificação dos levantamentos geodésicos considera-se o escalonamento dos trabalhos a nível nacional, regional e local. Desta forma, estabelece-se uma ligação bastante rígida entre a exatidão das coordenadas finais e o âmbito dos levantamentos sem, contudo, abandonar a colimação de objetivos particularizados, como é o caso das aplicações ao nível das regiões metropolitanas.

Os levantamentos de alta precisão, de âmbito nacional, subdividem-se, segundo os fins aos quais se destinam em: científico e fundamental. O primeiro voltado ao atendimento de programas de pesquisas internacionais e o segundo ao estabelecimento de pontos primários no suporte aos trabalhos geodésicos de menor precisão e às aplicações em cartografia.

Os levantamentos de precisão, de âmbito regional, condicionam-se ao grau de desenvolvimento sócio-econômico. Quanto mais valorizado o solo na região, mais precisos deverão ser, e, em consequência, mais exatos os seus resultados.

Os levantamentos geodésicos para fins topográficos, de características locais, dirigem-se ao atendimento dos levantamentos no horizonte topográfico; correspondem aos critérios em que a exatidão prevalece sobre simplificações impostas para a figura da Terra.

O Quadro (I) — CLASSIFICAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS — resume as finalidades e características gerais dos levantamentos, segundo as classes anteriormente apresentadas e o âmbito de sua aplicação. O critério de maior relevância para a classificação, fora as finalidades, é a exatidão, que pode ser expressa:

- na planimetria, pelo erro padrão máximo admissível entre duas estações adjacentes;
- na altimetria, pela qualidade do fechamento de um circuito ou linhas, formada por duplo nivelamento, conectando estações de altitudes conhecidas;
- na gravimetria, a semelhança da altimetria, pela conexão de estações em que a aceleração da gravidade é conhecida.

QUADRO (I) — SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO
CLASSIFICAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS

LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS					
DE ALTA PRECISÃO ÂMBITO NACIONAL		DE PRECISÃO ÂMBITO REGIONAL		PARA FINS TOPOGRÁFICOS	
FINALIDADE	CIENTÍFICO	FUNDAMENTAL (OU DE 1.ª ORDEM)	PARA ÁREAS MAIS DESENVOLVIDAS (OU DE 2.ª ORDEM)	PARA ÁREAS MENOS DESENVOLVIDAS (OU DE 3.ª ORDEM)	LOCAL
		Dirigido ao atendimento de programas internacionais, de cunho científico, segundo normas específicas, acordadas caso a caso. Sua realização deverá ser sem prejuízo do fundamental, que terá precedência de utilização.	Pontos básicos para amarrações e controle de trabalhos geodésicos e cartográficos, desenvolvido segundo especificações internacionais, constituindo o sistema único de referência.	Dirigido ao atendimento das necessidades de uma região onde se desenvolvem atividades humanas intensas e, em consequência, existe uma valorização elevada do solo.	Dirigido às áreas remotas ou àquelas em que não se justificam investimentos imediatos e, sempre, em função da inexistência ou impossibilidade de se desenvolver levantamentos geodésicos de alta precisão.
PLANIMETRIA					
EXATIDÃO	Conforme as aplicações, sendo julgada caso a caso, mas devendo ser o erro padrão relativo de quaisquer duas estações melhor que 1:500.000 após o ajustamento.	Melhor que 1:100.000	Melhor que 1:50.000	Melhor que 1:20.000	Melhor que 1:5.000
DESENVOLVIMENTO	A estrutura será desenvolvida caso a caso, de acordo com as finalidades de cada projeto.	Arcos de meridianos e paralelos espaçados de 1.ª, estações com espaçamento desejável de 15 km e no máximo de 25 km. Nas áreas metropolitanas o espaçamento será função das características do processo de urbanização, com estações afastadas de, no máximo 5 km.	Em função da área a ser atendida, com estações espaçadas de 10 a 20 km. Nas áreas metropolitanas o espaçamento das estações deverá ser de até 5 km, tendo a configuração adaptada aos aspectos da urbanização.	Em função da área a ser atendida, com estações espaçadas de 10 a 20 km. Nas áreas metropolitanas o espaçamento das estações deverá ser limitado a 5 km.	Em função dos objetivos específicos a serem atingidos, com estações afastadas entre 5 a 10 km. Nas áreas metropolitanas o espaçamento das estações deverá ser de 0,5 a 2 km.
EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO	Pesquisas sobre a deriva continental; conexões de Sistemas Geodésicos; estudos e definição dos parâmetros para Sistemas Geodésicos.	Elaboração de cartas gerais; apoio e controle das obras de engenharia e estudos científicos em geral.	Elaboração de cartas gerais; controle e locação de projetos de engenharia.	Elaboração de cartas gerais; controle e locação de obras de engenharia.	Levantamentos e parcelamentos de áreas de pequeno valor; pequenas obras locais; elaboração de cartas gerais.

QUADRO (I — CONT.) — SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO
CLASSIFICAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS

ALTIMETRIA					
EXATIDÃO	Conforme as aplicações, sendo julgada caso a caso, mas devendo o erro padrão ser inferior a $2\text{mm} \sqrt{k}$ para cada duas RN após o ajustamento.	Melhor que $2\text{mm} \sqrt{k}$	Melhor que $3\text{mm} \sqrt{k}$	Melhor que $4\text{mm} \sqrt{k}$	Melhor que $6\text{mm} \sqrt{k}$
DESENVOLVIMENTO	A estrutura será desenvolvida caso a caso de acordo com as finalidades de cada projeto. Basicamente em circuitos e acompanhada de medições gravimétricas (nivelamento geopotencial).	Em circuitos com até 400km de perímetro e estações materializadas, afastadas de no máximo 3 km. Nas áreas metropolitanas dar-se-á preferência ao desenvolvimento em circuitos, em função da urbanização, com estações materializadas e espaçadas de, preferencialmente, 1 km.	Em circuitos com até 200km de perímetro e estações materializadas, afastadas de no máximo 3 km. Nas áreas metropolitanas dar-se-á preferência ao desenvolvimento em circuitos, com estações materializadas e afastadas de, preferencialmente, 1 km.	Em circuitos ou linhas, em função da área a ser atendida, com estações espaçadas de, no máximo, 3 km.	Em circuitos ou linhas, em função dos objetivos a serem atingidos pelos trabalhos.
EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO	Avaliação de movimentos da crosta terrestre; conexões de Sistemas Geodésicos; estudos e definição de parâmetros para os Sistemas Geodésicos; determinação de valores geopotenciais.	Elaboração de cartas gerais; apoio e controle das obras de engenharia e estudos científicos em geral.	Elaboração de cartas gerais; controle de obras de engenharia.	Elaboração de cartas gerais; controle de obras de engenharia.	Levantamentos e parcelamentos de áreas de pequeno valor; pequenas obras; estudos de drenagem e gradientes em áreas de topografia movimentada; elaboração de cartas gerais.
GRAVIMETRIA					
DE ALTA PRECISÃO ÂMBITO NACIONAL		DE PRECISÃO ÂMBITO REGIONAL		PARA FINS DETALHAMENTO	
FINALIDADE	CIENTÍFICO Dirigido ao atendimento de programas internacionais, de cunho científico, segundo normas específicas, acordadas caso a caso. Sua realização deverá se dar sem prejuízo do fundamental, que terá precedência de utilização.	FUNDAMENTAL (OU DE 1.º ORDEM) Pontos básicos para amarrações e controle de trabalhos geodésicos e geofísicos, implantados segundo especificações internacionais, constituindo o sistema único de referência ao IGSN-71.	REGIONAL (OU DE 2.º ORDEM) Dirigido ao desdobramento do fundamental, visando facilitar os trabalhos de detalhamento do campo gravitacional.	LOCAL Dirigido ao detalhamento de campo gravitacional.	
EXATIDÃO	Conforme as aplicações, sendo julgada caso a caso, mas devendo ser o erro padrão melhor que 0,05 mgal, para qualquer estação após o ajustamento.	Melhor que 0,05 mgal	Melhor que 0,1 mgal	Melhor que 0,3 mgal	
DESENVOLVIMENTO	A estrutura será desenvolvida caso a caso, de acordo com as finalidades de cada projeto.	Em circuitos com estações espaçadas de até 100 km, ou acesso para as medições com tempo inferior a 48 horas. As observações serão ajustadas a IGSN-71 e as estações deverão coincidir com as Referências de Nivel decorrentes dos levantamentos altimétricos de alta precisão e de precisão.	Em circuitos com estações espaçadas de até 30 km, com acesso para as medições com tempo inferior a 72 horas. Serão coincidentes preferencialmente, com as estações estabelecidas nos levantamentos altimétricos de alta precisão e de precisão.	Função dos objetivos específicos de cada projeto.	
EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO	Conexão de estações absolutas da rede mundial e estudos de escala nos levantamentos gravimétricos.	Estudos do campo gravitacional e estrutura da crosta terrestre; prospecção mineralógica; estudos de movimentos da crosta.	Estudos do campo gravitacional e estrutura da crosta terrestre; prospecção mineralógica; estudos de movimentos da crosta.	Estudos do campo gravitacional e estrutura da crosta terrestre; prospecção mineralógica; pesquisa de geodulções e desvio da vertical; determinação dos parâmetros definidores de um Sistema Geodésico.	

CAPÍTULO II

Especificações e Normas Gerais para
Execução de Levantamentos Geodésicos

1. INTRODUÇÃO

As Especificações e Normas Gerais abrangem os levantamentos planimétricos, altimétricos, gravimétricos e astronômicos, destacando-se, em cada um, os procedimentos usuais e consagrados, como por exemplo na planimetria serão especificados: a triangulação; a poligonização; a trilateração e o posicionamento por rastreamento de satélites (segundo o efeito DOPPLER).

As Especificações e Normas Gerais constituem elementos de orientação para se alcançar um determinado grau de exatidão, devendo-se julgá-las e aplicá-las em conjunto, para um dado procedimento. As Especificações representam as diretrizes que pautam a execução dos levantamentos geodésicos, recomendando-se a adoção das mesmas para todo e qualquer levantamento em território nacional, no sentido de garantir a vinculação destes ao Sistema Geodésico Brasileiro.

2. ESPECIFICAÇÕES E NORMAS GERAIS PARA
LEVANTAMENTOS PLANIMÉTRICOS

Os levantamentos de características fundamental desenvolver-se-ão ao longo dos arcos de paralelos e medianos, na forma de cadeias com amplitude de 1.º, sendo as estações integrantes distanciadas entre si de 15 a 25 km, no máximo. Nas áreas metropolitanas o espaçamento das cadeias será ditado pelo processo de urbanização, mantendo-se as estações afastadas de no máximo 5 km. Os pontos decorrentes destinam-se ao apoio cartográfico, ao suporte e controle das grandes obras de engenharia e aos estudos científicos em geral. Espera-se que o erro relativo máximo entre estações seja de 1/100.000.

Os levantamentos regionais serão desenvolvidos de acordo com a área a ser atendida, sendo usual as estações afastadas de 10 a 20 km. Nas regiões metropolitanas serão efetuados de modo a que o afastamento máximo entre estações seja de 5 km. Para as áreas mais desenvolvidas espera-se que o erro relativo máximo entre estações seja de 1/50.000, contrapondo-se nas áreas menos desenvolvidas 1/20.000. Tais levantamentos serão utilizados na elaboração de cartas gerais, na locação e controle de obras de engenharia, nos levantamentos e parcelamentos de áreas de grande e médio valor, dentre inúmeras outras aplicações.

Os levantamentos locais desenvolvem-se em função dos objetivos específicos a serem atingidos em cada obra, podendo-se dispor as estações com afastamentos que podem variar de 5 a 10 km. Nas regiões metropolitanas adotam-se o espaçamento de 0,5 a 2 km. Aplicam-se nos levantamentos e parcelamentos em áreas de médio e pequeno valor, e na locação e controle de obras de engenharia.

Nos levantamentos planimétricos serão utilizados os procedimentos de triangulação, trilateração, poligonização e rastreamento de satélites segundo o efeito DOPPLER. Os diversos processos poderão ser aplicados isoladamente ou em conjunto, mantendo-se, contudo, a precisão operacional exigida para cada um. Outros procedimentos para posicionamento planimétrico poderão vir a ser admitidos, desde que atendam às especificações mínimas necessárias e permitam alcançar a exatidão preconizada.

As determinações astronômicas serão utilizadas, subsidiariamente, na caracterização dos pontos de controle azimutal, pontos de LAPLACE, ou nos trabalhos de apoio à pesquisa do geóide; porém, as determinações efetuadas isoladamente não serão aceitas como contribuições ao Sistema Geodésico Brasileiro.

2.1 — ESPECIFICAÇÕES PARA TRIANGULAÇÃO

Entende-se por triangulação o procedimento em que se obtém figuras geométricas a partir de triângulos, justapostos ou sobrepostos, formados através da medição dos ângulos subtendidos por cada vértice. Ocasionalmente, alguns lados serão observados para controle de escala, sendo todos os demais calculados a partir das medidas angulares.

A triangulação é o mais antigo e utilizado processo de levantamento planimétrico, sendo, ainda hoje, o mais recomendado diante do baixo investimento em instrumental e equipamentos auxiliares.

O Quadro (II) apresenta as especificações que permitem a formação de cadeias de triângulos, enquadráveis nas diferentes classes de levantamentos geodésicos.

As especificações definem os critérios básicos para a formação das figuras, mantendo-se o conceito de rigidez como o mais aceitável para, a priori, se controlar e definir a qualidade do desenvolvimento triangular. Os valores lançados no quadro, modificam substancialmente aqueles adotados anteriormente — bem mais elásticos. Contudo, a experiência demonstra que estes são facilmente atingíveis, sem custos adicionais para

QUADRO (II) — SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO
ESPECIFICAÇÕES PARA TRIANGULAÇÃO

ÍTEM	LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS			
	De Alta Precisão	De Precisão		Para Fins Topográficos
	Fundamental	Áreas Mais Desenvolvidas	Áreas Menos Desenvolvidas	Local
1. ESPAÇAMENTO DOS VÉRTICES				
1.1 — Geral	15 — 25 km	10 — 20 km	10 — 20 km	5 — 10 km
1.2 — Regiões Metropolitanas	máximo de 5 km	2 — 5 km	2 — 5 km	0,5 — 2 km
2. FORMAÇÃO DAS FIGURAS (rigidez das figuras)				
2.1 — Conformação angular				
. desejável	60.º	60.º	60.º	60.º
. mínima	15.º	15.º	15.º	15.º
2.2 — R_1 entre bases (sometório)				
. limite desejável	30	60	60	120
. valor máximo aceitável	40	80	80	160
2.3 — R_1 para uma figura isolada				
. desejável	8	12	18	24
. valor máximo aceitável	16	24	24	48
2.4 — R_2 para uma figura isolada				
. desejável	15	30	60	120
. valor máximo aceitável	30	60	80	160
3. MEDIÇÃO ANGULAR HORIZONTAL				
3.1 — Método	das direções	das direções	das direções	das direções
3.2 — Instrumente (leitura direta)	$\leq 0,2''$	$\leq 0,2''$	$\leq 0,2''$ ou $\leq 1,0''$	$\leq 1,0''$
3.3 — Número de séries	2	2	1	1
3.4 — Intervalo de tempo entre séries (mínimo)	2 horas	2 horas	—	—
3.5 — Número de posições por série	16 PD 16 PI	16 PD 16 PI	8 PD ou 12 PD 8 PI ou 12 PI	4 PD 4 PI
3.6 — Limite de rejeição para uma posição em relação à média da série	4,0''	4,0''	5,0''	5,0''
3.7 — Número mínimo de posições, por série, após a rejeição	14 PD 14 PI	14 PD 14 PI	6 PD ou 10 PD 6 PI ou 10 PI	3 PD 3 PI
3.8 — Divergência máxima aceitável entre a primeira metade da série e a segunda	1,5''	1,5''	—	—
3.9 — Divergência máxima aceitável entre séries	1,0''	1,0''	—	—
4. CONTROLE DOS TRIÂNGULOS				
4.1 — Fechamento dos triângulos				
. A média dos fechamentos deverá ser inferior a	1,0''	1,2''	2,0''	5,0''
. Fechamento máximo aceitável para um triângulo plano isolado	3,0''	3,0''	5,0''	9,0''
4.2 — Equação aos lados				
. Nas equações de teste dos lados a correção média de uma direção não excederá a	0,3''	0,4''	0,6''	1,2''
5. CONTROLE AZIMUTAL				
5.1 — Espaçamento de figuras entre direções de controle	4 — 6	6 — 8	8 — 10	12 — 15
5.2 — Pontos de Laplace				
. Número de séries	2	2	1	1
. Número de posições por série	16 PD 16 PI	16 PD 16 PI	8 PD ou 12 PD 8 PI ou 12 PI	4 PD 4 PI
. Intervalo de tempo entre séries (mínimo)	4 horas	4 horas	—	—
. Valor máximo do erro padrão do azimute para a direção de controle	0,3''	0,3''	0,6''	1,0''
6. CONTROLE DE ESCALA				
6.1 — Espaçamento das bases, inserção de uma base sempre que o somatório de R_1 ultrapassar	30	60	60	120
6.2 — Valor máximo para o erro padrão relativo do lado tomado como base	1/1 000 000	1/1 000 000	1/750 000	1/250 000
7. MEDIÇÃO ANGULAR VERTICAL				
7.1 — Número de posições recíprocas e simultâneas	4 PD 4 PI	4 PD 4 PI	4 PD 4 PI	2 PD 2 PI
7.2 — Valor máximo para a diferença de uma posição em relação à média	10''	10''	10''	10''
7.3 — Número limite de figuras entre pontos de altitude conhecida	6 — 8	6 — 8	8 — 10	15 — 20
7.4 — Valor máximo para o erro de fechamento em pontos de altitude conhecida	0,5 m/estação	0,5 m/estação	1 m/estação	—
8. ERRO PADRÃO RELATIVO MÁXIMO ACEITÁVEL ENTRE QUAISQUER DUAS ESTAÇÕES APÓS O AJUSTAMENTO	1/100 000	1/50 000	1/20 000	1/5 000

a medição angular, embora seja necessário aumentar o número de bases envolvidas no controle da escala. Utilizar-se-á como figura básica o quadrilátero com duas diagonais observadas ou quadrilátero com um ponto central.

Para a medição angular apregoa-se o método das direções. Nos levantamentos de alta precisão e precisão, empregar-se-ão teodolitos com leitura direta menor que 1". Para os levantamentos de precisão, em áreas menos desenvolvidas, bem como para fins topográficos recomenda-se o emprego dos teodolitos com leitura direta de 1".

Nos levantamentos geodésicos de alta precisão e de precisão, em áreas mais desenvolvidas, recomenda-se a adoção de observação em duas séries de 32 pontarias (16 PD/16 PI) cada, espaçadas, no tempo, num intervalo mínimo de 2 horas, de modo a garantir o controle da refração lateral. Abandonar-se-ão as observações das séries cujas médias difiram de mais de 1". Para cada visada acionar-se-á o micrômetro duas vezes para coincidência, sendo ambas as leituras de calagem anotadas e aceitas as que apresentarem diferenças menores que 0,5" para os teodolitos de leitura direta igual ou menor que 0,2", ou diferenças menores que 3", para os teodolitos de leitura direta de 1".

O fechamento angular dos triângulos constitui um dos melhores controles para a qualidade da medição angular. Apresenta-se no Quadro (II) os valores de tolerância para a média dos fechamentos angulares. Recomenda-se a adoção do teste da equação aos lados, como elemento informativo e obrigatório no controle da qualidade dos ângulos. A correção média para uma direção observada, conseqüente da equação aos lados e em segundo de arco, será obtida utilizando-se a linearização logarítmica ou desenvolvimento em série, indistintamente. Os limites superiores para esta correção estão, também, caracterizados no Quadro (II).

Garantem-se os controles de orientação e escala através da introdução dos pontos de LAPLACE, ou azimutes de controle, e das bases. Quando o limite estipulado para a classe atingir o valor ΣR , será necessária a introdução de uma base, medida com um erro padrão compatível com a qualidade pretendida para o levantamento geodésico. Conforme as condições do terreno dever-se-á introduzir um azimute de controle, a espações regulares, preferencialmente coincidente com a base. O Quadro (II) apresenta as condições segundo as quais recorre-se aos controles.

Subsidiariamente, admite-se a determinação das altitudes dos vértices da triangulação, utilizando-se o procedimento do nivelamento trigonométrico ou geodésico, em que as observações de ângulos verticais se realizam de forma recíproca e simultânea.

2.2 — ESPECIFICAÇÕES PARA TRILATERAÇÃO

A trilateração é um processo de levantamento semelhante a triangulação, sendo que em lugar da formação dos triângulos a partir da medição dos ângulos, o levantamento será efetuado através da medição dos lados.

A evolução dos medidores eletrônicos de distâncias (MED), tornou a aplicação do procedimento prático e economicamente viável, podendo, em determinadas circunstâncias, oferecer melhores resultados que a triangulação ou a poligonação.

Anteriormente, a trilateração era considerada um procedimento fadado ao abandono, diante da exigência de figuras complexas para se atingir condições geométricas redundantes, além de utilizar grande número de azimutes de controle. Mais recentemente, demonstrou-se, através de testes conduzidos em diversos países, que a geometria do quadrilátero é suficiente para os levantamentos geodésicos em arcos. Os modernos medidores eletrônicos de distâncias eliminam o excesso de controle azimutal, sendo suficiente a mesma densidade utilizada na triangulação.

O Quadro (III) espelha as Especificações para Trilateração, enquadrando o procedimento nas diversas classes de levantamentos aqui definidos.

As especificações definem as condições mínimas para a formação de figuras, preferindo-se a configuração em quadros na manutenção da rigidez das cadeias; na impossibilidade, adotar-se-ão para os levantamentos de precisão, quadriláteros com ângulos superiores a 30.º e nunca inferiores a 25.º. O quadrilátero com um ponto central é a figura que reúne as melhores condições geométricas, embora sob o ponto de vista econômico, seja de custo mais elevado a utilização do sistema de quadriláteros com duas diagonais observadas. Independente da classe, para figuras com mais de quatro lados observados o ângulo mínimo deverá ser de 35.º. Não serão implantadas cadeias com triângulos justapostos; quando de todo não for possível evitá-las nos levantamentos locais, deve-se observar, ao menos, um ângulo em cada triângulo.

