

APLICAÇÃO DOS GEO-RECEPTORES EM GEODÉSIA

ENG.º DORIVAL FERRARI
Chefe do Dept.º de Geod. e Topog. do IBGE

1. INTRODUÇÃO

Inúmeros projetos geodésicos utilizando satélites artificiais têm sido postos em execução em várias partes do mundo, visando basicamente à medição de longas distâncias, à verificação da precisão de redes geodésicas ou ao simples posicionamento de estações no Globo terrestre, ou ainda às variações do seu campo gravitacional.

De início, com câmaras fotográficas especiais (BC 4 e PC. 1000), através de demoradas exposições, se podia obter o traçado da trajetória do satélite confrontada com as trajetórias de várias estrelas conhecidas.

Em seguida surgiu o processo "SECOR" — "SEQUENTAL COLATION RANGE", que utilizava o princípio da comparação de fase de ondas eletromagnéticas.

O diferença essencial entre esses processos e os conhecidos projetos HIRAN e SHIRAN, do ponto de vista geodésico, é a altitude da espaçonave. Sendo esta muito maior para os satélites, amplia-se o horizonte e torna-se possível a medição de distâncias muito mais longas, sem que esses projetos se afastem, entretanto, dos princípios básicos da triângulo ou da trilateração.

Enquanto nos sistemas Hi-

RAN e SHIRAN é possível medirem-se distâncias de 400 ou 500 quilômetros, de uma estação espacial, as distâncias atingem facilmente a 3.000 quilômetros ou mais.

O mais recente método de Geodésia a Satélite e que se apresenta com características inteiramente novas é o do "Geoceiver".

Medindo o efeito Doppler de um satélite em órbita, o Geoceiver proporciona a determinação das coordenadas absolutas do local da observação.

Diferindo das coordenadas astronômicas, as quais definem a direção da vertical, as obtidas pelo Geoceiver definem Posição e podem ser referidas a um sistema cartesiano e também a um elipsóide de referência qualquer.

Desta forma, fixados os parâmetros, o Geoceiver fornece, diretamente, coordenadas geodésicas — latitude, longitude e altitude, de alta precisão.

2. HISTÓRICO

O efeito Doppler é conhecido há mais de um século, pois, em 1842, Christian Doppler, matemático austríaco, verificou que a cor da luz proveniente de uma estrela variava com o movimento aparente da mesma em relação ao observador. Essa descoberta foi mais tarde

comprovada pelo próprio Christian Doppler, em 1845.

Entretanto o princípio, conhecido como "efeito Doppler", só veio a ser utilizado na obtenção de posições geodésicas precisas, muito recentemente, com o advento da era espacial. Um satélite que transmitisse sinais numa freqüência contínua e constante, rastreado por um sensor terrestre, pareceria, para o sensor, possuir uma freqüência muito alta, quando a espaçonave estivesse aproximando-se do receptor e uma freqüência muito mais baixa, ao se afastar. O conhecimento dessa mudança de freqüência pode ser usado para determinar a órbita do satélite, se a posição da estação é conhecida, ou para determinar a posição da estação terrestre, se a órbita for conhecida.

Vários satélites irradiam sinais adequados à locação precisa de estações, utilizando o efeito Doppler. Esses satélites transportam osciladores que irradiam, continuadamente, pares de freqüências portadoras de 150/400 Mhz ou 162/324 Mhz. Esses pares de freqüências possibilitam as correções de refração ionosférica a serem feitas na fase posterior de redução dos dados.

Os satélites mais utilizados no posicionamento de estações geodésicas de alta precisão são os do Sistema de Navega-

ção da Marinha dos Estados Unidos. Existem sempre de 4 a 6 satélites nesse sistema, os quais descrevem órbitas circulares que passam pelos polos, com altitudes que variam de 1.000 a 1.200 Km. e período de revolução de 105 a 110 minutos (Fig. 1). Cada satélite é visível, aproximadamente cinco vezes por dia, para um observador que se situe na região equatorial, e cerca de treze vezes, para aqueles situados nas regiões polares. Esses satélites são convenientemente espaçados, de tal maneira que, a cada duas horas, um deles pode ser rastreado em condições favoráveis.