QUADRO (III) — SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO
ESPECIFICAÇÕES PARA TRILATERAÇÃO

ITEM	LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS			
	De Alta Precisão	De Precisão		Para Fins Topográficos
	Fundamental	Áreas mais Desenvolvidas	Áreas Menos Desenvolvidas	Local
1. ESPAÇAMENTO DOS VÉRTICES				
1.1 — Geral	15 — 25 km	10 — 20 km	10 — 20 km	5 — 10 km
1.2 — Regiões Metropolitanas	máximo de 5 km	2 — 5 km	2 — 5 km	0,5 — 2 km
2. FORMAÇÃO DAS FIGURAS				
2.1 — O ângulo mínimo aceitável será de	25.º	25.º	25.º	20.º
3. MEDIÇÃO DOS LADOS				
3.1 — O valor máximo para o erro padrão relativo da distância, após a compensação será de	1/1 000 000	1/750 000	1/500 000	1/150 000
3.2 — Número mínimo de séries de leituras recíprocas	2	2	2	2
3.3 — Intervalo mínimo de tempo entre leituras recíprocas	20 minutos	20 minutos	20 minutos	20 minutos
3.4 — Intervalo mínimo de tempo entre séries de leituras recíprocas	2 horas	2 horas	—	—
3.5 — Diferença máxima aceitável entre resultados de séries	15 mm + 1 ppm.D	15 mm + 1 ppm.D	15 mm + 1 ppm.D	10 mm
3.6 — Diferença máxima aceitável entre leituras recíprocas quando se observa uma única série	—	—	20 mm + 1 ppm.D	20 mm
3.7 — Instrumento com leitura direta de/ou equivalente a	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm
4. CONTROLE DA REFRAÇÃO ATMOSFÉRICA				
4.1 — Leitura estimada da temperatura	0,2.º C	0,2.º C	0,2.º C	0,2.º C
4.2 — Leitura estimada da pressão atmosférica	0,2 mm Hg	0,2 mm Hg	0,2 mm Hg	0,2 mm Hg
4.3 — Leituras recíprocas e simultâneas dos ângulos verticais envolvendo a medição de distâncias	Sim	Sim	Sim	—
5. CONTROLE AZIMUTAL				
5.1 — Espaçamento de figuras entre direções de controle	4 — 6	6 — 8	8 — 10	12 — 15
5.2 — Pontos de Laplace				
. Número de séries	2	2	1	1
. Número de posições por séries	16 PD 16 PI	16 PD 16 PI	8 PD ou 12 PD 8 PI ou 12 PI	4 PD 4 PI
. Intervalo de tempo entre séries (mínimo)	4 horas	4 horas	—	—
. Valor máximo do erro padrão ao azimute para o lado de controle	0,3"	0,3"	0,6"	3,0"
6. MEDIÇÃO ANGULAR VERTICAL				
6.1 — Número de posições recíprocas e simultâneas	4 PD 4 PI	4 PD 4 PI	4 PD 4 PI	2 PD 2 PI
6.2 — Valor máximo para a diferença de uma posição em relação à média	10"	10"	10"	10"
6.3 — Número de figuras entre pontos de altitudes conhecidas	6 — 8	6 — 8	8 — 10	15 — 20
6.4 — Valor máximo para o erro de fechamento em pontos de altitude conhecida	0,5 m/estação	0,5 m/estação	1 m/estação	—
7. ERRO PADRÃO RELATIVO MÁXIMO ACEITÁVEL ENTRE QUAISQUER DUAS ESTAÇÕES APÓS O AJUSTAMENTO	1/100 000	1/50 000	1/20 000	1/5 000

A medição de distâncias com equipamentos eletrônicos sujeita-se a uma série de incertezas, principalmente as decorrentes de eventuais falhas no funcionamento dos componentes eletrônicos, imprecisa calibração dos instrumentos, imprecisão na determinação dos parâmetros meteorológicos, imprecisão na determinação das altitudes e centragem dos instrumentos e/ou dos refletores. Tais fatores, bem como os procedimentos operacionais dos MED, devem ser apropriadamente considerados quando se comparar as observações com as especificações. Normalmente, os erros instrumentais, definidos pelos fabricantes, encontram-se expressos pela resultante de uma componente constante e outra variável, sendo esta traduzida em termos de um número inteiro de milionésimas partes da unidade de medida da distância observada, ou seja:

$$e_d = a \pm b \text{ ppm. } D$$

Cabe destacar que esta colocação dos fabricantes, embora se mostre válida em diversos testes, não se aplica irrestritamente. Na medição das distâncias longas a imprecisão na tomada das leituras meteorológicas e a conseqüente indefinição do índice de refração, acarreta erros no valor da distância observada que não estão considerados na formulação do fabricante. Nas distâncias curtas a centragem de instrumentos e refletores, da mesma forma que a definição das altitudes dos pontos extremos, são essenciais para se alcançar maior exatidão no valor da distância observada, não sendo, todavia, considerados na expressão dos erros instrumentais.

Os MED mais modernos são classificados em eletro-ópticos e eletromagnéticos, em função da fonte radiante, luminosa ou

emissora de radiofrequência, respectivamente. Com os eletro-ópticos cuja fonte radiante é um emissor laser, podem-se medir distâncias maiores que 100 km, enquanto para aqueles, cujo elemento radiante é infra-vermelho, o alcance máximo é limitado a 10 km. Nos eletromagnéticos em que o elemento radiante é transmissor na faixa das microondas, o alcance se estende a mais de 100 km.

Para os levantamentos de alta precisão, e de precisão, recomenda-se a medição da distância em duas ou mais séries de observações recíprocas, sob diferentes condições ambientais. As diferenças entre séries de observações não poderão exceder a 10 mm, para distâncias até 10 km, e a 15 mm mais uma parte por milhão da distância, quando esta exceder a 10 km. Quando do recurso a observações recíprocas em levantamentos de menor precisão, a diferença deverá ser inferior a 20 mm, para distâncias até 10 km.

Para linhas a partir de 20 km recomenda-se que as observações de ângulo vertical, recíprocas e simultâneas, se realizem antes e depois das medições de distâncias. Tal procedimento facilita o cálculo do índice de refração como forma de controle das leituras meteorológicas.

2.3 — ESPECIFICAÇÕES PARA POLIGONAÇÃO

Na poligonação medem-se ângulos e distâncias entre pontos adjacentes que formam linhas poligonais ou polígonos.

No quadro (IV) encontram-se as especificações para poligonação, destacando-se que a medição de ângulos é semelhante à adotada na triangulação e, a dos lados, na trilateração.

QUADRO (IV) — SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO
ESPECIFICAÇÕES PARA POLIGONAÇÃO

ITEM	LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS			
	De Alta Precisão	De Precisão		Para Fins Topográficos
	Fundamental	Áreas Mais Desenvolvidas	Áreas Menos Desenvolvidas	Local
1. ESPAÇAMENTO ENTRE ESTAÇÕES				
1.1 — Geral	15 — 25 km	10 — 20 km	10 — 20 km	5 — 10 km
1.2 — Regiões Metropolitanas	máximo de 5 km	2 — 5 km	2 — 5 km	0,5 — 2 km
2. MEDIÇÃO ANGULAR HORIZONTAL				
2.1 — Método	das direções	das direções	das direções	das direções
2.2 — Instrumento (leitura direta)	$\leq 0,2''$	$\leq 0,2''$	$\leq 0,2''$ ou $\leq 1,0''$	$\leq 1,0''$
2.3 — Número de séries	2	2	1	1
2.4 — Intervalo de tempo entre séries (mínimo)	2 horas	2 horas	—	—
2.5 — Número de posições por série	16 PD 16 PI	16 PD 16 PI	8 PD ou 12 PD 8 PI ou 12 PI	4 PD 4 PI
2.6 — Limite de rejeição para uma posição em relação à média da série	4,0''	4,0''	5,0''	5,0''
2.7 — Número mínimo de posições por série, após a rejeição	14 PD 14 PI	14 PD 14 PI	6 PD ou 10 PD 6 PD ou 10 PI	3 PD 3 PI
2.8 — Divergência máxima aceitável entre a primeira metade da série e a segunda	1,5''	1,5''	—	—
2.9 — Divergência máxima aceitável entre séries	1,0''	1,0''	—	—
3. MEDIÇÃO DOS LADOS				
3.1 — Número mínimo de séries de leituras recíprocas	2	2	1	1
3.2 — Intervalo mínimo de tempo entre leituras recíprocas	20 minutos	20 minutos	20 minutos	20 minutos
3.3 — Intervalo mínimo de tempo entre séries de leituras recíprocas	2 horas	2 horas	—	—
3.4 — Diferença máxima aceitável entre resultados de séries	15 mm + 1 ppm.D	15 mm + 1 ppm.D	15 mm + 1 ppm.D	10 mm
3.5 — Diferença máxima aceitável entre leituras recíprocas quando se observa uma única série	—	—	20 mm + 1 ppm.D	20 mm
4. CONTROLE DA REFRAÇÃO ATMOSFÉRICA				
4.1 — Leitura estimada da temperatura	0,2° C	0,2° C	0,2° C	0,2° C
4.2 — Leitura estimada da pressão atmosférica	0,2 mm Hg	0,2 mm Hg	0,2 mm Hg	0,2 mm Hg
4.3 — Leituras recíprocas e simultâneas dos ângulos verticais, envolvendo a medição de distâncias	Sim	Sim	Sim	—
5. CONTROLE AZIMUTAL				
5.1 — Espaçamento entre lados de controle	4 — 6	6 — 8	8 — 10	12 — 15
5.2 — Pontos de Laplace				
. Número de séries	2	2	1	1
. Número de posições por série	16 PD 16 PI	16 PD 16 PI	8 PD ou 12 PD 8 PI ou 12 PI	4 PD 4 PI
. Intervalo de tempo entre séries (mínimo)	4 horas	4 horas	—	—
. Valor máximo do erro padrão do azimute para a direção de controle	0,3''	0,3''	0,6''	3,0''
5.3 — Erro de fechamento em azimute, máximo permitido, entre direções de controle (N = número de estações)	0,8''/estação ou 1'' \sqrt{N}	2''/estação ou 3'' \sqrt{N}	3''/estação ou 6'' \sqrt{N}	8''/estação ou 20'' \sqrt{N}
6. MEDIÇÃO ANGULAR VERTICAL				
6.1 — Número de posições recíprocas e simultâneas	4 PD 4 PI	4 PD 4 PI	4 PD 4 PI	2 PD 2 PI
6.2 — Valor máximo para a diferença de uma posição em relação à média	10''	10''	10''	10''
6.3 — Número de lados entre pontos de altitude conhecida	6 — 8	6 — 8	8 — 10	15 — 20
6.4 — Valor máximo para o erro de fechamento em pontos de altitude conhecida	0,5 m/estação	0,5 m/estação	1 m/estação	—
7. FECHAMENTO EM COORDENADAS				
Valor máximo para o erro padrão em coordenadas após a compensação em azimute (L = comprimento da poligonal em km)	0,04 m \sqrt{L}	0,1 m \sqrt{L}	0,2 m \sqrt{L}	0,8 m \sqrt{L}
8. ERRO PADRÃO RELATIVO MÁXIMO ACEITÁVEL ENTRE QUAISQUER DUAS ESTAÇÕES APÓS O AJUSTAMENTO	1/100 000	1/50 000	1/20 000	1/5 000

O desenvolvimento poligonal ideal é o linear, adaptado a um meridiano ou paralelo, sem mudanças bruscas no sentido de progressão, escolhendo-se o intervalo 120° — 180° como básico para o ângulo poligonal ou de flexão. Sendo impossível a manutenção da direção, no ponto em que ocorrer a mudança, observar-se-á um azimute de controle, da mesma forma que em todos os pontos de interseção dos diferentes caminhos poligonais.

Sugere-se, na medição angular, a observação do ângulo interno e externo da poligonal que, para tanto, deverá ter utilizada metade das pontarias recomendadas nas séries para o interno e a remanescente para o externo, devendo a soma dos ângulos atender às tolerâncias:

- para os levantamentos de alta precisão: $360 \pm 3''$
- para os levantamentos de precisão em áreas mais desenvolvidas: $360 \pm 4''$
- para os levantamentos de precisão em áreas menos desenvolvidas e nos levantamentos locais: $360 \pm 5''$

O controle azimutal deverá ser rigorosamente observado, considerando que os desenvolvimentos poligonais tendem a se apresentar com grandes erros de orientação, o que recomenda a estreita observância dos limites fixados para os erros de fechamento em azimute, mantendo-se as tolerâncias preconizadas entre as direções de controle. No Quadro (IV) as tolerâncias apresentam-se com dupla notação, sendo expressas em termos da raiz quadrada do número de estações (N) para os desenvolvimentos longos, ou aqueles em que se exige grande exatidão no posicionamento relativo das estações.

2.4 — ESPECIFICAÇÕES PARA O POSICIONAMENTO COM O RASTREAMENTO DE SATÉLITES SEGUNDO O EFEITO DOPPLER.

O posicionamento geodésico com o emprego de georeceptores no rastreamento de satélites artificiais, recorrendo ao efeito DOPPLER, despontou ao início da década de setenta como um dos mais promissores procedimentos para realização de levantamentos geodésicos em áreas de difícil acesso. No momento utiliza-se o sistema do U.S. NAVY NAVIGATION SATELLITE SYSTEM (NNSS), algumas vezes referenciado na literatura como TRANSIT, composto de seis satélites, do tipo "OSCAR" e "NOVA", em órbita de forma circular e desenvolvimento polar, posicionados a uma altitude de aproximadamente 1.000 km, com um período de revolução na faixa de 107-109 minutos.

Os satélites operam com frequências portadoras de 150 e 400 MHz, moduladas em fase, e transmitem as seguintes informações:

- sinais horários;
- identificação do satélite;
- parâmetros de posicionamento orbital (efemérides).

TABELA (1)
SATÉLITES EM ÓRBITA

NOME	DENOMINAÇÃO SEGUNDO DIFERENTES ORGANISMOS		
	COSPAR	APL	DMA
OSCAR 11	77-106-A	30.110	93
OSCAR 13	67-048-A	30.130	59
OSCAR 14	70-092-A	30.140	60
OSCAR 19	70-067-A	30.190	68
OSCAR 20	73-081-A	30.200	77
NOVA	81-044-A	30.480	—

A definição de posições se dá segundo diferentes procedimentos, sendo usuais: o de posicionamento isolado, o de translocação e o dos arcos curtos ou multi-posicionamento.

Todos os procedimentos calcam-se em observações reduzidas a partir de um conjunto de efemérides definidoras e descritoras da órbita ou posições do gravitante. Distingue-se dois grupos de efemérides: as precisas e as operacionais.

Obtêm-se as efemérides operacionais, transmitidas pelos satélites, a partir de extrapolações realizadas com base em dados colhidos por uma malha de quatro estações, denominada OPNET-OPERACIONAL NET — situadas em território norte-americano (Havai, Califórnia, Minnesota e Maine). O cálculo dos parâmetros orbitais é realizado uma vez por dia, recorrendo-se a informações acumuladas em 36 horas de rastreamento, memorizadas a bordo dos satélites duas vezes por dia.

As efemérides operacionais vêm sendo calculadas, a partir de dezembro de 1975, na consideração do modelo geopotencial WGS-72 e com o referencial geométrico definido pelas quatro estações fixas. O Sistema assim formado é denominado NWL-10D.

Ocorre, com frequência, confusões em torno do referencial definidor das efemérides operacionais.

A combinação do modelo geopotencial WGS-72 e o NWL-10D é erroneamente denominado Sistema WGS-72, no sentido corrente da sigla. A confusão tem origem no fato de ser a superfície geométrica do WGS-72 ($a=6.378.135,000$ e $f=1/298,26$) utilizada, algumas vezes associada às efemérides operacionais. Não existe nenhum elipsóide formalmente associado com as efemérides operacionais.

Todos os satélites que integram o sistema são acompanhados pela rede TRANET, composta de 20 estações distribuídas ao longo do globo terrestre. As efemérides precisas são calculadas, para um ou dois satélites, utilizando-se informações colhidas em 48 horas de rastreamento, por todas as estações integrantes da malha.

A distribuição das efemérides precisas é controlada pelo DEFENSE MAPPING AGENCY — DMA — e repassadas somente a órgãos governamentais, sem qualquer conotação comercial. No Brasil as efemérides precisas são recebidas, na forma de fitas magnéticas compatíveis com o uso em computadores, pela FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA — IBGE.

O referencial para as efemérides precisas tem variado ao longo dos anos, em função do aprimoramento do modelo geopotencial e das coordenadas do conjunto de estações TRANET. No período de outubro de 1971 a junho de 1977 utilizou-se o referencial denominado NWL-9D, definido a partir do modelo geopotencial NWL-10E e o referencial geométrico definido pelas estações TRANET, conhecido como NWL-9D. A partir de junho de 1977 e até hoje, utiliza-se o referencial denominado NSWC-9Z-2, com modelo geopotencial NSWC-10F e referencial geométrico definido pelas estações TRANET. Na tabela (2), encontram-se, resumidas, as principais características dos referenciais.

TABELA (2)
COMPARAÇÃO ENTRE OS REFERENCIAIS
PARA EFEMÉRIDES

SISTEMA	MODELO GEOPOTENCIAL	CONJUNTO DE ESTAÇÕES	ELIPSÓIDE		PERÍODO DE USO
			a (m)	f	
EFEMÉRIDES PRECISAS					
NWL-9D	NWL-10E	NWL-9D (TRANET)	6.378.145,000	1/298,25	OUT/71 A JUN/77
NSWC-9Z-2	NSWC-10E-1	NSWC-9Z-2 (TRANET)	6.378.145,000	1/298,25	JUN/77
EFEMÉRIDES OPERACIONAIS					
APL-4.5	APL-4.5	APL-4.5 (OPNET)	6.378.135,000*	1/298,26	JUN/68 A DEZ/75
NWL-10-D	WGS-72	NWL-10D (OPNET)	6.378.135,000*	1/298,26	DEZ/75

* Nenhuma superfície geométrica está formalmente associada.

Os diferentes procedimentos para posicionamento tem seu emprego condicionado às aplicações particulares de cada usuário, destacando-se que nenhum deles é capaz de satisfazer a todo espectro de utilização, seja do ponto de vista operacional ou de precisão dos resultados.

No procedimento denominado POSICIONAMENTO ISOLADO, utiliza-se um único receptor DOPPLER. As observações são reduzidas a partir de um conjunto de efemérides, definidoras da posição do gravitante, possibilitando o cálculo da posição do centro elétrico da antena do receptor, no sistema de coordenadas terrestres do satélite. A posição calculada deverá ser reduzida ao Sistema Geodésico Brasileiro, utilizando-se o Mapa Geoidal e os parâmetros de transformação recomendados pelo IBGE. Como se distingue dois conjuntos de efemérides, os cálculos poderão ser conduzidos por um ou por outro, em função da confiabilidade e precisão dos resultados pretendidos pelo usuário.

A precisão resultante do emprego deste procedimento depende, basicamente:

- do tipo de efeméride;
- do modelo matemático empregado na redução das observações e cálculo final;
- da coleta de dados meteorológicos na estação;
- do número de passagens efetivamente aproveitadas no cálculo;
- da duração das passagens e
- da qualidade da recepção dos sinais transmitidos pelos satélites.

No procedimento denominado TRANSLOCAÇÃO, ocupam-se duas estações simultaneamente, sendo uma de coordenadas conhecidas e outra a ser determinada. Quando da utilização de efemérides operacionais, a aplicação das técnicas de correlação estatística, durante o processo de redução das observações, implementa a precisão do posicionamento relativo das estações, sendo, contudo, os resultados com efemérides precisas, mais confiáveis. O procedimento tem como principais fontes de erro as efemérides e a refração, tanto ionosférica quanto troposférica. O afastamento máximo das estações deverá ser de 500 km, preferencialmente menor, para se manter a possibilidade do rastreamento simultâneo de um mesmo satélite.

A principal vantagem da translocação sobre o posicionamento isolado é, conseqüentemente, sua maior precisão, decorre do fato de que, com as observações a partir de dois pontos, atenuam-se os efeitos dos erros inerentes aos parâmetros orbitais e a refração. Esta vantagem é melhor sentida quando as observações são simultâneas no tempo.

A precisão do emprego do procedimento depende:

- do tipo de efeméride;
- do modelo matemático empregado na redução das observações e cálculo final;
- do número de passagens efetivamente aproveitadas;
- da simultaneidade das observações, e
- da qualidade da recepção dos sinais transmitidos pelos satélites.

No procedimento dos ARCOS CURTOS utiliza-se três ou mais rastreadores em diferentes estações, operando simultaneamente. Neste procedimento o conhecimento das efemérides é irrelevante, uma vez que no processo de cálculo determinam-se os parâmetros orbitais ao mesmo tempo em que se procede ao cálculo das coordenadas das estações. No mínimo, duas estações deverão ter coordenadas referidas ao Sistema Geodésico Brasileiro, para que ao término dos cálculos todas as estações fiquem determinadas neste Sistema. O modelo matemático utilizado na obtenção dos parâmetros orbitais condiciona a precisão alcançada com o procedimento.

O Posicionamento Isolado é o procedimento menos preciso, principalmente quando se recorre às efemérides transmitidas no processo de cálculo. A Translocação e o Multi-posicionamento são os procedimentos recomendados quando não se dispõe de efemérides precisas, embora as operações de campo e de cálculo sejam mais complexas.

Quando for necessária grande exatidão, as coordenadas determinadas através do procedimento de rastreamento de satélites deverão sofrer correção de escala. A correção é dependente do modelo de redução das observações e do tipo de efemérides utilizadas, sendo seu principal objetivo a compatibilização dos referenciais geométricos — sistemas geodésicos.

Para tornar qualquer procedimento mais preciso é necessária a tomada de observações meteorológicas imediatamente antes e depois de uma passagem do satélite. A temperatura deverá ser obtida com uma aproximação de 0,2°C e a pressão atmosférica de 0,2 mm Hg.

Comprovou-se, em pesquisa realizada nos últimos anos em diversas partes do globo, que durante o período de atividades solares intensas, ocorrem, nas regiões equatoriais, fortes perturbações que se traduzem em erros de posição de 2 a 3 metros, em altitude e de 1 a 2 metros em latitude. Nas latitudes médias e altas nenhum efeito significativo foi observado. Nas latitudes equatoriais deve-se evitar a tomada de observações quando da ocorrência de fortes perturbações solares, a menos que a precisão almejada seja atingível independentemente desta interferência.

Todas as assertivas anteriores pressupõem que o georeceptor possui uma frequência de referência com estabilidade melhor que 5×10^{11} partes por cem segundos. A deriva de frequência deve ser controlada periodicamente no decorrer da ocupação das estações, no intuito de ser assegurada a sua estabilidade.

As especificações gerais, quanto à precisão do procedimento de posicionamento isolado, podem ser expressas em termos do erro padrão das componentes geocêntricas do vetor de posição da estação, denotado por σ . Na translocação ou no multi-posicionamento, a precisão é simbolizada pelo erro padrão das diferenciais das componentes geocêntricas do vetor de posição relativa das estações, este denotado por $\Delta\sigma$.

Resalte-se serem os critérios anteriores os mais adequados para tratar a precisão com que se obtém a posição das estações terrestres. Os erros padrão das coordenadas geodésicas, obtidas através dos parâmetros para transformação de sistemas geodésicos e uso de mapas geoidais, não representam a qualidade do posicionamento utilizando-se o efeito DOPPLER. As coordenadas geodésicas, resultantes do processo, apresentam-se com os erros combinados.

O conhecimento atual do campo gravitacional, em território brasileiro, não permite a definição do grau de confiabilidade das coordenadas geodésicas, obtidas através do rastreamento de satélites artificiais.

O Quadro (V) sumariza as especificações para levantamentos geodésicos, empregando-se procedimentos de rastreamento de satélites segundo o efeito DOPPLER.

Quadro (V) — Sistema Geodésico Brasileiro — Especificações para Posicionamento com o Rastreamento de Satélites segundo Efeito DOPPLER

PROCEDIMENTO	EFEMÉRIDES	N.º DE PASSAGENS APROVEITADAS	σ ou $\Delta\sigma$ (m)
Posição isolada	Operacionais Precisas	60 — 30 40 — 20	2 — 5 m 0,5 — 1 m
Translocação (estações \leq 200 km)	Operacionais ou Precisas	40	0,5 m
Arcos-Curtos (estações \leq 200 km)	Operacionais ou Precisas	30	0,3 — 1 m

3. ESPECIFICAÇÕES E NORMAS GERAIS PARA LEVANTAMENTOS ALTIMÉTRICOS

Os Levantamentos Geodésicos de Alta Precisão desenvolver-se-ão na forma de circuitos, acompanhando a malha viária do país, preferencialmente ao longo das vias asfaltadas e servindo por ramais às cidades, vilas e povoados à margem das mesmas e distantes até 20 km. Os circuitos apresentar-se-ão com perímetro menor que 400 km, com estações — Referências de Nível — espaçadas de no máximo 3 km, no interior das linhas formadoras dos circuitos. Nas áreas metropolitanas desenvolver-se-ão em circuitos, condicionados em forma e dimensões ao processo de urbanização, mantendo-se as estações preferencialmente espaçadas de 1 km e de, no máximo, 3 km. Os resultados são utilizados no apoio cartográfico, no suporte e controle das grandes obras de engenharia e nos estudos científicos em geral. Espera-se que o fechamento dos circuitos antes do emprego, dos métodos de ajustamento, seja inferior a 0,5 mm/km, considerando-se aplicadas as correções inerentes ao processo de medição.

Os Levantamentos Geodésicos de Precisão, nas áreas mais desenvolvidas, obedecerão o critério de circuitos de no máximo 200 km de perímetro, referenciados àqueles classificados como de alta-precisão. As estações serão espaçadas no interior das linhas de, no máximo, 3 km. Para as áreas menos desenvolvidas o desdobramento dar-se-á em circuitos ou linhas, em função das características regionais, mantendo-se o afastamento máximo de 3 km entre estações. Os resultados atendem de forma geral ao apoio cartográfico e a locação e controle de obras de engenharia.

Os levantamentos locais, vinculados aos de Alta-Precisão ou de Precisão, configurar-se-ão em circuitos ou linhas, em função do atendimento a que se destinem, sendo utilizados, principalmente, nos levantamentos e parcelamentos de propriedades, atendimento de pequenas obras e estudos de drenagem e gradientes.

No Quadro (VI) são apresentadas as especificações segundo as quais deverão se desenvolver o nivelamento geométrico, seguindo-se as classes anteriormente estabelecidas. O nivelamento duplo, nivelamento e contranivelamento, com o emprego de níveis automáticos ou de bolha providos de micrômetro ótico de placas plano-paralelas, é o procedimento recomendado para os levantamentos geodésicos de alta precisão e de precisão. Alternativamente, aceitar-se-á o procedimento dos três fios com o micrômetro, de placas plano-paralelas, fixo.

São recomendados os cuidados usuais para se evitar a ocorrência e propagação dos erros sistemáticos, tão comuns nas operações de nivelamento geométrico. Os comprimentos das visadas de ré e vante deverão ser aproximadamente iguais, de modo a se compensar o efeito da curvatura terrestre e da refração atmosférica. Pela mesma razão, não se recomenda a utilização de visadas com mais de 100 m de comprimento, sendo ideal o comprimento de 60 m. Para evitar turbulências causadas pela reverberação, as visadas e, por tanto as leituras, deverão situar-se acima de 20 cm do solo. As miras deverão ser utilizadas aos pares, tomando-se o cuidado de alterná-las a ré e a vante, de modo que a mira posicionada no ponto de partida (lida a ré) seja posicionada no ponto de chegada (lida a vante), eliminando-se, assim, o erro de índice. Convém observar, a obrigatoriedade da colocação das miras sobre chapas ou pinos e, no caminhamento, sobre sapatas, nunca diretamente sobre o solo.

A qualidade dos trabalhos deverá ser controlada através das diferenças entre o nivelamento e o contranivelamento, seção a seção e acumulado na linha, observando-se os valores limites de 3 mm \sqrt{k} (k = distância nivelada em quilômetros), para os levantamentos de alta precisão, de 6 mm \sqrt{k} para os de precisão em áreas mais desenvolvidas, e de 8 mm \sqrt{k} para as áreas menos desenvolvidas e o de 12 mm \sqrt{k} para os levantamentos locais. A manutenção deste controle permitirá se alcançar, após o ajustamento, os valores estipulados para a exatidão de cada classe.

4. ESPECIFICAÇÕES E NORMAS GERAIS PARA LEVANTAMENTOS GRAVIMÉTRICOS

A Gravimetria tem por finalidade o estudo do campo gravitacional terrestre, possibilitando, a partir dos seus resultados, aplicações na área da Geociência como, por exemplo, a determinação da figura e dimensões da Terra, a investigação da crosta terrestre e a prospecção de recursos minerais.

As Especificações e Normas Gerais abordam as técnicas de medições gravimétricas vinculadas às determinações relativas com uso de gravímetros estáticos.

A Associação Geodésica Internacional objetivando homogeneizar os levantamentos gravimétricos instituiu como referencial a IGSN 71, INTERNATIONAL GRAVITY STANDARDIZATION NET-1971. Sua composição é de 25.510 estações ajustadas simultaneamente, determinadas segundo as mais diferentes técnicas e distribuídas mundialmente. Destas estações, 64 estão em território brasileiro.

A semelhança dos levantamentos planimétricos e altimétrico, os gravimétricos são desdobrados em: ALTA PRECISÃO, PRECISÃO e PARA FINS DE DETALHAMENTO.

Os levantamentos de ALTA PRECISÃO, Fundamental ou 1.ª Ordem, têm por finalidade prover valores de controle para a aceleração da gravidade nos trabalhos regionais e locais. Vinculados à IGSN 71, desenvolvem-se em circuitos, com estações espaçadas, preferencialmente de, no máximo, 100 km ou a uma distância que permita um tempo de retorno às adjacentes, inferior a 48 horas. Os valores finais para a aceleração da gravidade serão determinados através de ajustamento, tomando-se as estações da IGSN 71 como fixas e com fechamento máximo, por circuitos, de 0,05 mgal.

Os levantamentos de precisão ou regional são apoiados nas estruturas decorrentes dos levantamentos de Alta Precisão, destinando-se ao atendimento das necessidades regionais.

QUADRO (VI) — SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO
ESPECIFICAÇÕES PARA NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

ITEM	LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS			
	De Alta Precisão	De Precisão		Para Fins Topográficos
	Fundamental	Áreas Mais Desenvolvidas	Áreas Menos Desenvolvidas	Local
1. CONFIGURAÇÃO DOS CIRCUITOS E LINHAS				
1.1 — Geral				De acordo com as finalidades. De acordo com as finalidades.
. perímetro máximo dos circuitos	400 km	200 km	200 km	
. comprimento máxima das linhas	100 km	50 km	50 km	
. intervalo máximo entre as estações monumentadas ou comprimento máximo da seção	3 km	3 km	3 km	—
1.2 — Regiões Metropolitanas				De acordo com as finalidades. De acordo com as finalidades.
. perímetro dos circuitos	8 — 10 km	2 — 8 km	De acordo com as finalidades. De acordo com as finalidades.	De acordo com as finalidades. De acordo com as finalidades.
. comprimento desejável das linhas	2 km	2 km	< 3 km	< 3 km
. comprimento da seção	1 — 3 km	1 — 3 km		
2. MEDIÇÃO DE DESNÍVEIS				
2.1 — Procedimento	Nivelamento duplo (N e CN)	Nivelamento duplo (N e CN)	Nivelamento duplo (N e CN)	Nivelamento duplo (N e CN) ou simples
2.2 — Instrumental	Nível automático ou de bolha provido de micrômetro ótico de placas plano-paralelas. Miras de Invar com dupla graduação.	Nível automático ou de bolha provido de micrômetro ótico de placas plano-paralelas. Miras de Invar com dupla graduação.	Nível automático ou de bolha provido de micrômetro ótico de placas plano-paralelas. Miras de Invar.	Nível automático ou de bolha e miras.
2.3 — Colimação do nível (C)				
a) Não precisa ser retificado		Idem	Idem	—
b) Poderá ser retificado	$0,01 < C \leq 0,03$ mm/m	Idem	Idem	—
c) Deverá ser retificado	$ C > 0,03$ mm/m	Idem	Idem	—
2.4 — Comprimento máximo da visada	100 metros	100 metros	100 metros	100 metros
2.5 — Divergência de leituras entre duas graduações em unidades da mira	0,002 m	Idem	Idem	Idem
2.6 — Uso dos três fios — divergência entre o 1.º e 2.º, 2.º e 3.º	0,002 m	0,002 m	0,005 m	0,005 m
2.7 — Diferença máxima tolerável entre os comprimentos das visadas de ré e vante, acumulada para a seção	3 m	5 m	10 m	10 m
3. CONTROLES PARA A QUALIDADE				
3.1 — Diferença máxima aceitável entre o nivelamento e o contra-nivelamento de uma seção (K = comprimento da seção em km)	3 mm \sqrt{k}	6 mm \sqrt{k}	8 mm \sqrt{k}	12 mm \sqrt{k}
3.2 — Diferença máxima aceitável entre o nivelamento e o contra-nivelamento de uma linha (K = comprimento da linha em km)	4 mm \sqrt{k}	6 mm \sqrt{k}	8 mm \sqrt{k}	12 mm \sqrt{k}
3.3 — Valor máximo para a razão entre a discrepância acumulada e o perímetro do circuito	0,5 mm/km	5 mm/km	5 mm/km	10 mm/km
4. ERRO-PADRÃO MÁXIMO ACEITÁVEL PARA UMA LINHA APÓS O AJUSTAMENTO (k = comprimento da linha em km).	2 mm \sqrt{k}	3 mm \sqrt{k}	4 mm \sqrt{k}	6 mm \sqrt{k}

QUADRO (VII) — SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO
ESPECIFICAÇÕES PARA GRAVIMETRIA

ITEM	LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS		
	De Alta Precisão	De Precisão	Para Fins de Detalhamento
	Fundamental	Regional	Local
1) CONFIGURAÇÃO DOS CIRCUITOS E LINHAS			
1.1 — Espaçamento máximo das estações	100 km	30 km	De acordo com os objetivos.
1.2 — Localização das estações	Em Referência de Nível	Em Referência de Nível	De acordo com as finalidades.
1.3 — Tempo máximo de retorno à base	48 horas	72 horas	De acordo com os objetivos.
2) INSTRUMENTAL			
2.1 — Leitura direta ou equivalente	0,01 graduação	0,01 graduação	0,01 graduação
2.2 — Alcance de leitura sem "reset"	7000 mgal	7000 mgal	5000 mgal
2.3 — Controle termostático	Sim	Sim	Sim
3) MEDIÇÃO POR ESTAÇÃO			
3.1 — Número desejável de gravímetros em operação simultânea.	3	3	—
3.2 — Condições operacionais por gravímetro.			
3.2.1 — Número de leituras	4	4	2
3.2.2 — Discrepância entre leituras	0,003 graduação	0,003 graduação	0,03 graduação
3.2.3 — Intervalo de tempo para as leituras (máximo)	2 minutos	2 minutos	5 minutos
3.2.4 — Intervalo de tempo mínimo para estabilização	10 minutos	10 minutos	10 minutos
3.3 — Discrepância das médias de leituras entre gravímetros.	0,003 graduação	0,003 graduação	0,03 graduação
4) CORREÇÕES			
4.1 — Atração luni-solar	Sim	Sim	Sim
4.2 — Deriva estática e dinâmica	Sim	Sim	Sim
4.3 — Pressão atmosférica	Sim	Sim	—
5) ERRO-PADRÃO MÁXIMO ACEITÁVEL DE FECHAMENTO DOS CIRCUITOS APÓS O AJUSTAMENTO.	0,05 mgal	0,1 mgal	0,3 mgal

Os levantamentos PARA FINS DE DETALHAMENTO, desenvolvidos em circuitos ou linhas, visam a descrição do campo gravitacional de forma exaustiva, em áreas limitadas. Os resultados destes levantamentos se expressam, normalmente, na forma de sua representação em iso-anômalas.

O Quadro (VII) sintetiza as especificações gerais para os levantamentos retro-mencionados. Os levantamentos especiais, em sua maioria para fins científicos, exigirão normalização específica. Destaque-se a necessidade da inserção de estações absolutas na rede fundamental, através das quais se poderá desenvolver o controle de escala.

Além das características técnicas especificadas no Quadro, os gravímetros pelos seus princípios de construção, essencialmente mecânicos, exigem cuidados especiais, tais como:

— calibração instrumental, efetuada em base vinculada à IGSN 71 e abrangendo toda a amplitude de leitura da área em que será empregado e

— eliminação da deriva fictícia, causada por trepidações e interferências externas, no transporte entre estações.

Além das precauções relativas ao controle instrumental, convém observar-se:

— a caracterização cartográfica da estação, principalmente nos levantamentos de ALTA PRECISÃO e PRECISÃO, que deverá ter uma exatidão mínima de:

. em planimetria — $\pm 8''$ em latitude e longitude,
. em altimetria — coincidente com as estações estabelecidas nos levantamentos altimétricos fundamentais,

— a distribuição das estações em função dos acidentes topográficos marcantes (falhas e fraturas geológicas; grandes elevações e abaciamentos).

5. DETERMINAÇÕES ASTRONÔMICAS

As observações astronômicas são admitidas, acessoriamente, no desenvolvimento do Sistema Geodésico Brasileiro, sendo imprescindíveis no estabelecimento do controle de orientação nos levantamentos planimétricos. As observações astronômicas são empregadas, também, no nivelamento astrogeodésico e na obtenção dos valores para as geondulações e componentes do desvio da vertical.

Destaque-se que as modernas técnicas de posicionamento geodésico, com o emprego dos rastreadores portáteis de satélites artificiais, vieram exigir a retomada dos procedimentos astronômicos na determinação do azimute, elemento essencial ao desdobramento dos levantamentos geodésicos em áreas remotas.

As determinações astronômicas são classificadas em:

- determinações de alta precisão;
- determinações de precisão;
- determinações locais.

As determinações de alta precisão destinam-se ao controle das estruturas geodésicas classificadas em "científica" e "fundamental", além de subsidiar os estudos e pesquisas relativas ao geóide e orientação do elipsóide. As estações astronômicas de alta precisão, quando coincidentes com os vértices de triangulação, de trilateração e das poligonais, são comumente denominadas de PONTOS DE LAPLACE, por serem utilizadas, primariamente, no controle azimutal das redes geodésicas.

As determinações astronômicas de precisão destinam-se ao controle dos levantamentos planimétricos de precisão e à densificação dos perfis astrogeodésicos, nas áreas em que se faz necessário o levantamento de incertezas e ambigüidades.

As determinações astronômicas locais destinam-se ao controle dos correspondentes levantamentos planimétricos.

QUADRO (VIII) — SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO CLASSIFICAÇÃO DAS DETERMINAÇÕES ASTRONÔMICAS QUANTO A PRECISÃO

CLASSE	ERRO-PADRÃO DA LATITUDE OU DA LONGITUDE		ERRO-PADRÃO DO AZIMUTE	
	Desejável	Máximo	Desejável	Máximo
ALTA PRECISÃO	0,1''	0,3''	0,2''	0,4''
PRECISÃO	0,4''	1,0''	0,5''	1,5''
LOCAL	1,5''	2,0''	3,0''	3,0''

A precisão da posição final ou do azimute depende de diversos fatores, como a qualidade do instrumental empregado, o método de observação, a observância das condições propícias ao desenvolvimento da medição, o número de repetições, o reconhecimento e eliminação dos erros sistemáticos, a experiência do observador e, finalmente, a posição em latitude do observador. Estas considerações orientam a escolha do programa, o método de determinação e o instrumento a ser usado para se obter os vários graus de precisão.

Ressalte-se que as posições estelares deverão estar referidas ao sistema do FOURTH FUNDAMENTAL CATALOGUE (FK 4) publicado em 1963 pelo Astronomisches Rechen Institut — Heidelberg. Anualmente edita-se o APPARENT PLACE OF FUNDAMENTAL STARS, com a posição aparente, a intervalos de dez dias.

A posição final e o azimute deverão ser reduzidos ao Polo Médio 1900,0 — 1905,0 como definido pelo International Polar Motion Service (IPMS) e Bureau International l'Heure (BIH).

APENDICE I

Constantes Geodésicas

Este apêndice contém os principais Parâmetros e Constantes diretamente envolvidos na solução dos Problemas Geodésicos.

Ressalte-se que os valores aqui apresentados estarão sujeitos a mudanças, em consequência dos aprimoramentos instrumentais e modelos matemáticos com que foram determinados e calculados.

As unidades físicas são as do Sistema Internacional, a exceção da utilizada para a gravidade — o Gallieu, símbolo Gal.