Os satélites de navegação da Marinha dos Estados Unidos são controlados por um sistema de estações de rastreamento doppler espalhadas pelo globo terrestre. Esse sistema é composto de 15 estações rastreadoras e os dados por elas fornecidos são usados para calcular as efemérides precisas para cada satélite, ou seja, a posição do satélite em órbita a cada instante considerado.

O cálculo das efemérides precisas é feito, rotineiramente, pelos técnicos da Marinha dos Estados Unidos. Esses dados se constituem na base indispensável ao cálculo do posicionamento de estações terrestres. Normalmente, duas semanas após as observações, esses dados podem ser fornecidos aos usuários.

Outras informações que também podem ser liberadas aos usuários, referentes aos satélites e deduzidas de suas mensagens constantes, são as efemérides de predição, ou seja, aquelas que permitem determinar, com certa margem de erro, a hora e a posição aproximada dos satélites em suas órbitas. Esses dados, somente em casos especiais, poderão ser utilizados para o cálculo de posicionamento de estações terrestres, pois são dados imprecisos e que podem condu-

zir a erros grosseiros dos resultados obtidos.

O sistema doppler para aplicações geodésicas tem sido modificado, principalmente no que se refere ao volume e peso dos receptores, correntemente conhecidos como Geoceiver, ITT-5500 e outros. Adicionalmente vêm sendo eles, não apenas transformados em equipamentos facilmente transportáveis, como também desenvolvidos para proporcionarem mais precisas determinações.

3. TÉCNICA DO MÉTODO

3.1 — Generalidades

O uso de satélites artificiais em Geodésia foi prontamente reconhecido como uma ferramenta de grande valor na obtenção de informações científicas, no sentido de aumentar nossos conhecimentos sobre a forma e o tamanho da terra e também sobre seu campo gravitacional.

A utilização de satélites para essas finalidades vem sendo recomendada e incentivada pela União Geodésica e Geofísica Internacional desde 1960.

Os programas realizados até hoje confirmaram o valor da Geodésia a Satélites, e seu progresso, de certo modo, foi além dos objetivos desejados. Entretanto muita coisa ainda está por ser feita, principalmente com respeito ao fortalecimento e à densificação dos sistemas geodésicos existentes, desenvolvimento de um sistema geodésico mundial, aperfeiçoamento do posicionamento geogêntrico e definição do campo gravitacional da Terra.

3.2 — O Geo-Receptor

Dentre os vários tipos de equipamento e de sistemas de rastreamento até hoje utilizados, destacam-se as principais características do "Geodetic Receiver", abreviadamente co-

nhecido como "Geoceiver".

O Geoceiver é uma estação portátil, de grande precisão no rastreamento de satélite, empregada em levantamentos geodésicos.

O equipamento (Fig. 2) consiste de três conjuntos principais: a antena com pre-amplificador de antena, o receptor principal e o conjunto de perfuração de fita.

O aparelho recebe dados precisos de efeito Doppler e da refração ionosférica de satélites geodésicos. Sendo esses dados perfurados em fita, um computador devidamente programado pode reduzir com precisão as coordenadas geodésicas da antena do Geoceiver. O instrumento consiste de componentes portáteis, de modo que pode ser levado, rápida e economicamente, para qualquer lugar, mesmo em áreas remotas.

O Geoceiver emprega dois canais receptores, de forma que qualquer dos pares de frequência, seja 162/324 Mhz ou 150/400 Mhz, pode ser recebido e processado.

Os sinais do satélite são recebidos por uma só antena e preamplificadores de rádio-frequência são montados no conjunto fixado na parte inferior da mesma. Os sinais do satélite, amplificados, são levados ao receptor por um cabo condutor.

Comparando-se o sinal recebido com um padrão de frequência gerado por um oscilador estável, obtém-se o efeito Doppler, isto é, a frequência defasada menos a variação de frequência do sinal recebido.