— velocidade da luz no vácuo (c):

$$c = 299.792.458 \text{ m.s}^{-1} \pm 0,8 \text{ m.s}^{-1}$$

— velocidade angular do movimento de rotação da Terra (ω)

$$\omega = 7,292115 146 \times 10^{-5} \text{ rad. s}^{-1}$$

— constante gravitacional geocêntrica, incluindo a atmosfera (GM):

$$GM = 398.603 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$$

— constante gravitacional Newtoniana (G):

$$G = 6,672 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} \text{ Kg}^{-1}$$

— coeficientes das funções harmônicas zonais:

$$J_2 = 10827 \times 10^{-7}$$

$$J_4 = 0,243 \times 10^{-6}$$

— gravidade equatorial (γ_e)

$$\gamma_e = 978031,846 \text{ mGal}$$

— potencial do geóide (ω_0)

$$\omega_0 = 6.263.703.0523 \times 10^6 \text{ kGal.m}$$

— semi-eixo maior do elipsóide (Referência 1967)

$$a = 6.378.160.000 \text{ m}$$

— achatamento do elipsóide:

$$1/f = 1/298,25$$

— fórmula para o cálculo da gravidade normal:

$$\gamma = 978,031846 (1 + 0,005 278 895 \text{ sen}^2\phi - 0,000 023 462 \text{ sen}^4\phi) \text{ Gal}$$

APENDICE II

Parâmetros para Transformação de Sistemas Geodésicos

1. MODELO MATEMÁTICO

(Equações diferenciais simplificadas de MOLODENSEKII).

$$\Delta\phi^0 = \frac{1}{M_1} \left\{ (a_1 \Delta f + f_1 \Delta a) \text{sen } 2\phi_1 - \Delta x \text{sen}\phi_1 \text{cos}\lambda_1 - \Delta y \text{sen}\phi_1 \text{sen}\lambda_1 + \Delta z \text{cos}\phi_1 \right\} \times \frac{180}{\pi}$$

$$\Delta\lambda^0 = \frac{1}{N_1 \text{cos}\phi_1} \left\{ -\Delta x \text{sen}\lambda_1 + \Delta y \text{cos}\lambda_1 \right\} \times \frac{180}{\pi}$$

$$\Delta N = (a_1 \Delta f + f_1 \Delta a) \text{sen}^2\phi_1 - \Delta a + \Delta x \text{cos}\phi_1 \text{cos}\lambda_1 + \Delta y \text{cos}\phi_1 \text{sen}\lambda_1 + \Delta z \text{sen}\phi_1$$

$$\phi_2^0 = \phi_1^0 + \Delta\phi^0$$

$$\lambda_2^0 = \lambda_1^0 + \Delta\lambda^0$$

onde:

a_1 = semi-eixo maior do elipsóide no sistema S_1

f_1 = achatamento do elipsóide no sistema S_1

ϕ_1 = latitude geodésica no sistema S_1

λ_1 = longitude geodésica no sistema S_1

a_2 = semi-eixo maior do elipsóide no sistema S_2

f_2 = achatamento do elipsóide no sistema S_2

ϕ_2 = latitude geodésica no sistema S_2

λ_2 = longitude geodésica no sistema S_2

ΔN = diferença de geondulação ($S_2 - S_1$)

Δx ; Δy ; Δz = parâmetros de translação do S_1 em referência ao S_2

Raio de curvatura 1.º vortical no $S_1 = N_1 = \frac{a}{(1 - e_1^2 \sin^2 \phi_1)^{1/2}}$

Raio de curvatura meridiana no $S_1 = M_1 = \frac{N_1}{1 + e_1^2 \cos^2 \phi_1}$

$$\Delta a = a_2 - a_1$$

$$\Delta f = f_1 - f_2$$

$$e_1^2 = f_1 (2 - f_1)$$

$$e_1'^2 = \frac{e_1^2}{1 - e_1^2}$$

2. PARAMETROS PARA TRANSFORMAÇÃO

2.1 — CÓRREGO ALEGRE PARA SAD-69:

$$a_1 = 6.378.388,00 \text{ m}$$

$$f_1 = 1/297,00$$

$$a_2 = 6.378.160,00 \text{ m}$$

$$f_2 = 1/298,25$$

$$\Delta x = -138,70 \text{ m}$$

$$\Delta y = +164,40 \text{ m}$$

$$\Delta z = +34,40 \text{ m}$$

2.2 — SAD-69 PARA CÓRREGO ALEGRE:

$$a_1 = 6.378.160,000 \text{ m}$$

$$f_1 = 1/298,25$$

$$a_2 = 6.378.388,000 \text{ m}$$

$$f_2 = 1/297,00$$

$$\Delta x = +138,70 \text{ m}$$

$$\Delta y = -164,40 \text{ m}$$

$$\Delta z = -34,40 \text{ m}$$

2.3 — NSWC-9Z-2 PARA SAD-69:

$$a_1 = 6.378.145,000 \text{ m}$$

$$f_1 = 1/298,25$$

$$a_2 = 6.378.160,000 \text{ m}$$

$$f_2 = 1/298,25$$

$$\Delta x = +80,80 \text{ m}$$

$$\Delta y = +14,81 \text{ m}$$

$$\Delta z = +44,01 \text{ m}$$

2.4 — SAD-69 PARA NSWC-9Z-2:

$$a_1 = 6.378.160,000 \text{ m}$$

$$f_1 = 1/298,25$$

$$a_2 = 6.378.145,000 \text{ m}$$

$$f_2 = 1/298,25$$

$$\Delta x = -80,80 \text{ m}$$

$$\Delta y = -14,81 \text{ m}$$

$$\Delta z = -44,01 \text{ m}$$

2.5 — NWL-10-D PARA SAD-69:

$$a_1 = 6.378.135,000 \text{ m}$$

$$f_1 = 1/298,25$$

$$a_2 = 6.378.160,000 \text{ m}$$

$$f_2 = 1/298,25$$

$$\Delta x = +75,92 \text{ m}$$

$$\Delta y = +18,85 \text{ m}$$

$$\Delta z = +39,05 \text{ m}$$

2.6 — SAD-69 PARA NWL-10-D:

$$a_1 = 6.378.160,000 \text{ m}$$

$$f_1 = 1/298,25$$

$$a_2 = 6.378.135,000 \text{ m}$$

$$f_2 = 1/298,25$$

$$\Delta x = -75,92 \text{ m}$$

$$\Delta y = -18,85 \text{ m}$$

$$\Delta z = -39,05 \text{ m}$$

2.7 — PSAD-56 OU LA CANOA PARA SAD-69:

$$a_1 = 6.378.388,000 \text{ m}$$

$$f_1 = 1/297$$

$$a_2 = 6.378.160,000 \text{ m}$$

$$f_2 = 1/298,25$$

$$\Delta x = -225 \text{ m}$$

$$\Delta y = 102 \text{ m}$$

$$\Delta z = -326 \text{ m}$$

2.8 — SAD-69 PARA PSAD-56 OU LA CANOA:

$$a_1 = 6.378.160,000 \text{ m}$$

$$f_1 = 1/298,25$$

$$a_2 = 6.378.388,000 \text{ m}$$

$$f_2 = 1/297$$

$$\Delta x = +225 \text{ m}$$

$$\Delta y = -102 \text{ m}$$

$$\Delta z = +326 \text{ m}$$

Altera o Apêndice II da R.PR-22/83

O PRESIDENTE da FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, usando de suas atribuições, RESOLVE:

Art. 1º Fica alterado, na forma do Anexo, o Apêndice II da R.PR-22, de 21.07.83, itens 2.3, 2.4, 2.5 e 2.6, relativo aos Parâmetros para Transformação de Sistemas Geodésicos.

Art. 2º Ficam atribuídos à Diretoria de Geociências os encargos pertinentes à expedição de instruções para o cumprimento desta Resolução e à adoção das providências para publicação e disseminação das alterações introduzidas por esta Resolução nas Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos.

Art. 3º Esta Resolução entra em vigor nesta data, revogadas a R.PR-32/88, de 05.04.88, e demais disposições em contrário.

CHARLES CURT MUELLER

ANEXO

APÊNDICE II

PARÂMETROS PARA TRANSFORMAÇÃO DE SISTEMAS GEODÉSICOS

1. INTRODUÇÃO

A determinação dos parâmetros de transformação entre os sistemas geodésicos adotados como referência no rastreamento de satélites dos Sistemas TRANSIT e GPS, e o SAD-69; juntamente com o permanente aprimoramento do Mapa Geoidal do Brasil, constituem demandas da comunidade cartográfica nacional usuária da técnica de posicionamento geodésico por satélites artificiais.

Os parâmetros para transformação apresentados neste documento resultam da conclusão de um projeto conduzido na Diretoria de Geociências, que objetivou a determinação dos parâmetros de transformação relativos aos Sistemas NSW-922, associado às efemérides precisas fornecidas no referencial adotado até 31 de dezembro de 1986; NWL-10D, associado às efemérides operacionais; e WGS-84, associado às efemérides precisas a partir de 1º de janeiro de 1987 e adotado no Sistema GPS.

No âmbito deste projeto, a primeira versão refinada do Mapa Geoidal foi publicada nos TRABALHOS TÉCNICOS DA DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS-1986. Em todos os cálculos de posição no Sistema Geodésico Brasileiro, a partir do rastreamento dos Sistemas TRANSIT e GPS, este Mapa Geoidal deverá ser utilizado associado aos procedimentos aqui descritos para as transformações de sistemas.

Nos procedimentos de transformação envolvendo coordenadas cartesianas referidas aos Sistemas NSW-922 e NWL-10D, está implícita uma fase preliminar de correção das coordenadas, a fim de compatibilizá-las com o Sistema Terrestre Convencional (STC), segundo os parâmetros:

TRANSLAÇÃO TERCIÁRIA: $\Delta Z = + 4,50 \text{ m}$
 ROTAÇÃO TERCIÁRIA: $w = - 0,814''$
 FATOR DE ESCALA: $k = - 0,6 \text{ ppm}$

Acrescenta-se que no caso do WGS-84 esta correção não é necessária, uma vez ser este sistema coincidente com o STC.

2. PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO

Para determinação de posição no Sistema Geodésico Brasileiro (SAD-69), é necessário aplicar três translações, abaixo relacionadas, às coordenadas inicialmente referidas aos Sistemas NSW-922 e NWL-10D e corrigidas conforme o exposto no item 1 acima, ou diretamente às coordenadas referidas WGS-84:

$\Delta X = + 66,87 \text{ m} \pm 0,43 \text{ m}$
 $\Delta Y = - 4,37 \text{ m} \pm 0,44 \text{ m}$
 $\Delta Z = + 38,52 \text{ m} \pm 0,40 \text{ m}$

3. SEQUÊNCIA DE CÁLCULO

3.1 - NOTAÇÃO

ϕ - Latitude geodésica
 λ - Longitude geodésica
 h - Altitude elipsoidal

X }
Y } Coordenadas cartesianas
Z }

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \phi)^{1/2}} \quad \text{- raio da curvatura do primeiro vertical}$$

a - semi-eixo maior do elipsóide

b - semi-eixo menor do elipsóide

f - achatamento do elipsóide

$e^2 = f(2 - f)$ - quadrado da primeira excentricidade do elipsóide

$$e'^2 = \frac{e^2}{1 - e^2} \quad \text{- quadrado da segunda excentricidade do elipsóide}$$

Subscrito 1: grandezas associadas ao sistema de satélite:

Para o NSW-922: $a_1 = 6378145 \text{ m}$

$$f_1 = 1/298,25$$

Para o NWL-10D: $a_1 = 6378135 \text{ m}$

$$f_1 = 1/298,26$$

Para o WGS-84: $a_1 = 6378137 \text{ m}$

$$f_1 = 1/298,257223563$$

Subscrito 2: grandezas associadas ao SAD-69:

$$a_2 = 6378160 \text{ m}$$

$$b_2 = 6356774,719 \text{ m}$$

$$f_2 = 1/298,25$$

$$\rho'' = 206264,8062470963$$

3.2 - CÁLCULO DAS COORDENADAS CARTESIANAS REFERIDAS AO SISTEMA DE SATÉLITE:

$$X_1 = (N_1 + h_1) \cos \phi_1 \cdot \cos \lambda_1$$

$$Y_1 = (N_1 + h_1) \cos \phi_1 \cdot \sin \lambda_1$$

$$Z_1 = (N_1 (1 - e_1^2) + h_1) \sin \phi_1$$

3.3 - CÁLCULO DAS COORDENADAS CARTESIANAS REFERIDAS AO SAD-69:

3.3.1 - TRANSFORMAÇÃO DE COORDENADAS REFERIDAS AO NSWC-922 ou NWL-10D:

$$X_2 = X_1 - 0,6 \cdot 10^{-6} \cdot X_1 - 0,814 \cdot Y_1 / \rho'' + 66,87$$

$$Y_2 = Y_1 - 0,6 \cdot 10^{-6} \cdot Y_1 + 0,814 \cdot X_1 / \rho'' - 4,37$$

$$Z_2 = Z_1 - 0,6 \cdot 10^{-6} \cdot Z_1 + 43,02$$

Ressalta-se que os Sistemas Geodésicos associados tanto às Efemérides Operacionais (NWL-10D) quanto às Efemérides Precisas (NSWC-922) possuem parâmetros de transformação idênticos em relação ao SAD-69, alterando-se apenas os parâmetros de forma e dimensões do elipsóide correspondente a cada um destes.

3.3.2 - TRANSFORMAÇÃO DE COORDENADAS REFERIDAS AO WGS-84:

$$X_2 = X_1 + 66,87$$

$$Y_2 = Y_1 - 4,37$$

$$Z_2 = Z_1 + 38,52$$

3.4 - CÁLCULO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS REFERIDAS AO SAD-69:

$$\phi_2 = \text{arc tg} \left\{ \frac{Z_2 + e_2'^2 \cdot b_2 \cdot \text{sen}^3 u}{(X_2^2 + Y_2^2)^{1/2} - e_2^2 \cdot a_2 \cdot \text{cos}^3 u} \right\}$$

$$\lambda_2 = \text{arc tg} \left[\frac{Y_2}{X_2} \right] \quad (\text{para o quadrante em que se situa o Brasil}).$$

$$h_2 = \frac{(X_2^2 + Y_2^2)^{1/2}}{\text{cos } \phi_2} - N_2$$

onde:

$$\text{sen } u = \frac{\text{tg } u}{(1 + \text{tg}^2 u)^{1/2}}; \quad \text{cos } u = \frac{1}{(1 + \text{tg}^2 u)^{1/2}}$$

$$\text{tg } u = \frac{Z_2}{(X_2^2 + Y_2^2)^{1/2}} \cdot \frac{a_2}{b_2}$$

(Of. nº 21/89)



IBGE
Diretoria de Geociências
Departamento de Geodésia

**ESPECIFICAÇÕES E NORMAS GERAIS
PARA LEVANTAMENTOS GPS**

(PRELIMINARES)

Dezembro de 1992



SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE TABELAS.....	ii
APRESENTAÇÃO.....	iii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. CONCEITOS.....	1
3. CLASSIFICAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS GPS.....	6
4. RECOMENDAÇÕES PRELIMINARES PARA POSICIONAMENTO GEODÉSICO DIFERENCIAL COM GPS.....	7
4.1 SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS.....	7
4.1.1 Receptores e Antenas.....	7
4.1.2 Receptores de uma e duas frequências.....	8
4.2 RECONHECIMENTO.....	9
4.2.1 Seleção dos locais das estações.....	9
4.2.2 Materialização dos marcos.....	9
4.3 GEOMETRIA DA REDE.....	10
4.3.1 Conexão dos levantamentos a estações de controle existentes.....	10
4.3.2 Conexão entre estações novas.....	10
4.4 OBSERVAÇÕES DE CAMPO.....	10
4.4.1 Estacionamento da antena.....	10
4.4.2 Duração da sessão de observação.....	11
4.4.3 Taxa de observação.....	11
4.4.4 Observação de condições meteorológicas.....	11
4.4.5 Anotações de campo.....	12
4.5 PROCESSAMENTO.....	12
4.6 CALIBRAÇÃO.....	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	14
ANEXO A - Formulários adotados pelo IBGE em Levantamentos Geodésicos Diferenciais com GPS..	16



LISTA DE TABELAS

	Pág.
TABELA 1 - Satélites GPS operacionais em Novembro/92	2
TABELA 2 - Técnicas de Posicionamento com o sistema GPS.....	8
TABELA 3 - Duração mínima da sessão.....	11



APRESENTAÇÃO

O Departamento de Geodésia do IBGE, por intermédio das Divisões de Geociências responsáveis pela execução dos levantamentos geodésicos, tem utilizado as técnicas associadas ao Sistema de Posicionamento Global - GPS desde 1988, sendo que a partir de 1991 de uma forma sistemática.

A elaboração deste documento, em atendimento a uma das missões institucionais do IBGE, baseou-se na experiência adquirida a partir do uso do sistema, aliada ao conhecimento proveniente do intercâmbio técnico-científico com instituições do Brasil e do exterior, seja por intermédio de cursos, estágios ou participação em simpósios e congressos dedicados ao assunto.

Agradecemos a valiosa contribuição, sob a forma de críticas e sugestões, prestada por diversos profissionais envolvidos com o assunto. Ressaltamos que, para os que, por algum motivo, não tiveram a oportunidade de conhecer a versão em minuta deste documento, qualquer contribuição é bem vinda, bastando para tanto encaminhá-la para o endereço abaixo. Destacamos o caráter preliminar das especificações e normas gerais aqui apresentadas.

Luiz Paulo Souto Fortes
Chefe da Divisão de Pesquisas e Análises
Departamento de Geodésia
Av. Brasil 15671, Parada de Lucas
Rio de Janeiro, RJ, CEP 21241-051
Tel: 391-8217, FAX: 391-7070
BITNET: LPS @ BRIBGE



1. INTRODUÇÃO

O IBGE, como órgão gestor do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), tem por atribuição a elaboração de normas e especificações para levantamentos geodésicos, dentre outras não menos importantes. Em cumprimento a esta responsabilidade, o IBGE publicou em 01 de agosto de 1983, no Boletim de Serviço número 1602, a Resolução do Presidente nº 22 de 21 de julho de 1983, contemplando o assunto. Posteriormente, este documento foi atualizado no que concerne à metodologia de transformação entre os sistemas geodésicos NWL-10D, NSWC-9Z2, WGS-84 e o SAD-69, através da publicação da Resolução do Presidente nº 23 de 21 de fevereiro de 1989.

Por outro lado, a experiência adquirida por vários anos de árduo trabalho de implantação e manutenção do SGB, aliada ao dinamismo inerente à ciência geodésica, mostrou a necessidade da realização de uma revisão nas normas publicadas em 1983, adicionalmente à atualização ocorrida em 1989.

A necessidade sinalizada no parágrafo anterior foi acrescida àquela advinda do surgimento do Sistema de Posicionamento Global, mundialmente conhecido por GPS (*Global Positioning System*). Este documento, desta forma, encerra os primeiros esforços no sentido da elaboração de normas e especificações para levantamentos GPS com vistas a dotar a comunidade cartográfica nacional de elementos básicos norteadores dos serviços de posicionamento que utilizam os métodos a ele associados.

Considerando a rápida evolução a que ainda estão sujeitos os equipamentos, técnicas de observação, aplicações e *software*, além do fato do sistema ainda não estar totalmente implantado, é praticamente impossível estabelecer no momento especificações rígidas. A complementação da constelação de satélites definitiva, a implementação da disponibilidade seletiva (*Selective Availability - SA*) e da criptografia do código P (*Anti-Spoofing - AS*) irão certamente afetar as potencialidades do sistema.

Considerando o vasto número de aplicações já existentes, as que ainda serão desenvolvidas e a área de atuação do IBGE, este documento destaca as especificações para posicionamento geodésico relativo com GPS.

2. CONCEITOS

Os estudos iniciais para desenvolvimento do sistema GPS datam de 1973. Concebido inicialmente para contornar as limitações existentes no sistema TRANSIT, principalmente aquelas relativas à navegação, o GPS foi projetado de forma que em qualquer lugar do mundo e a qualquer momento existam pelo menos quatro satélites acima do plano do horizonte do observador. Esta situação garante a condição geométrica mínima necessária à navegação em tempo real com o sistema. Posteriormente, cientistas e pesquisadores no mundo todo começaram a descobrir e explorar as potencialidades do sistema, não só aquelas destinadas à navegação. Com isto, surgiram as aplicações na área da geodésia, geodinâmica, cartografia, etc., atingindo níveis de precisão inalcançáveis com os métodos clássicos utilizados até então, para surpresa dos próprios idealizadores do sistema.

O sistema, também chamado de NAVSTAR (*NAVigation Satellite Time And Ranging*) GPS devido às suas aplicações originais de navegação, subdivide-se em três segmentos: espacial, de controle e do usuário.

O segmento espacial é composto pela constelação de satélites. Quando o sistema estiver completamente implantado, serão 21 satélites em operação, com mais três de reserva (total de 24), orbitando a uma altitude de 20.000 km aproximadamente, em 6 planos orbitais com inclinação de 55°, com um período de revolução de 12 horas siderais, o que acarreta que a configuração dos satélites se repete 4 minutos mais cedo diariamente em um mesmo local.

A função do segmento espacial é gerar e transmitir os sinais GPS (códigos, portadoras e mensagens de navegação). Estes sinais são derivados da frequência fundamental f_0 de 10,23 Mhz, apresentando a seguinte estrutura:

Ondas Portadoras: L1 = 154 . f_0 = 1575,42 Mhz
L2 = 120 . f_0 = 1227,60 Mhz



Modulados em fase com as portadoras, os códigos são seqüências de +1 e -1 (*Pseudo Random Noise codes* - *PRN codes*), emitidos a frequências de :

Código C/A : $f_c/10 = 1,023$ Mhz
Código P : $f_c = 10,23$ Mhz

O código C/A (*Coarse/Acquisition code*) se repete a cada 1 milissegundo, enquanto que o P (*Precision code*) a cada 267 dias. Este período de 267 dias é subdividido em segmentos de 7 dias, sendo atribuída a cada satélite a seqüência de código para um segmento. Isto dá origem ao sistema de identificação dos satélites que utiliza o número do segmento do código PRN. Por exemplo, o satélite SV 19 ou PRN 19 é aquele que transmite o décimo nono segmento do código PRN. Outro sistema de identificação consiste no número sequencial de lançamento. Por exemplo, o número sequencial de lançamento do PRN 02 é NAVSTAR 13. A tabela 1 relaciona a identificação dos 19 satélites, atualmente em operação, segundo os dois sistemas de numeração. Destes, os SV03, SV11, SV12 e SV13 pertencem ao Bloco I, formado pelos satélites experimentais (protótipos) do sistema. Os restantes (SV02, SV14, SV15, SV16, SV17, SV18, SV19, SV20, SV21, SV23, SV24, SV25, SV26, SV27 e SV28) fazem parte do Bloco II, correspondente à constelação definitiva dos 21.

TABELA 1 - Satélites GPS operacionais em Novembro/92

NAVSTAR (SVN)	PRN (SV)	BLOCO
8	11	I
9	13	I
10	12	I
11	03	I
13	02	II
14	14	II
15	15	II
16	16	II
17	17	II
18	18	II
19	19	II
20	20	II
21	21	II
23	23	II
24	24	II
25	25	II
26	26	II
27	27	II
28	28	II

Além destes, ainda existe o código Y, similar ao P, sendo gerado, entretanto, a partir de uma equação secreta (*anti-spoofing*). No futuro, poderá ser permanentemente implementado no lugar do P, a fim de que o acesso à correspondente qualidade dos resultados da navegação em tempo real seja restrito aos usuários militares americanos e seus aliados.

A portadora L1 é modulada com os códigos C/A e P (ou Y), enquanto L2 apenas com o P (ou Y). Ambas as portadoras carregam a mensagem de navegação, que consiste em uma seqüência de dados transmitidos a 50 bps (bits por segundo) destinados a informar aos usuários sobre a saúde e posição dos satélites (efemérides transmitidas). Estas efemérides nem sempre satisfazem às necessidades de todos os usuários (por exemplo, em estudos de geodinâmica), o que tem levado diversos grupos a implantar redes de monitoramento contínuo dos satélites GPS com vistas ao cálculo de efemérides precisas. Como exemplo, podemos citar: o *U. S. Naval Surface Weapons Center (NSWC)*, que utiliza 4 estações da *Defense*



Mapping Agency (DMA), adicionais às do segmento de controle, para o processamento; o *U. S. National Geodetic Survey (USNGS)*, que administra a rede CIGNET (*Cooperative International GPS Network*), com estações distribuídas pelo mundo (o acesso às efemérides pode se dar através do *U.S. Coast Guard GPS Information Center - GPSIC - bulletin board service*); a Associação Internacional de Geodésia (*International Association of Geodesy - IAG*), coordenadora do *International GPS Geodynamics Service (IGS)*, que é um serviço internacional do qual participam instituições de todo o mundo na qualidade de estação de observação, centro de dados, centro de processamento ou bureau central. O Brasil participa com a implantação de estações fiduciais de observação em Brasília e Curitiba, cujos dados observados são retransmitidos eletronicamente para um centro global da rede, situado no *Crustal Dynamics Data Center (CDDIS)*, da NASA. Uma outra estação GPS e VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*), ainda, está sendo instalada em Fortaleza como resultado de uma cooperação com o USNGS. O serviço IGS proporcionará inúmeros produtos, dentre os quais efemérides precisas. A participação brasileira com as estações mencionadas garantirá a qualidade das efemérides em levantamentos executados em território nacional; e, finalmente, o IBGE, além da participação no serviço IGS, está desenvolvendo a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC) que, a partir da interseção com estações da rede IGS, propiciará uma estrutura geodésica de controle altamente precisa, permitindo a aplicação da técnica de integração e relaxação orbital em posicionamentos onde busca-se precisões iguais ou melhores que 0,1 partes por milhão (ppm). Acrescenta-se que, pela filosofia de desenvolvimento da RBMC, os usuários precisarão apenas de um equipamento para a execução de levantamentos geodésicos.

O sistema geodésico adotado para referência tanto das efemérides transmitidas quanto das precisas é o *World Geodetic System* de 1984 (*WGS-84*). Isto acarreta que os resultados dos posicionamentos realizados com o GPS referem-se a este sistema geodésico, devendo ser transformados para o sistema SAD-69, adotado no Brasil, através da aplicação da metodologia estabelecida na Resolução do Presidente do IBGE nº 23 de 21 de fevereiro de 1989. Ressalta-se que o GPS fornece resultados de altitude elipsoidal, o que torna obrigatório o emprego do Mapa Geoidal do Brasil, publicado pelo IBGE, para a obtenção de altitudes referenciadas ao geóide (nível médio dos mares).

O segmento de controle é responsável pela operação do sistema GPS. A função principal deste segmento é atualizar a mensagem de navegação transmitida pelos satélites. Para o alcance deste objetivo, o segmento de controle consiste de estações de monitoramento distribuídas pelo mundo (Ascencion, Colorado Springs, Diego Garcia, Kwajalein e Hawaii). Estas estações rastreiam continuamente todos os satélites visíveis e estes dados são transmitidos para a estação de controle mestre (*Master Control Station*), em Colorado Springs, EUA, onde são processados com a finalidade de determinação das efemérides e das correções aos relógios dos satélites. A mensagem atualizada é, então, transferida para os satélites, para que seja retransmitida aos usuários. Esta transferência pode ocorrer, eventualmente, mais de uma vez por dia.

O segmento dos usuários está associado às aplicações do sistema. Refere-se a tudo que se relaciona com a comunidade usuária (receptores, algoritmos, *software*, etc) com vistas à determinação da posição, velocidade e/ou tempo.

Os receptores, de uma forma geral, podem ser classificados segundo as aplicações a que se destinam. E como as aplicações estão intimamente ligadas ao tipo de sinal GPS utilizado, os tipos de receptores diferenciam-se segundo a(s) componente(s) do sinal que é(são) rastreada(s). Basicamente, existem aqueles que se destinam às aplicações de posicionamento em tempo real (navegação), caracterizando-se pela observação do(s) código(s) C/A (e P); e os que são utilizados em aplicações estáticas, que observam principalmente a fase da(s) portadora(s) L1 (e L2). Naturalmente, são muitas as alternativas existentes no mercado em relação aos tipos de equipamento disponíveis e em desenvolvimento. E esta situação ainda está longe de alcançar uma estabilidade, de forma que a descrição detalhada de todas as opções mostra-se inadequada. Entretanto cabe destacar apenas algumas características dos equipamentos atuais para fins geodésicos, uma vez que a sua proliferação entre instituições nacionais públicas e privadas já é significativa. Estes equipamentos, que buscam em última instância tornar disponíveis aos usuários as observações da fase da onda portadora, rastreiam também, pelo menos, o código C/A. Como L1 é modulada com os códigos, a disponibilidade do C/A permite a recuperação de L1. No caso de determinações onde se busca altas precisões ou localizadas em zonas de forte atividade da ionosfera (veja item 4.1.2), o equipamento deve também rastrear L2. Mas, como L2 é modulada apenas com o código P, a sua recuperação é implementada nos receptores de duas formas: a primeira delas, através da geração de uma réplica do código P no receptor, já que este código está disponível atualmente; a outra técnica



consiste na quadratura da onda (*squaring*), uma vez ser o código uma sequência de ± 1 . O primeiro método apresenta vantagens quanto à qualidade da onda resultante, enquanto que o segundo dispensa o conhecimento do código, o que pode vir a ser uma vantagem quando o sistema estiver totalmente operacional e houver a implementação do código Y. A utilização do código P, ainda, pode ser vantajosa em situações de baixa qualidade das observações por ocorrência de frequentes perdas de sinal (*cycle slips*).

Em função dos avanços mais recentes da tecnologia, os equipamentos de última geração já conseguem, segundo os fabricantes, observar os códigos em L1 e L2, mesmo em períodos de criptografia do código P. As soluções baseiam-se no fato de que o código preciso, apesar de secreto, é o mesmo nas duas frequências portadoras, dando origem ao que está se denominando de correlação cruzada (*cross-correlation*) dos códigos precisos.

O sistema GPS fornece dois tipos de observação diretamente associados à componente do sinal rastreado: pseudo-distâncias, obtidas a partir da observação dos códigos, e fases das portadoras.

A observação dos códigos propicia a medida do tempo de propagação do sinal entre um determinado satélite e o receptor, que multiplicado pela velocidade da onda eletromagnética ocasiona o conhecimento da distância percorrida pelo sinal. Portanto, a observação de pelo menos 3 satélites proporciona a situação geométrica mínima para a determinação isolada das coordenadas do centro elétrico da antena do receptor. Como os receptores apresentam osciladores não tão estáveis como os dos satélites, inclui-se na modelagem matemática da solução do problema uma incógnita a mais correspondente à correção associada ao relógio do receptor, o que eleva para 4 o número mínimo de satélites necessários à determinação e denomina-se pseudo-distância a observação correspondente. As aplicações que utilizam este tipo de observação são aquelas que buscam primordialmente o posicionamento em tempo real (navegação). Pela geometria do problema, um fator que se reveste da maior importância no tocante à propagação de erros, e consequentemente à qualidade das determinações, é a disposição geométrica dos satélites. Denomina-se **DOP** (*Dilution Of Precision*) os fatores que descrevem este efeito. Matematicamente, estes fatores são função dos elementos da diagonal da matriz variância-covariância dos parâmetros ajustados, podendo ser calculados previamente a partir do conhecimento das coordenadas aproximadas da localidade e das órbitas preditas dos satélites. Os tipos de fatores são: **HDOP** (efeito da geometria dos satélites nas coordenadas planimétricas), **VDOP** (idem, para a altitude), **PDOP** (idem, para a posição tri-dimensional), **TDOP** (idem, para o tempo) e **GDOP** (idem, para a posição e o tempo). Quanto maior os valores numéricos dos fatores, pior a qualidade da determinação correspondente, ou seja, maior a influência dos erros de observação nos resultados do posicionamento. Geometricamente, demonstra-se que o **GDOP** é inversamente proporcional ao volume do tetraedro formado pelos 4 raios vetores unitários definidos pelo receptor e os satélites.

As observações das fases das ondas portadoras, analogamente àquelas obtidas a partir dos códigos, também fornecem indiretamente a medida da distância receptor-satélite. Entretanto, neste caso específico, como o que se mede é a diferença de fase entre o sinal que chega do satélite e o gerado pelo oscilador do receptor, existe uma incógnita adicional na observação da distância, denominada de ambiguidade, que é o número inteiro de ciclos que a onda levou para chegar ao receptor no início do período de rastreamento. Por este motivo, estas observações normalmente não são utilizadas em tempo real, sendo aplicadas para posicionamentos estáticos. Devido ao fato de que a observação representa uma fração da fase da portadora, o termo interferometria é usado frequentemente para descrever as técnicas correspondentes.

Um conceito extremamente importante relacionado às técnicas de levantamento com o sistema GPS é o de posicionamento relativo. Tanto as observações de código quanto as da fase das portadoras podem ser tratadas a partir de pelo menos duas estações observadoras simultâneas dos mesmos satélites. Esta consideração proporciona a minimização, ou até mesmo o cancelamento, dos efeitos de alguns erros sistemáticos que incidem de forma semelhante em ambas as estações (erros das órbitas dos satélites, refração troposférica e ionosférica, etc). No caso dos códigos, a técnica associada denomina-se **DGPS** (*Differential GPS*), sendo largamente empregada em navegação. No caso da fase da portadora, as observações são combinadas linearmente, dando origem às seguintes observações derivadas: simple diferença de fase, quando diferencia-se as observações de fase de duas estações para o mesmo satélite; dupla diferença de fase, quando diferencia-se as diferenças simples para dois satélites; e tripla diferença de



fase, quando diferencia-se a dupla diferença no tempo. O objetivo da combinação linear das observações é o cancelamento de incógnitas no ajustamento, a saber:

- simples diferença: cancelam-se os erros dos relógios dos satélites;
- dupla diferença: cancelam-se os erros dos relógios dos satélites e dos receptores;
- tripla diferença: cancelam-se os erros dos relógios dos satélites, dos receptores e as ambiguidades.

Das combinações acima, a mais empregada é a dupla diferença de fase, por corresponder ao modelo matemático que fornece a melhor rigidez geométrica para a solução. A tripla diferença, por não conter parâmetros associados às ambiguidades, é utilizada às vezes em determinações relativas de longas linhas de base (> 100 km), quando a qualidade dos resultados das duplas diferenças não se mostra satisfatória.

O fator **DOP** relacionado ao posicionamento relativo com a fase das portadoras denomina-se **RDOP**. Descreve o efeito da geometria dos satélites na qualidade do(s) raio(s) vetor(es) definido(s) pelas estações envolvidas no levantamento.

As observações de fase das portadoras podem, evidentemente, ser utilizadas para a determinação de posições isoladas. Entretanto, devido aos excelentes resultados que são obtidos com o posicionamento relativo, não foram desenvolvidas as técnicas necessárias a esta aplicação. Por outro lado, as aplicações relativas têm sido largamente empregadas e otimizadas. Atualmente, destacam-se as seguintes técnicas de posicionamento:

- Posicionamento Estático: 2 ou mais receptores fixos observam os mesmos satélites durante uma hora ou mais, sendo determinadas as componentes do(s) raio(s) vetor(es) definido(s) pelas estações com uma precisão de 1 a 2 partes por milhão (ppm);
- Posicionamento Cinemático Contínuo e Semi-cinemático (stop-and-go): um receptor é mantido fixo enquanto outro(s) é(são) móvel(is); no caso do Cinemático Contínuo, adota-se uma taxa de observação de apenas um segundo, enquanto que no caso do Semi-cinemático o tempo de ocupação nas estações móveis é reduzido a alguns minutos (no mínimo 2 segundos, ou seja, o suficiente para serem realizadas observações em duas épocas distintas); a(s) antena(s) móvel(is) retorna(m) à posição inicial; necessidade de se definir as ambiguidades no início do processo, através do rastreamento de uma base conhecida, ou do rastreamento de uma linha de base segundo a técnica do posicionamento estático ou ainda através do procedimento de troca de antenas (*swap*); os sinais devem ser continuamente rastreados, evitando-se obstruções no percurso, a fim de que os valores determinados para as ambiguidades permaneçam válidos durante o levantamento;
- Posicionamento Pseudo-cinemático ou Pseudo-estático: um receptor é mantido fixo enquanto outro(s) itinerante(s) ocupa(m) a(s) mesma(s) estação(ões) mais de uma vez (2 ou 3), durante períodos de tempo de alguns minutos (2 segundos, no mínimo, para serem observadas duas épocas distintas), separados por pelo menos uma hora; não é necessário manter-se o rastreamento durante o deslocamento do(s) receptor(es) itinerante(s), podendo-se inclusive desligá-lo(s).

Recentemente, duas outras técnicas de posicionamento têm sido pesquisadas, com sucesso, no sentido de otimizar ainda mais os levantamentos GPS. O Posicionamento Estático-Rápido (FastStatic) corresponde ao pseudo-cinemático (pseudo-estático) sem a necessidade de ocupação da(s) estação(ões) itinerante(s) mais de uma vez. Já a técnica de Solução das Ambiguidades em Tempo Real (Ambiguities Fixing on the Fly), equivale ao estático-rápido com o receptor itinerante se movendo continuamente. Ambas as técnicas adotam soluções que utilizam simultaneamente os 4 tipos de observação proporcionados pelo sistema: fases das portadoras e códigos em L1 e L2.

As técnicas de posicionamento relativo revestem-se de grande importância quando considera-se a implementação da degradação da qualidade proporcionada pelo sistema. Devido ao fato do GPS ter sido desenvolvido principalmente por razões de cunho militar, o Departamento de Defesa dos EUA projetou as seguintes técnicas:



- Disponibilidade Seletiva (*Selective Availability - SA*): técnica de degradação deliberada da estabilidade dos relógios dos satélites e da mensagem por eles transmitida; já implementada nos satélites do Bloco II;
- *Anti-spoofing (AS)*: técnica de criptografia do código P, dando origem ao código Y; em fase de testes de implementação;

Considerando que o posicionamento relativo minimiza erros sistemáticos associados aos relógios dos satélites e às efemérides, espera-se que, para estas aplicações, a implementação da SA não constitua maiores problemas, no caso da separação das estações não ser muito grande (< 100 km). Tratando-se da técnica de AS, a maioria dos receptores utiliza o código C/A ou possuem alternativas implementadas para o caso do código P ser criptografado (por exemplo, a disponibilidade da quadratura do sinal - *squaring*, ou a utilização da técnica de correlação cruzada - *cross correlation*, desenvolvida recentemente por imposição dos métodos estático-rápido e solução das ambiguidades em tempo real). Portanto, a degradação dos sinais representa um problema apenas para os usuários que buscam o posicionamento isolado, o que prejudica a maioria das aplicações tradicionais em tempo real. Os serviços proporcionados pelo GPS são subdivididos em dois tipos, de acordo com o acesso do usuário às informações:

- Serviço de Posicionamento Preciso (*Precise Positioning Service - PPS*): os usuários deste serviço têm acesso aos dados dos relógios dos satélites não adulterados, às correções às efemérides transmitidas e ao código descryptografado; são os militares americanos, os aliados e os amigos privilegiados;
- Serviço de Posicionamento Padrão (*Standard Positioning Service - SPS*): os usuários deste serviço acessam os dados GPS como são transmitidos, com todos os tipos de degradação e criptografia; é a comunidade civil, de uma forma geral.

3. CLASSIFICAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS GPS

A revolução que o sistema GPS vem trazendo aos procedimentos de levantamentos geodésicos pode ser avaliada pela classificação dos levantamentos executados com a sua utilização. Conforme o Boletim de Serviço 1602 de 01 de agosto de 1983, que contempla as Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos, a categoria de alta precisão (âmbito nacional) subdivide-se em dois sub-grupos: científico e fundamental (ou de 1ª ordem), com precisões associadas melhores que 1/500.000 e 1/100.000, respectivamente. Na ocasião que aquele documento foi redigido, o IBGE era praticamente a única instituição capaz de executar levantamentos fundamentais, sendo que os científicos requeriam equipamentos e técnicas de alta complexidade e elevado custo, tais como SLR (*Satellite Laser Ranging*), LLR (*Lunar Laser Ranging*) e VLBI. No entanto, os posicionamentos geodésicos com o GPS, já nos dias de hoje, são capazes de facilmente fornecer resultados com precisões da ordem de 1 a 2 ppm (1/1.000.000 a 1/500.000), passíveis de serem obtidos por qualquer empresa usuária de receptores que observam a fase da portadora.

Considerando as aplicações do sistema, pode-se identificar perfeitamente três categorias no nível científico:

- Geodinâmica Global e Regional; medidas de deformação: nesta categoria, as exatidões almejadas são melhores que 0,01 ppm; representam os trabalhos conduzidos internacionalmente, com objetivos tais como estudo da deriva continental, determinação do movimento do polo, etc (por exemplo, serviço IGS); normalmente, emprega-se a técnica de integração orbital no processamento das observações;
- Sistemas Geodésicos Nacionais (redes primárias); geodinâmica regional e local; medidas de deformação: nesta categoria, busca-se exatidões melhores que 0,1 ppm; enquadra-se nesta categoria a estrutura de controle definida pelas estações pertencentes à RBMC e as determinações dela decorrentes efetuadas com a técnica de relaxação orbital;
- Sistemas Geodésicos Nacionais (redes secundárias); geodinâmica local; medidas de deformação; levantamentos de engenharia altamente precisos: esta categoria contempla os trabalhos determinantes



de resultados com exatidões melhores que 1 ppm; consistem nos levantamentos de densificação do SGB realizados tanto pelo IBGE quanto por outras empresas.

Pelo exposto acima, verifica-se que o advento do Sistema de Posicionamento Global é responsável por uma melhoria de qualidade da rede de alta precisão do SGB de pelo menos 100 vezes (de 1/100.000 ou 10 ppm para 0,1 ppm). Este fato reveste-se da maior importância no momento atual, quando inúmeras empresas usuárias do sistema se surpreendem ao obter resíduos da ordem de 10 ppm em ajustamentos realizados a partir de levantamentos GPS apoiados em mais de um ponto da rede clássica do SGB. Considerando que os serviços foram executados segundo os padrões de posicionamento geodésico diferencial com GPS, os resultados encontrados traduzem a situação de densificação de uma rede geodésica por um método que fornece uma precisão maior que a da própria rede. Esta situação será naturalmente contornada por ocasião da conclusão do projeto de ajustamento da rede planimétrica de alta precisão do SGB, ora em andamento, uma vez que estão sendo utilizadas observações GPS para controle e aumento da rigidez da rede.

Considerando o vasto espectro de aplicações do sistema, a tabela 2 relaciona didaticamente as técnicas disponíveis, tipos de observação e precisões alcançadas. É importante reafirmar que o GPS está em processo de implantação, de forma que as informações fornecidas retratam a situação atual. Acrescenta-se que as precisões assinaladas referem-se tanto ao posicionamento horizontal quanto ao vertical. Entretanto, cabe destacar que a qualidade vertical está associada à superfície de referência adotada em posicionamentos por satélite, ou seja, o elipsóide de revolução. Portanto, isto significa que o GPS fornece, com aquelas qualidades, valores de altitude elipsoidal. Considerando que normalmente a referência adotada para as altitudes é o geóide e não o elipsóide, há a necessidade de se adicionar os valores de ondulação geoidal, obtidos a partir do Mapa Geoidal do Brasil, aos resultados altimétricos do GPS a fim de serem obtidos os valores de altitude referenciados ao geóide. Atualmente, a qualidade dos valores de ondulação geoidal obtidos do mapa é inferior à fornecida pelo GPS, o que ocasiona que o erro das determinações altimétricas derivadas do GPS é proveniente, principalmente, do mapa geoidal.

4. RECOMENDAÇÕES PRELIMINARES PARA POSICIONAMENTO GEODÉSICO DIFERENCIAL COM GPS

4.1 SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS

4.1.1 Receptores e Antenas

Considerando que a precisão geodésica só é alcançada com o posicionamento relativo, pelo menos dois receptores devem ser utilizados em qualquer projeto (até a operacionalização da RBMC). Entretanto, devido às vantagens decorrentes do uso de um número maior de receptores (aumento da produção, conexão múltipla a estações adjacentes, repetição de linhas de base e maior rigidez geométrica), o emprego de um mínimo de 4 receptores otimiza a relação custo/benefício.

Receptores de diferentes modelos ou fabricantes podem ser usados em um mesmo projeto (veja item 4.6). Entretanto, deve-se garantir a simultaneidade das observações através da seleção de intervalos de tempo apropriados entre épocas medidas (taxa de observação). Além disto, os fabricantes devem suprir rotinas de conversão dos diferentes formatos de arquivos de observação gravados pelos diferentes receptores para um formato único, de forma a ser possível a formação das duplas diferenças de fase em um processamento simultâneo. Recomenda-se a adoção do formato RINEX2 (*Receiver Independent Exchange Format Version 2*) como formato único.

Apesar de ser admissível o uso de diferentes receptores em um mesmo projeto, ressalta-se que cada tipo de antena possui a sua própria definição do centro de fase, que varia, inclusive, com a direção do satélite que está sendo rastreado. Recomenda-se, portanto, o uso do mesmo tipo de antena para todos os receptores, de forma que sejam minimizados os erros sistemáticos provenientes de diferentes definições de centros de fase. Além disto, idealmente deve ser selecionado o tipo de antena que apresente a menor sensibilidade aos efeitos de multicaminhamento da onda (*multipath*) e a menor variação de centro de fase.



TABELA 2 - Técnicas de Posicionamento com o sistema GPS

TÉCNICA	APLICAÇÕES	OBSERVAÇÃO	PRECISÃO (sem S.A.)	PRECISÃO (com S.A.)
Ponto Isolado instantâneo	Navegação Reconhecimento	código C/A (Pseudo-distância)	30 m	120 m
		código P (Pseudo-distância)	20 m	120 m
DGPS	Navegação Engenharia	código C/A (Pseudo-distância)	1 a 10 m	1 a 10 m
		código P (Pseudo-distância)	ND	ND
Ponto Isolado acumulado	Topografia Engenharia	código C/A (Pseudo-distância)	20 m	ND
		códigos C/A e P (Pseudo-distância)	3 m	ND
Diferencial com código acumulado	Topografia Engenharia	código C/A (Pseudo-distância)	3 a 5 m	3 a 5 m
		códigos C/A e P (Pseudo-distância)	1 m	1 m
Interferometria (Estático)	Geodésia (bases curtas) Geodésia	portadora L1	2 ppm	2 ppm
		portadoras L1 e L2	1 ppm	1 ppm
Interferometria (Cinemático)	Geodésia (bases curtas)	portadora L1	2 ppm	2 ppm
		portadoras L1 e L2	1 ppm	1 ppm
Interferometria (Pseudo-Cinemático)	Geodésia	portadora L1	2 ppm	2 ppm
		portadoras L1 e L2	1 ppm	1 ppm
Estático-Rápido e Solução de Ambiguidades em Tempo Real	Geodésia	portadoras e código P em L1 e L2 (sem S.A.); portadoras, código C/A em L1 e correlação cruzada do código P (com S.A.)	1 ppm	1 ppm
Relaxação Orbital	Geodésia (fins científicos)	portadoras L1 e L2	0,1 ppm	0,1 ppm
Integração Orbital	Geodinâmica	portadoras L1 e L2	0,01 ppm	0,01 ppm

ND - não definido

4.1.2 Receptores de uma e duas frequências

Para levantamentos onde se busca uma maior precisão em longas linhas de base ou em áreas de forte atividade ionosférica, recomenda-se o uso de receptores de duas frequências (L1 & L2). Os distúrbios na ionosfera podem causar a perda do sinal, ocasionando aparentemente dados com ruídos. Os ruídos podem ter a dimensão de um ciclo ou mais, tornando impossível distinguir entre variações da ionosfera e perda de ciclos (*cycle slips*). Com receptores de duas frequências, os efeitos principais da refração ionosférica podem potencialmente ser corrigidos, sendo que os que recuperam L2 (e até L1) a partir da geração de



uma réplica do código P apresentam maiores condições de correção de perda de ciclos em circunstâncias adversas.

O comportamento da ionosfera é função de muitas variáveis interrelacionadas incluindo ciclo solar, época do ano, hora do dia, localização geográfica e atividade geomagnética. Classicamente, as zonas sob grande perturbação ionosférica situam-se em altas latitudes ($>55^\circ$ Norte ou Sul), que não é o caso do território brasileiro. Entretanto, resultados obtidos na região próxima à Curitiba levantaram suspeitas sobre as influências da Anomalia Geomagnética do Atlântico Sul (*South American Geomagnetic Anomaly - SAGA*) no comportamento da ionosfera, fato que vem sendo pesquisado. Caso sejam confirmadas as suspeitas, levantamentos no sudeste do Paraná e Santa Catarina devem ser realizados com equipamentos de duas frequências.

No caso da utilização de equipamentos de uma frequência, sempre devem ser tomadas precauções adicionais, tais como: aumento do número de repetições de linhas de base, períodos contínuos de observação (sessão) mais longos e conexões adicionais entre estações, de forma que seja garantido que os efeitos sistemáticos oriundos da falta de correção da refração ionosférica não prejudiquem a qualidade do levantamento. Quando possível, a realização da sessão de observação durante a noite pode vir a ser um fator favorável no caso do emprego deste tipo de equipamento.

4.2 RECONHECIMENTO

4.2.1 Seleção dos locais das estações

As observações GPS requerem a intervisibilidade entre a estação e os satélites. Uma vez que os sinais transmitidos podem ser absorvidos, refletidos ou refratados por objetos próximos à antena ou entre a antena e o satélite, recomenda-se que o horizonte em torno da antena esteja desobstruído acima de 15° . No caso da impossibilidade de atendimento desta condição, um gráfico polar da distribuição dos satélites para a localidade em questão é uma ferramenta muito útil para avaliação da influência da obstrução na trajetória dos satélites (veja exemplo de formulário no anexo A).

Deve-se evitar locais próximos a estações de transmissão de microondas, radares, antenas rádio-repetidoras e linhas de transmissão de alta voltagem por representarem fontes de interferência para os sinais GPS.

Multicaminhamento (*multipath*) é o efeito de retardo do sinal causado pela sua reflexão em objetos metálicos ou outras superfícies refletoras. A fim de minimizar este problema, a área situada a 50 metros da estação deve estar livre de estruturas artificiais, particularmente paredes metálicas, cercas ou superfícies naturais. Algumas vezes, um longo período de rastreamento pode reduzir os efeitos do multicaminhamento e esta condição deve ser considerada sempre que a proximidade de superfícies refletoras for inevitável, como em áreas urbanas.

O acesso deve ser considerado na seleção de uma nova estação. Idealmente, o marco deve estar acessível a menos de 30 metros dos meios de transporte. Para levantamentos semi-cinemáticos ou pseudo-cinemáticos, esta condição reveste-se da mais alta importância.

Considerando que o GPS fornece resultados de alta qualidade para posicionamentos geodésicos, deve-se garantir que o local selecionado para a estação seja firme e estável, de forma que a determinação não perca sua exatidão por conta de possíveis abalos no marco.

No caso da necessidade de implantação de marcos de azimute, pode-se utilizar o GPS para o seu posicionamento.

4.2.2 Materialização dos marcos

O sistema GPS proporciona posições tri-dimensionais. Esta característica deve estar refletida no tipo de materialização da estação. Considerando que as especificações para construção e implantação de marcos



geodésicos, abordadas na Norma de Serviço do Diretor de Geociências do IBGE nº 029/88 de 22 de setembro de 1988, contemplam estes requisitos, recomenda-se a sua adoção.

4.3 GEOMETRIA DA REDE

4.3.1 Conexão dos levantamentos a estações de controle existentes

A conexão da rede objeto do levantamento GPS a estações de controle do SGB existentes é realizada com vistas a integrar as novas estações ao SGB, conforme o estabelecido na legislação vigente.

Apesar dos problemas existentes atualmente na utilização de mais de um ponto de controle no processamento de levantamentos GPS precisos (veja itens 3 e 4.5), recomenda-se a conexão da rede levantada a pelo menos 3 pontos de controle, uma vez que, mesmo que apenas um deles participe do ajuste isolado da rede GPS, as observações correspondentes podem ser integradas ao ajustamento global das redes componentes do SGB, conduzido pelo IBGE, melhorando a qualidade das informações posicionais a serem repassadas no futuro aos usuários do SGB.

4.3.2 Conexão entre estações novas

Cada estação nova deve ser conectada a, pelo menos, duas outras (novas e/ou de controle) na rede.

Deve ser dada preferência à ocupação simultânea de estações adjacentes na rede, uma vez ser geralmente mais fácil determinar as ambiguidades em linhas de base mais curtas, o que contribui para um aumento da rigidez da rede.

Recomenda-se que, sempre que possível, cada estação do projeto seja ocupada mais de uma vez, em sessões independentes. Apesar do custo adicional decorrente, este procedimento proporciona condições de verificação da ocorrência de erros grosseiros (centragem e altura da antena, identificação do marco, etc), além de aumentar a redundância e, por conseguinte, a rigidez da rede. Além disto, cada sessão de observação deve apresentar pelo menos uma linha de base comum a outra sessão, garantindo que algumas estações da rede sejam reocupadas e permitindo a comparação de resultados de uma mesma linha de base em sessões distintas, o que propicia a análise da variação da escala e orientação entre sessões devido a mudanças nas condições atmosféricas e a erros orbitais. No caso de serem utilizados apenas dois receptores no levantamento, a situação ideal corresponde à dupla determinação de cada linha de base a ser observada.

Acrescenta-se que a formação de figuras geométricas fechadas (polígonos) fornece parâmetros de controle de qualidade, desde que os lados sejam determinados em sessões distintas, pois, de outra forma, a determinação de um polígono em uma sessão única fornece lados dependentes entre si, o que ocasiona geralmente a obtenção de bons resultados de fechamento da figura independentemente da qualidade do levantamento.

4.4 OBSERVAÇÕES DE CAMPO

4.4.1 Estacionamento da antena

Esta atividade (identificação do marco, centragem e medição do centro de fase da antena) pode se constituir na maior fonte de erros das operações de campo em levantamentos GPS. Desta forma, é importante adotar-se alguns procedimentos de segurança, principalmente considerando que os erros ocorridos nesta fase só são detectados no caso da repetição da observação da linha de base.

O nivelamento e a centragem da antena devem ser verificados antes e depois de cada sessão de observação. A medição da altura do centro de fase da antena sobre o marco deve ser realizada antes e depois de cada sessão, efetuando-se a leitura ao milímetro e registrando-se os valores no relatório de ocupação. Alguns modelos de antena requerem a sua orientação para o norte verdadeiro.



4.4.2 Duração da sessão de observação

A duração ótima da sessão de observação depende de vários fatores, tais como: precisão requerida, geometria dos satélites, atividade ionosférica, tipo de receptores, comprimento das linhas de base, probabilidade de ocorrência de multicaminhamentos da onda nos locais das estações, método de redução dos dados, *software* utilizado, etc. Considerando ser prematuro o estabelecimento de especificações rígidas para este critério face a estes inúmeros fatores influenciadores, recomenda-se a adoção dos valores constantes da tabela 3 como mínimos que proporcionam a observação de dados suficientes para a solução das ambiguidades:

TABELA 3 - Duração mínima da sessão

COMPRIMENTO DA LINHA DE BASE	DURAÇÃO DA SESSÃO
< 2 km	1 hora
< 50 km	2 horas
< 100 km	4 horas

A experiência a ser adquirida no exaustivo uso do sistema certamente permitirá o detalhamento dos valores especificados na tabela 3.

Ressalta-se que o efeito do multicaminhamento da onda (*multipath*) é função da geometria da configuração dos satélites observados, que por sua vez se modifica com o tempo. Desta forma, quanto maior o período de observação, maior a probabilidade de redução dos efeitos de multicaminhamento.

Naturalmente, os tópicos tratados neste item relacionam-se a posicionamentos estáticos.

4.4.3 Taxa de observação

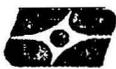
A escolha da taxa de observação, isto é, o intervalo de tempo entre a gravação de observações consecutivas, depende da técnica de posicionamento utilizada no levantamento. A regra geral é que quanto maior a taxa de observação, mais fácil é a detecção e correção de perda de ciclos. Por outro lado, uma taxa muito alta gera arquivos de observação muito grandes, dificultando sua manipulação. De uma maneira geral, para posicionamentos estáticos, a taxa de uma observação a cada 15 segundos tem se mostrado adequada. Para posicionamentos cinemáticos, uma taxa mais alta pode ser necessária.

4.4.4 Observação de condições meteorológicas

A necessidade de observação de dados meteorológicos é função dos requisitos de precisão, comprimento das linhas de base, diferença de altitude entre as estações e a finalidade do projeto.

Em geral, para levantamentos locais e regionais, as observações meteorológicas não são necessárias. Nestes casos, pequenos erros nos dados meteorológicos (devidos, por exemplo, a instrumentos descalibrados) podem introduzir erros sistemáticos maiores do que aqueles que ocorreriam caso fosse utilizada uma atmosfera padrão com um modelo de refração troposférica como o de Saastamoinen ou Hopfield.

Para levantamentos onde se busca exatidões da ordem de 0,1 ppm, ou com linhas de base sistematicamente maiores que 100 km ou com grandes diferenças entre as altitudes das estações (várias centenas de metros), pode ser necessário observar-se as condições meteorológicas. Neste caso, devem ser tomadas as temperaturas seca, úmida (ou umidade relativa) e pressão atmosférica no início e fim da sessão, sempre que houver a mudança brusca das condições do tempo e pelo menos a cada hora se a sessão for mais longa. As temperaturas e a umidade relativa devem ser medidas a uma altura do solo que evite o gradiente criado por efeitos de aquecimento do solo. As temperaturas devem ser lidas com aproximação de 0,1°C e a umidade relativa de 2%. A pressão atmosférica deve ser medida à altura do centro de fase da



antena com aproximação de 0,2mmHg ou 0,3mb. Recomenda-se que os instrumentos sejam aferidos antes da campanha e comparados entre si pelo menos uma vez por semana durante o andamento do projeto.

4.4.5 Anotações de campo

O anexo A deste documento contém os formulários adotados pelo IBGE em levantamentos geodésicos diferenciais com GPS, a título de sugestão. Estes formulários foram projetados de forma a atender às recomendações constantes destas normas.

4.5 PROCESSAMENTO

A fim de que qualquer problema seja rapidamente identificado e sejam adotadas as medidas necessárias para sua correção, os dados observados devem ser processados logo que possível após a sessão de observação.

As diferenças obtidas para resultados de linhas de base observadas mais de uma vez devem ser comparadas tendo por base os requisitos de precisão para o projeto.

Os sistemas de processamento de observações GPS existentes geralmente classificam as soluções em três tipos (os nomes podem variar):

- Solução *DUPLA-FIX*: resultante do processamento de duplas diferenças de fase onde foi possível determinar as ambiguidades como números inteiros; normalmente, este é o tipo de solução encontrada para linhas de base curtas (< 15 Km), fornecendo, neste caso, os resultados de melhor qualidade em comparação com os outros dois tipos de solução;
- Solução *DUPLA-FLOAT*: resultante do processamento de duplas diferenças de fase onde não foi possível determinar as ambiguidades como números inteiros; normalmente, é a solução obtida para linhas de base médias e longas que apresentam observações de boa qualidade;
- Solução *TRIPLA*: proveniente do processamento de triplas diferenças de fase; normalmente, é a solução indicada para longas linhas de base (> 100 Km) que apresentam observações de qualidade insuficiente para a obtenção da solução *DUPLA-FLOAT*, devido, por exemplo, a inúmeras ocorrências de perdas de ciclos.

Conforme o exposto anteriormente, o GPS proporciona atualmente resultados com qualidade superior a da rede clássica de controle. Até que esta situação esteja resolvida com a conclusão do ajustamento da rede planimétrica do SGB, em fins de 1993, a finalidade do projeto indicará a melhor solução para a questão. No caso dos requisitos de precisão serem muito rígidos, do nível dos fornecidos pelo GPS (1 a 2 ppm), os usuários deverão realizar o ajustamento final (tridimensional) da rede levantada considerando fixa apenas uma estação de controle. Caso contrário, a precisão GPS será degradada pelas injunções da rede pré-existente. Este procedimento apresenta o inconveniente de gerar uma rede GPS que pode apresentar diferenças sistemáticas significativas em relação ao controle não utilizado existente na região. Se os requisitos de precisão para o projeto forem compatíveis com a rede clássica (10 ppm), mais de um ponto de controle poderá participar do ajuste final, o que propiciará a obtenção de resultados homogêneos com o restante do controle existente na região.

Qualquer que seja o procedimento adotado para o projeto, é **EXTREMAMENTE IMPORTANTE** que os dados sejam enviados para o IBGE, não só pelo papel desempenhado por esta instituição como gestora do SGB, mas principalmente pelos benefícios que a integração destes dados ao processo de ajustamento das redes componentes trará à qualidade final das coordenadas das estações que, em última instância, será repassada aos usuários pertencentes à comunidade cartográfica nacional. Os procedimentos para tal encaminhamento serão oportunamente divulgados pelo IBGE.



4.6 CALIBRAÇÃO

Recomenda-se a execução da calibração de equipamentos e métodos para o controle de erros sistemáticos em levantamentos GPS. Esta operação deve ser realizada a partir do levantamento de uma rede de teste pré-implantada. Com este objetivo, o IBGE está desenvolvendo um projeto de implantação de um campo de provas, no Rio de Janeiro, para servir de padrão nos testes de instrumentos, processamento e análise de dados.

Esta recomendação reveste-se de grande importância no caso de levantamentos realizados com receptores e antenas de diferentes modelos e fabricantes.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blitzkow D., Cintra J.P., Fonseca Jr E.S.da, Lobianco M.C.B. e Fortes L.P.S.. **Mapa Geoidal do Brasil - 1992**. EPUSP - PTR e Departamento de Geodésia - IBGE. Rio de Janeiro. Novembro de 1992.
- Canadian Institute of Surveying and Mapping. **Proceedings of the Second International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System - GPS'90**. Ottawa. 3 a 7 de setembro de 1990.
- Costa S.M.A. e Fortes L.P.S.. **Ajustamento da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro**. XV Congresso Brasileiro de Cartografia. São Paulo. 28 de julho a 2 de agosto de 1991.
- Defense Mapping Agency (DMA) e National Geodetic Survey (NGS). **Proceedings of the Fifth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning**. Physical Science Laboratory, New Mexico State University. Las Cruces. 13 a 17 de março de 1989.
- Federal Geodetic Control Committee (FGCC). **Geometric Geodetic Accuracy Standards and Specifications for Using GPS Relative Positioning Techniques (Version 5.0 Reprinted with corrections)**. United States National Geodetic Survey, NOAA. Rockville. 01 de agosto de 1989.
- Fortes L.P.S., Cagnin I.F., Godoy R.A.Z. e Blitzkow D.. **Determinação dos Parâmetros de Transformação entre os Sistemas NWL-10D, NSWC-9Z2, WGS-84 e o SAD-69**. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Cartografia, vol. 1, pp 157-165. Gramado. 1989.
- Fortes L.P.S. e Godoy R.A.Z.. **Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema de Posicionamento Global - GPS**. Coletânea de Trabalhos Técnicos do XV Congresso Brasileiro de Cartografia, vol. 3, pp 677-682. São Paulo. 1991.
- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em Território Brasileiro**. RPR nº 22/83, Boletim de Serviço nº 1602 (Suplemento). Rio de Janeiro. 01 de agosto de 1983.
- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Padronização de Marcos Geodésicos**. Norma de Serviço do Diretor de Geociências nº 029/88. Rio de Janeiro. 22 de setembro de 1988.
- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Parâmetros para Transformação de Sistemas Geodésicos**. RPR nº 23/89. Rio de Janeiro. 21 de fevereiro de 1989.
- Geodetic Survey of Canada. **Preliminary Recommendations for Establishment of GPS Calibration Basenets (Draft)**. Geodetic Survey Division, Surveys, Mapping and Remote Sensing Sector, Energy, Mines and Resources Canada. Ottawa. Fevereiro de 1987.
- Geodetic Survey of Canada. **Guidelines and Specifications for GPS Surveys (Draft 2.0)**. Geodetic Survey Division, Surveys, Mapping and Remote Sensing Sector, Energy, Mines and Resources Canada. Ottawa. Maio de 1991.
- Gurtner W. e Mader G.. **Receiver Independent Exchange Format Version 2 (RINEX 2)**. International Coordination of Space Techniques for Geodesy and Geodynamics (CSTG) GPS Bulletin, vol. 3, nº 3, pp 1-8. Rockville. Setembro/Outubro de 1990.
- Leick, A. **GPS Satellite Surveying**. Wiley-Interscience. New York. 1989.
- Neilan, R. **International GPS Geodynamics Service Standards for Data Acquisition and Sites**. International Association of Geodesy. Pasadena. 22 de fevereiro de 1991.
- Talbot, C.A. **Recent Advances in GPS Surveying**. National Conference on GPS Surveying. Sydney. 25 a 26 de junho de 1992.



Wanninger L., Seeber G. e Campos M.A.. Use of GPS in the South of Brazil under Severe Ionospheric Conditions. IAG Symposium G1 Joint Symposium IAG/PAIGH, IUGG General Assembly. Vienna. 13 de agosto de 1991.

Wells D.E., Beck N., Delikaraoglou D., Kleusberg A., Krakiwsky E.J., Lachapelle G., Langley R., Nakiboglu M., Schwarz K.P., Tranquilla J. e Vanicek P.. Guide to GPS Positioning. Canadian GPS Associates. Fredericton. 1986.



ANEXO A

**FORMULÁRIOS ADOTADOS PELO IBGE
EM LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS DIFERENCIAIS COM GPS**



ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

DATA:	DIA JULIANO:	PÁG. 1/
-------	--------------	---------

CÓDIGO:	<input type="text"/>	PROJETO:	<input type="text"/>
IDENTIFICAÇÃO:	<input type="text"/>	SESSÃO:	<input type="text"/> ESTADO: <input type="text"/>
MUNICÍPIO:	<input type="text"/>	LOCALIDADE:	<input type="text"/>
INSCRIÇÃO NA CHAPA:	<input type="text"/>		

DESCREVER OS ACESSOS E REFERÊNCIAS QUE PERMITAM UMA BOA CARACTERIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DO PONTO. INCLUIR OS NOMES DAS LOCALIDADES, RUAS, AVENIDAS, ETC. DESCREVER TAMBÉM TODAS AS REFERÊNCIAS E MARCOS EXISTENTES, SOLO E VISÃO GERAL DA ÁREA. FORNECER COORDENADAS APROXIMADAS DO PONTO.

EQUIPE:	<input type="text"/>
---------	----------------------



ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

DESCRIÇÃO DO RASTREIO

DATA:	DIA JULIANO:	PÁG. 3/
-------	--------------	---------

CÓDIGO: [][][][][][]	PROJETO: _____
IDENTIFICAÇÃO: [][][][][][]	SESSÃO: [][][][][] ESTADO: _____
MUNICÍPIO: _____	LOCALIDADE: _____
INSCRIÇÃO NA CHAPA: _____	

	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	DATUM
COORDENADAS APROXIMADAS				

EQUIPAMENTO			HORÁRIO DE RASTREIO		
	MARCA/MODELO	Nº DE SÉRIE		LOCAL	TUC
RECEPTOR	_____	_____	INÍCIO PLANEJADO	_____	_____
ANTENA	_____	_____	FINAL PLANEJADO	_____	_____
			INÍCIO REAL	_____	_____
			FINAL REAL	_____	_____
TAXA DE RASTREIO:		segundos			

ALTURA DA ANTENA				ESQUEMA DA ANTENA	
	INÍCIO	FIM			
1ª	_____	_____	m		
2ª	_____	_____	m		
3ª	_____	_____	m		
MÉDIA	_____	_____	m		
INCLINADA	<input type="checkbox"/>	VERTICAL	<input type="checkbox"/>		
ALTURA INSERIDA NO APARELHO ?		SIM	<input type="checkbox"/>		
		NÃO	<input type="checkbox"/>		
DECLINAÇÃO MAGNÉTICA: _____ °			OBSERVAR ORIENTAÇÃO DE ± 3° EM RELAÇÃO AO NORTE		

DADOS METEOROLÓGICOS					
TEMPO TUC					
TEMP. SECA					
TEMP. ÚMIDA					
PRESSÃO					

EQUIPE: _____

1. FORMATOS E DIMENSÕES

MODELO A

Formato de tronco de pirâmide.
Base quadrangular de 30cm de lado.
Topo quadrangular de 18cm de lado.
Altura 40cm.

FINALIDADES

Marcos principais de Levantamentos Plani-Altimétricos de Alta Precisão e Precisão, Pontos Geosat e Azimute.

MODELO B

Formato de tronco de pirâmide.
Base quadrangular de 15cm de lado.
Topo quadrangular de 10cm de lado.
Altura 20cm.

FINALIDADES

Marcos de profundidade de pontos Planimétricos de Alta Precisão e marcos de segurança de RRNN.

MODELO C

Formato de tronco de pirâmide.
Base quadrangular de 25cm de lado.
Topo quadrangular de 13cm de lado.
Altura 30cm.

FINALIDADE

Marcos de referência de pontos Planimétricos de Alta Precisão.

2 - CONSTRUÇÃO

Adotar o traço-mistura proporcional cimento, areia e pedra - 1x2x4.

Recomenda-se, sempre que possível, a utilização de pedra britada nº 0(zero) ou 1(um).

Os marcos deverão ser confeccionados no acampamento, utilizando-se formas metálicas com as dimensões prescritas para a finalidade respectiva. Em locais de difícil acesso os marcos poderão ser fundidos in loco.

As formas apresentam o formato da figura 1, dotadas de alças laterais, efetuando-se a introdução do concreto pela parte superior, tomando-se o cuidado de usar um anteparo entre a parte inferior e o piso.

Aplicar óleo queimado nas faces internas para facilitar a posterior retirada, vibrar o concreto com auxílio de vibrador portátil ou martelo de borracha.

A chapa padrão IBGE - fig.2 deverá ser fixada no centro do topo do marco, no momento em que a massa adquirir consistência suficiente.

Estampar com numerador de aço de 4mm as seguintes legendas:

RN - matrícula;

VT - nome, código;

SAT - código internacional;

EP - código;

AZIMUTE - nome, código do marco principal;

MRA, MRB, MRC ., nome, código do marco principal.

Estampar o ano de implantação do marco, exceto para RRNN.

As legendas da chapa do marco de profundidade serão idênticas a do marco principal.

Os marcos de segurança de RRNN serão dotados de pino redondo de bronze de meia polegada de diâmetro e duas de comprimento, fixado no centro do topo.

Na porção central da chapa dos marcos de referência e azimute deverá ser gravada seta que defina a direção do marco principal.

3 - IMPLANTAÇÃO

3.1 - MARCOS PRINCIPAIS DE PONTOS PLANIMÉTRICOS DE ALTA PRECISÃO

Abrir uma cava com 50cm de lado até uma profundidade de 20cm.

Reduzir a dimensão do lado da cava para 40cm, acrescentando à profundidade inicial 80cm.

Reduzir a dimensão do lado da cava para 30cm, acrescentando à profundidade 20cm.

Introduzir massa com traço 1x2x4 utilizar pedra britada nº 0(zero) ou 1(um) até uma altura que diste 7cm da borda da cava de 30cm de lado.

Colocar a cabeça do marco modelo B centrada em relação a cava, introduzindo, posteriormente, uma cama-da de massa até atingir o horizonte da cava de 30cm de lado.

Aguardar um período mínimo de 24 horas para a centragem e construção do marco principal.

Colocar sobre a cabeça do marco a caixa protetora de cimento.

Introduzir areia - utilizada para a composição do traço - até um nível de 5cm acima da caixa de proteção da cabeça do marco.

Introduzir massa com traço 1x2x4 - utilizar pedra britada 0(zero) ou 1(um) - até uma altura que diste 7cm da borda da cava.

Assentar o marco principal com a chapa centrada em relação a do marco de profundidade.

Preencher o restante da cava com a massa da fundação.

Com auxílio de réguas de 50cm de comprimento por 10cm de altura, dotadas de dobradiças nas quinas, confecciona-se a sapata de proteção lateral, na qual será gravada em baixo relevo a denominação do marco.

Em relação a um marco Planimétrico de Alta Precisão serão implantados, obrigatoriamente, um marco e profundidade, um marco de azimute e no mínimo dois marcos de referência, obedecendo a seguinte localização:

MARCO DE AZIMUTE - situado a uma distância mínima de 500m com intervisibilidade ao chão. Na impossibilidade de localização ideal para a construção do marco, utilizar pontos bem definidos em edificações existentes.

MARCOS DE REFERÊNCIA - distribuídos em pontos notáveis e propícios à sua preservação em número que possibilite rápida localização do marco principal.

Plataforma Adicional de Proteção - construída a 10cm da sapata de proteção lateral, utilizando-se massa com traço 1x2x4, dimensões de 20cm de largura, 10cm de altura, aflorando 5cm do solo natural, efetuando-se a amarração das quinas através de vergalhão dobrado em ângulo reto.

Em áreas de cultura deverá ser implantada sinalização constituída por tubo de pvc de 10cm de diâmetro com estrutura em concreto, ou poste similar aflorando 2m do solo natural, pintado em faixas horizontais alternadas de 50cm nas cores branca e laranja, distando 1,5m do marco principal. A cor laranja deverá ser aplicada na faixa do ápice da sinalização.

3.2 - MARCOS PRINCIPAIS DE PONTOS ALTIMÉTRICOS DE ALTA PRECISÃO - RRNN

Abrir uma cava com 50cm de lado até uma profundidade de 20cm.

Reduzir a dimensão do lado da cava para 40cm, acrescentando à profundidade inicial 60cm.

Introduzir massa com traço 1x2x4 - utilizar pedra britada nº 0(zero) ou 1(um)- até uma altura que diste 7 cm da borda da cava.

Assentar o marco principal, preencher o restante da cava com a massa da fundação.

Com auxílio de réguas de 50cm de comprimento por 10cm de altura, dotadas de dobradiças nas quinas confecciona-se sapata de proteção lateral, na qual será gravada em baixo relevo a denominação do marco.

Plataforma Adicional de Proteção - construída a 10cm da sapata de proteção lateral, utilizando-se massa traço 1x2x4, dimensões de 20cm de largura, 10cm de altura, aflorando 5cm do solo natural, efetuando-se a amarração das quinas através de vergalhão dobrado em ângulo reto.

Marcos de Nivelamento Geométrico de Alta Precisão só poderão ser ocupados 15(quinze) dias após sua implantação.

3.3 - MARCOS DE SEGURANÇA DE RRNN

Deverá ser implantado junto ao marco principal, 2m aquém no sentido da linha de nivelamento.

Abrir uma cava com 30cm de lado e 80cm de profundidade.

Introduzir massa com traço 1x2x4 - utilizar pedra britada nº 0(zero) ou 1(um) - até uma altura que diste 40cm da borda da cava.

Assentar o marco de profundidade, introduzindo após o recalque, quantidade de massa que permita um afloramento de aproximadamente 10cm da fundação. Após a medição, aterrar a cava.

3.4 - MARCOS PLANIMÉTRICOS DE PRECISÃO

Adotar o procedimento de implantação previsto para marcos Planimétricos de Alta Precisão, excluindo o marco de profundidade e a plataforma adicional de proteção.

3.5 - MARCOS DE AZIMUTE

Adotar o procedimento de implantação previsto para marcos Planimétricos de Alta Precisão, excluindo o marco de profundidade e a plataforma adicional de proteção.

3.6 - MARCOS DE REFERÊNCIA

Abrir uma cava com 40cm de lado e 80cm de profundidade.

Introduzir massa com traço 1x2x4 - utilizar pedra britada nº 0(zero) ou 1(um) - até uma altura que diste 7cm da borda da cava.

Assentar o marco com seta gravada na chapa direcionada para o marco principal.

Preencher o restante da cava com a massa da fundação.

Com auxílio de reguas de 40cm de comprimento por 10cm de altura, dotadas de dobradiças nas quinas confecciona-se a sapata de proteção lateral, na qual será gravada em baixo relevo a denominação do marco.

3.7 - TONALIDADE

Deverá ser aplicada sobre o marco e a plataforma adicional de proteção revestimento em tinta especial para cimentados na tonalidade laranja.

3.8 - MONUMENTAÇÃO EM CLAREIRAS

Tronco de cone em alumínio - laterais vazadas com furações alternadas de 3cm de diâmetro.

Espessura 5mm.

Diâmetro da base 20cm.

Diâmetro do topo 15cm.

Altura 50cm.

Estampar no topo com numerador de aço de 4mm:

IBGE;

SAT-código internacional.

Implantar com utilização de traço 1x2x4 para massa da fundação, aflorando 25cm do solo natural.

3.9 - CHAPAS CRAVADAS

Poderão ser utilizadas em substituição aos marcos tendo como base afloramentos rochosos de porte, base de monumentos, soleiras de edificações, enfim, qualquer superfície sólida que possibilite a preservação da marca por período significativo.

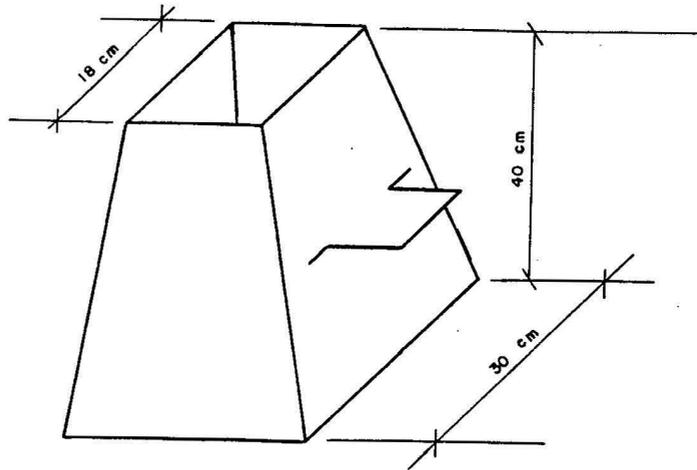
4.0 - UTILIZAÇÃO

Marcos Planimétricos e Altimétricos de Alta Precisão.

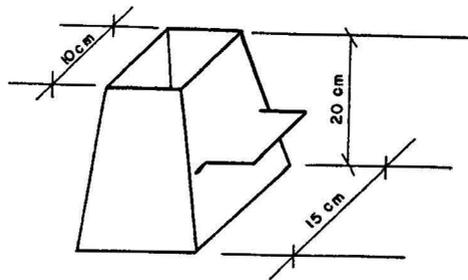
MARCOS GEODÉSICOS

FORMAS

MODELO A



MODELO B



MODELO C

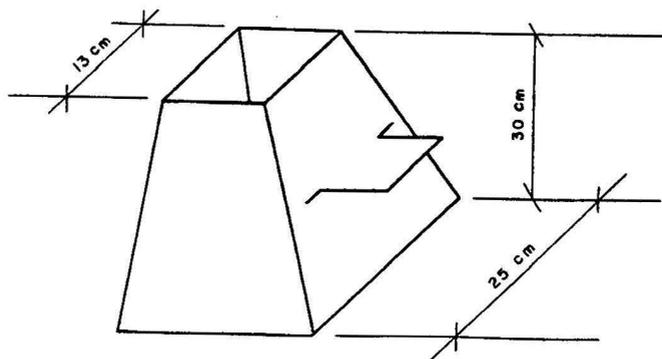


FIGURA 1

CHAPA PADRÃO IBGE

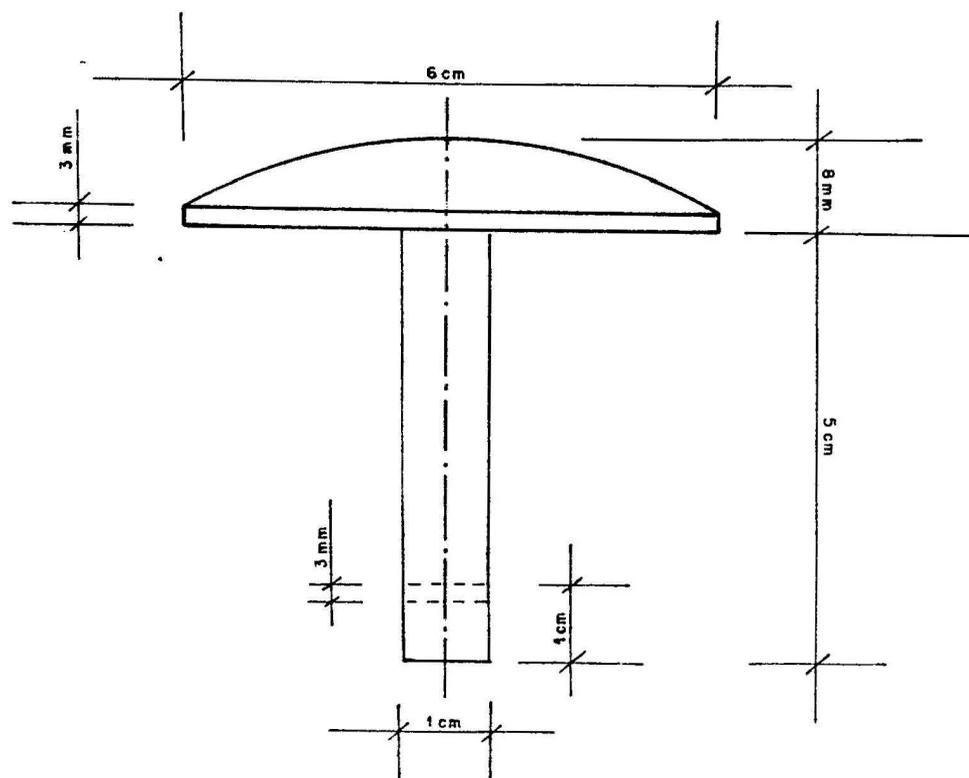
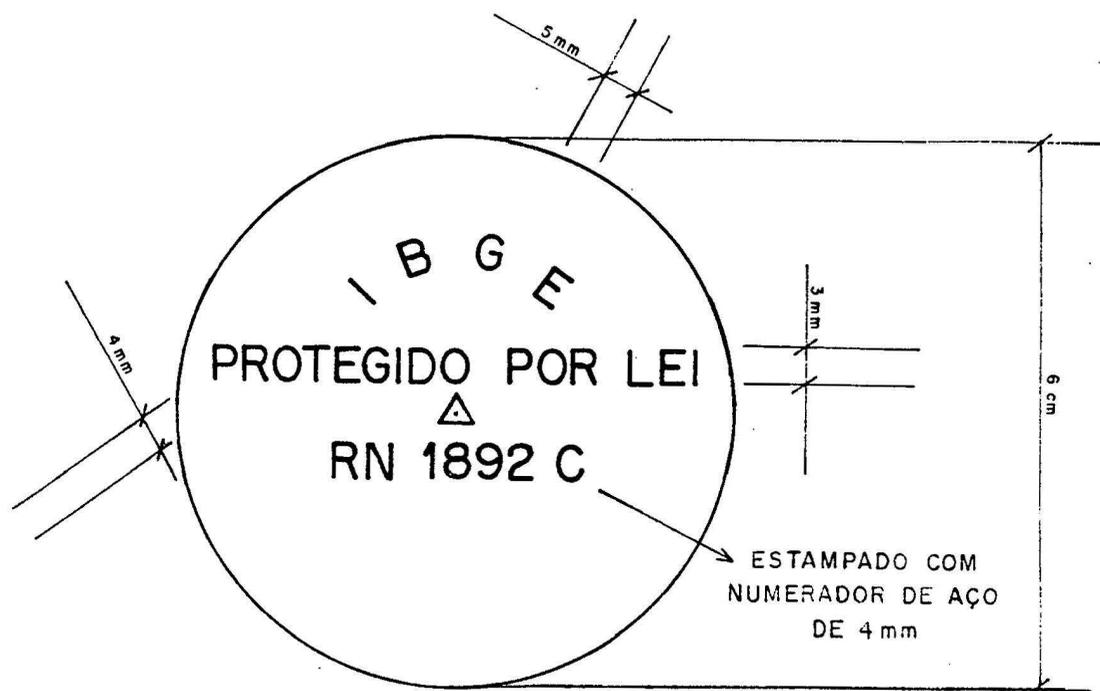
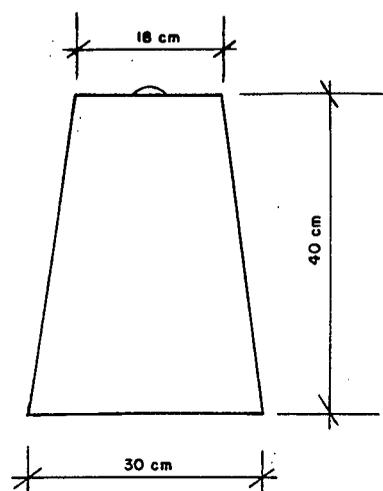


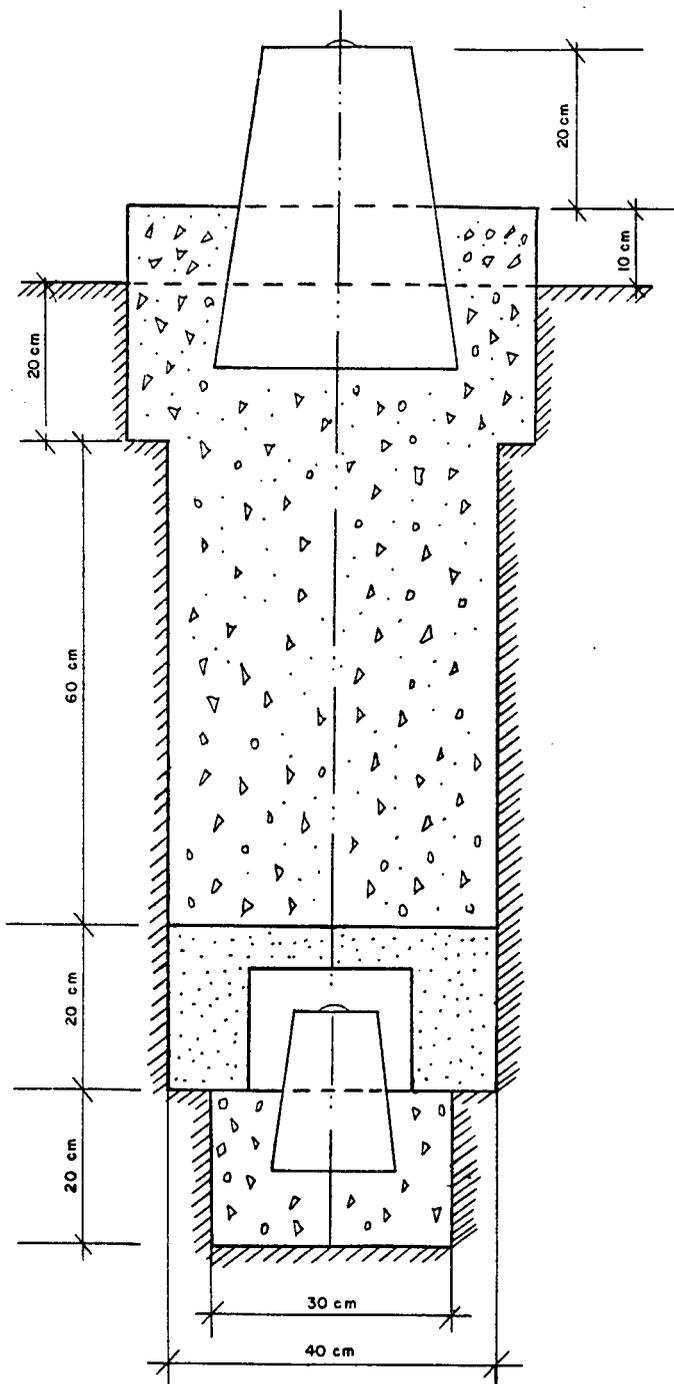
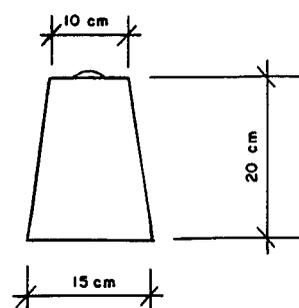
FIGURA 2

MARCOS GEODÉSICOS

MODELO A



MODELO B



CAIXA DE PROTEÇÃO

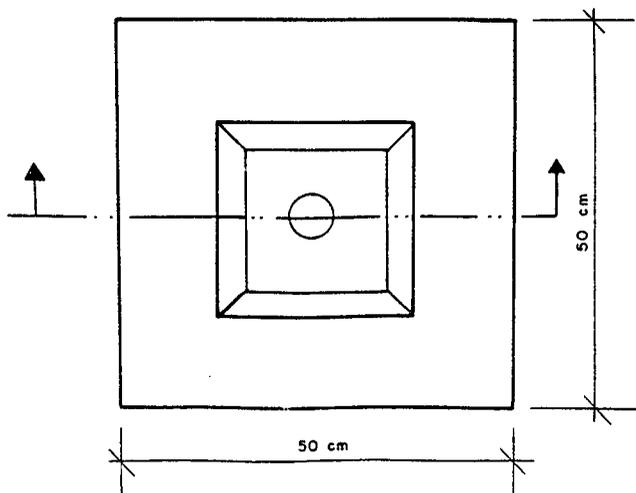
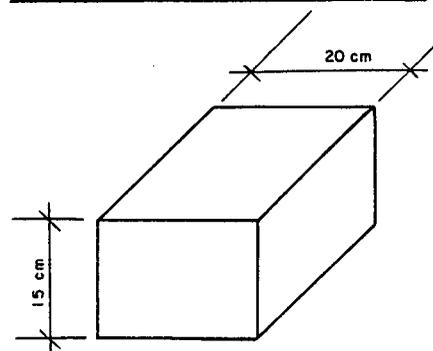
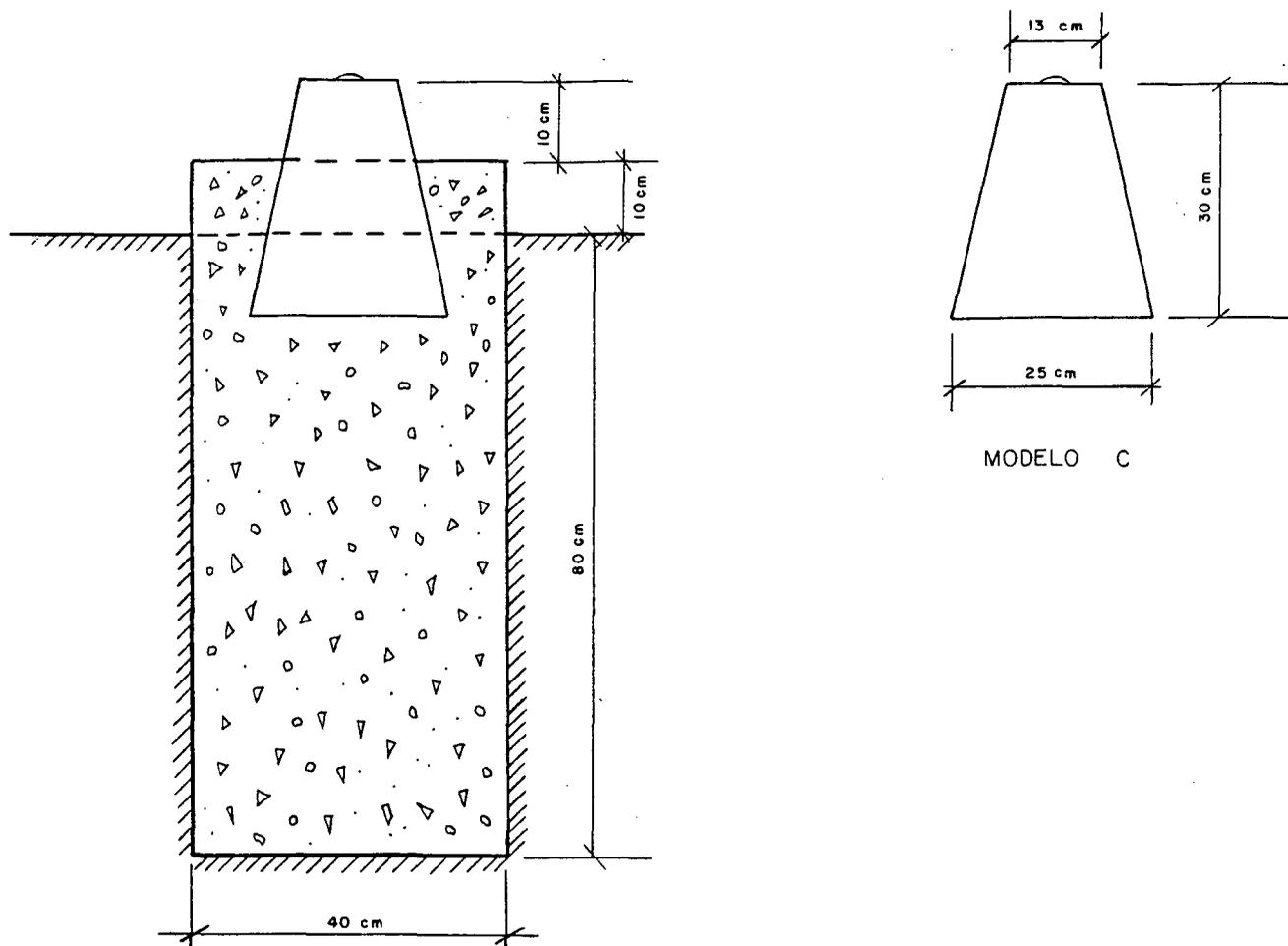


FIGURA 3

MARCOS GEODÉSICOS



PLATAFORMA DE PROTEÇÃO ADICIONAL

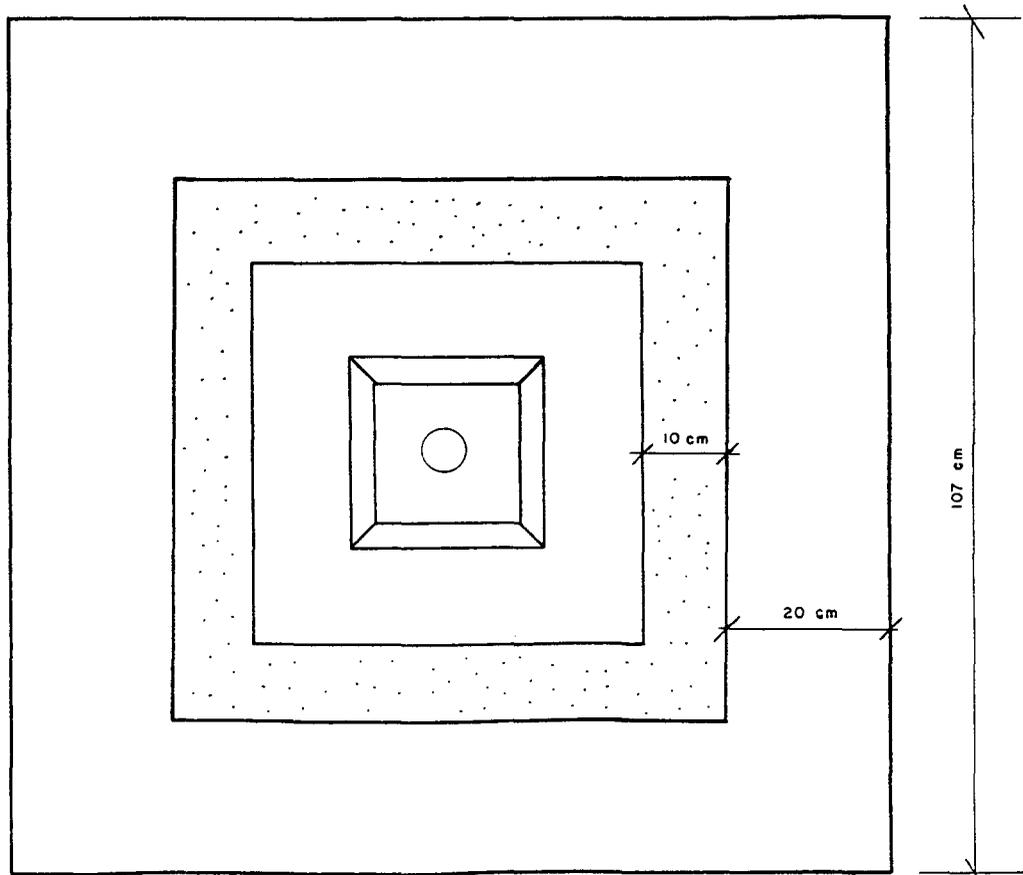
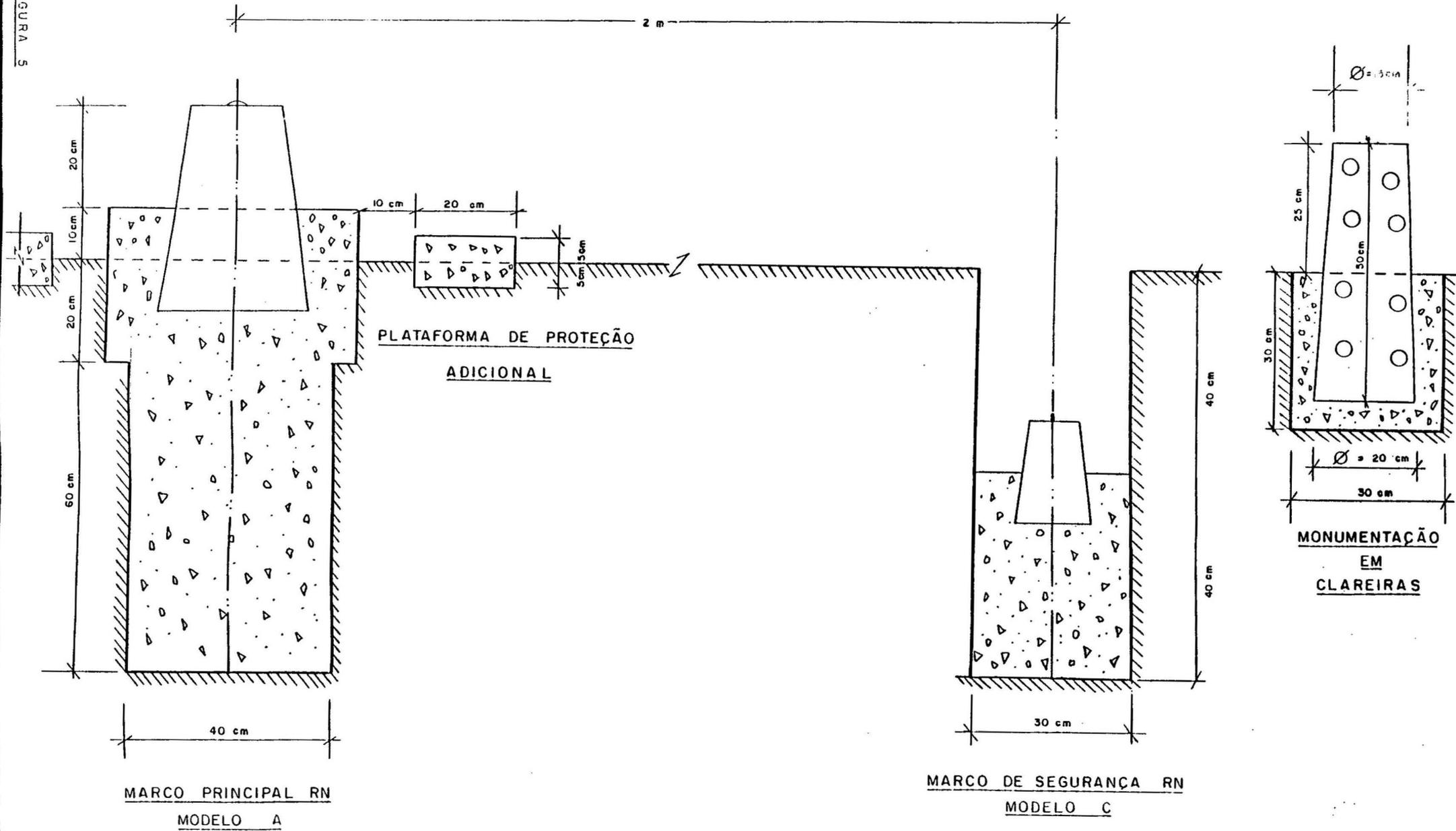


FIGURA 4

FIGURA 5



**VERIFICAÇÃO DA REALIDADE
FÍSICA DO SGB**

**Instrução de Serviço
(Preliminar)**

INSTRUÇÃO DE SERVIÇOS

Verificação da Realidade Física do S.G.B.

1 - INTRODUÇÃO

A coleção de Estações Geodésicas espalhadas no território nacional, representa a materialização do Sistema Geodésico Brasileiro que subsidia a comunidade usuária com informações que proporcionam um melhor planejamento das operações de caráter geodésico/topográfico nas suas mais diversas aplicações.

O conhecimento da realidade física do SGB, isto é, as condições em que se encontram as Estações Geodésicas, apresentam-se, portanto, como etapa importante na realização da missão institucional do IBGE.

2 - OBJETIVOS:

A presente instrução visa homogeneizar procedimentos no tocante a verificação da realidade física do SGB e tem como principais objetivos:

- Proceder ao levantamento das condições físicas das estações geodésicas, integrantes do SGB; e
- Atualizar os descritivos de acesso e localização das estações geodésicas, integrantes do SGB.

3 - MATERIAL A SER UTILIZADO:

- Folhas topográficas da área a ser trabalhada;
- Descritivos de localização e acesso das estações a serem visitadas;
- Máquina fotográfica;
- Bússola;
- Trena;
- Formulário de visitas às estações (anexo1);
- Formulário com gráfico de visibilidade para observações GPS (anexo2);
- Formulário para decalque da chapa, croquis e foto do marco principal (anexo3);
- Rastreadores GPS topográficos;
- Material de divulgação (folder, mapa calendário, informativo de proteção aos marcos geodésicos);
- Clinômetro.

4 - CONCEITUAÇÃO QUANTO AS CONDIÇÕES DAS ESTAÇÕES:

4.1 - BOM:

Quando a chapa da estação geodésica encontra-se intacta.

4.2 - DESTRUÍDO:

a) quando o marco estiver tombado ou ainda não estando a vista, houver a possibilidade de definir sua antiga localização, através de vestígios ou, se for o caso, do marco de profundidade, marco de azimute ou referências.

b) quando o marco estiver intacto, porém sem chapa.

c) quando o marco estiver intacto, porém com a chapa danificada.

4.3 - NÃO VISITADO:

Quando não houver possibilidade de deslocamento até o local da estação.

4.4 - NÃO ENCONTRADO:

Quando esgotadas todas as alternativas de confirmação da existência do marco no local.

4.5 - NÃO CONSTRUÍDO:

Quando se tratar de marcos de referência, azimute ou segurança.

5 - PROCEDIMENTOS:

- Utilizar o descritivo em conjunto com a folha topográfica, buscando coletar novas informações e atualizar as já existentes;
- Proceder o decalque da chapa de todas as estações visitadas, em formulário próprio;
- Informar, no caso das estações não visitadas, as dificuldades encontradas;
- Informar, no caso das estações em bom estado:
 - a) conhecedores da estação (se houver);
 - b) possibilidade de conexão por nivelamento geométrico, em se tratando de estações planimétricas;
 - c) possibilidade de recuperação do marco, no caso de estações planimétricas em que for comprovada a existência do marco de profundidade;
 - d) possibilidade de reocupação com rastreadores de satélites, preenchendo o formulário do gráfico de visibilidade.
- No caso de estações altimétricas, determinar coordenadas utilizando rastreadores GPS topográficos;
- Proceder a construção da Plataforma Adicional de Proteção de acordo com a NSDGC nº 029/88, nos marcos em que isto for possível, além de efetuar a pintura na coloração laranja, inclusive azimute e referências, se for o caso
- Fotografar, sempre que possível, as estações principais visitadas, identificando a matrícula anexando a foto no formulário próprio.

6 - DIVULGAÇÃO

A atividade de verificação da Rede Geodésica deve ser feita em conjunto com uma divulgação sobre a importância das estações, junto aos órgãos de administração municipal, proprietários dos locais onde se encontram e, se possível, público em geral, através da imprensa local.

7 - REMESSA DE DADOS AO DEGED

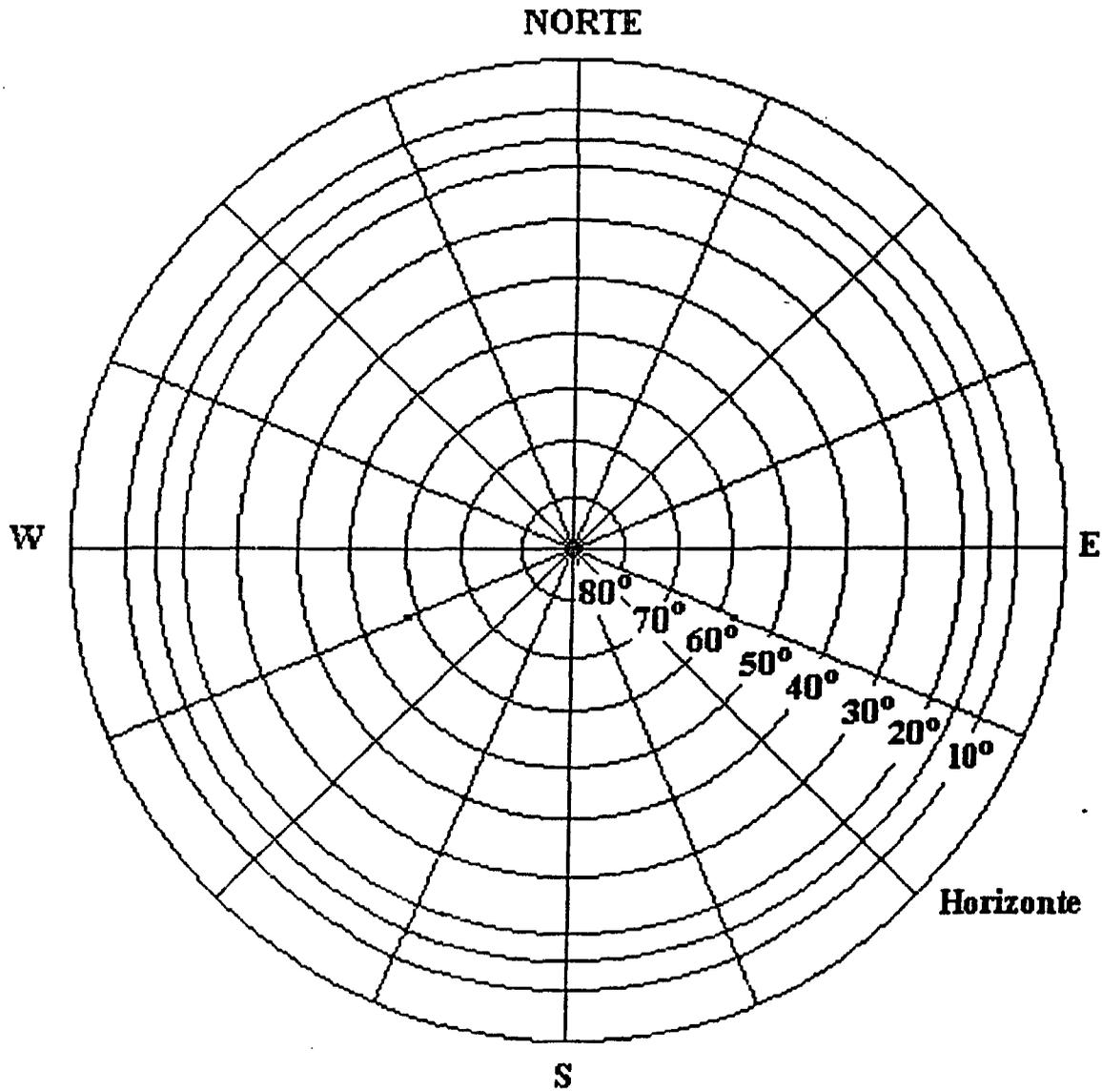
Enviar ao DEGED, os originais dos formulários, devidamente preenchidos, excetuando-se o relativo a situação dos marcos cujos dados devem ser encaminhados, em meio magnético, utilizando-se o SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PRIMÁRIOS e as atualizações das descrições que devem, também, ser enviados nos sistemas próprios de aquisição.

INSTRUÇÕES PARA O PREENCHIMENTO DE DESCRIÇÃO DE RN

QUADRO	CAMPO	COLUNAS	PREENCHIMENTO DO FORMULÁRIO
-	RN	01 a 04 05	NUMERO DA RN A SER DESCRITA SUA RESPECTIVA LETRA
-	TIPO DE MONUMENTAÇÃO	01 a 03	MARCAR COM UM "X" NA COLUNA DO TIPO DE MATERIALIZAÇÃO ADOTADA
-	DATA	01 a 06	DIA, MES E ANO DA ELABORAÇÃO DA DESCRIÇÃO
-	UF	01 e 02	SIGLA DA UNIDADE DA FEDERAÇÃO ONDE SE LOCALIZA A RN
	DISTANCIA	01 a 04 05	DISTANCIA DA RN A REFERENCIA (EM METROS) E SUA RESPECTIVA DECIMAL
	REFERENCIA	01 a 03	MARCAR COM UM "X" NA COLUNA DA REFERENCIA ADOTADA
	RODOVIA	01 e 02 03 a 05	SIGLA DE IDENTIFICAÇÃO DA RODOVIA (BR, RJ, SP,...) NUMERO DE IDENTIFICAÇÃO DA RODOVIA
MEMORIAL DESCRITIVO	LOCALIZAÇÃO		DADOS COMPLEMENTARES PARA LOCALIZAÇÃO DA RN IMPLANTADA (NUMERO DE COLUNAS INDETERMINADO - CONTINUAR EM OUTRA FOLHA CASO SEJA NECESSARIO) (1)
	DESCRIÇÃO		RETRATAR FORMATO, DIMENSÕES E CARACTERÍSTICAS DO MARCO E INSCRIÇÕES NA CHAPA
	ITINERÁRIO		DETALHAMENTO DO PERCURSO DE ACESSO AO MARCO QUANDO HOVER NECESSIDADE
	OBSERVAÇÃO		NOME DO PROPRIETÁRIO DO LOCAL ONDE ESTA IMPLANTADO O MARCO, NOME DOS MORADORES DA REGIÃO CONHECEDORES DO LOCAL E DEMAIS OBSERVAÇÕES QUE SE FACAM NECESSARIAS.
COORDENADAS PLANIMET.	FONTE	01 a 03	MARCAR COM UM "X" NA COLUNA CORRESPONDENTE A FONTE ADOTADA
	LATITUDE	01 a 10	SINAL, GRAU, MINUTO, SEGUNDO E MILESIMO DE SEGUNDO (SE HOVER)
	LONGITUDE	01 a 09	GRAU, MINUTO, SEGUNDO E MILESIMO DE SEGUNDO (SE HOVER)
	DATUM	01 a 04	MARCAR COM UM "X" NA COLUNA DO TIPO DE DATUM ADOTADO
	MC	01 e 02	MERIDIANO CENTRAL DA QUADRICULA ONDE SE ENCONTRA A RN
	UTM N(m)	01 a 07	COORDENADA UTM NORTE
	UTM E(m)	01 a 06	COORDENADA UTM LESTE

Anexo 2

Visibilidade (Identificar as obstruções e suas respectivas distâncias em relação à estação, indicar se a declinação magnética foi ou não considerada)



Declinação Magnética

--	--

Aplicada à figura?

 Sim
Não



IBGE - Departamento de Geodésia

ESTAÇÃO

ESQUEMA DE LOCALIZAÇÃO

FOTO

DECALQUE