O equipamento recebe e registra, também, sinais horários derivados da modulação de fase dos sinais dos satélites de navegação da Marinha.

Para fornecer a medida do efeito da refração ionosférica, os satélites geodésicos transmitem pelo menos dois sinais. A quantidade com que os dois sinais diferem da exata co-eficiência de fase quando recebi-

dos dá uma medida de primeira ordem do erro de refração ionosférica. (Fig. 3). O Geociever obtém essa medida, comparando um receptor secundário com o receptor primário. Desta forma, a freqüência de saída do receptor secundário torna-se proporcional à falta de coerência entre os dois sinais recebidos, obtendo-se a medida desejada do erro de refração ionosférica.

Para correlacionar as posições orbitais do satélite com a localização da antena do Geociever, é necessário corrigir-se o efeito Doppler, da refração ionosférica.

É empregado um sistema de medida, no qual se faz uma contagem contínua do número de ciclos do sinal Doppler recebido pelo receptor de fase fixa. Aproximadamente cada 30 segundos, em cada passagem do satélite, o efeito Doppler acumulado é lido e perfurado na fita, voltando o contador a zero. A leitura e a volta a zero ocorrem no intervalo de tempo entre uma contagem de ciclos e a seguinte, de forma que todos os ciclos do sinal doppler são registrados e nenhum se perde.

Observando-se a Fig. 4, pode-se concluir que a relação matemática entre a posição da estação e os dados fornecidos pelos contadores Doppler obtém-se pela aplicação da fórmula seguinte:

$$d = \frac{1}{\lambda} (r_2 - r_1) + f_0 \cdot T$$

onde:

d é a contagem Doppler no período T (normalmente 30 segundos)

λ é o comprimento de onda da freqüência transmitida pelo satélite

r_1 e r_2 são respectivamente as distâncias do ponto de observação ao satélite nos instantes

do início e do fim da contagem

f_0 é a correção da freqüência nominal para efetiva.

Atribuindo-se a cada passagem uma média de 8 minutos, a fórmula repete-se 16 vezes. Em 12 passagens, com essa duração média, o número de equação de observação eleva-se a 192, o que permite conseguir-se precisão satisfatória, tanto na determinação das distâncias, como da posição.

O contador de refração efetua uma contagem de ciclos do sinal de refração do receptor secundário, que é lido e volta a zero, ao mesmo tempo que o contador doppler.

As contagens de ciclagem de refração fazem parte dos dados fornecidos para uso oportuno, por um centro de computação, ao efetuar a correção de refração da contagem do efeito doppler. Cada vez que os contadores do efeito doppler e de refração são lidos, é lido também um contador digital de tempo, para registrar o momento em que terminou a contagem doppler.

Uma vez que nenhuma contagem do efeito doppler é perdida durante a leitura e o reajuste do contador se processa automaticamente, fica também determinado o momento em que a contagem seguinte começa. Portanto os dados fornecidos pelo Geociever consistem de contagem doppler, contagem de ciclos de refração e os instantes em que as contagens começaram e terminaram.

Considerando-se ainda, na (Fig. 4), as duas posições sucessivas do satélite (P_1 e P_2) e sabendo-se que:

r_1 — distância do satélite ao receptor, no instante T_1 ;

r_2 — distância do satélite ao receptor, no ins-

tante T_2 (20 segundos após);

T_1 — instante da transmissão do primeiro sinal do satélite;

T_2 — instante da transmissão do sinal, 30 segundos depois;

c — velocidade de propagação da luz, semelhante à velocidade de propagação das ondas electromagnéticas;

tem-se:

r^1/c — tempo de propagação da onda eletromagnética na distância r_1 ;

r^2/c — tempo de propagação da onda eletromagnética, 30 segundos após, ou seja, na distância r_2 .

Chamando-se de R_1 a hora de recepção da primeira frente de onda, tem-se:

$$R_1 = T_1 + r^1/c$$

e, 30 segundos depois,

$$R_2 = T_2 + r^2/c$$

O tempo necessário para se receberem todos os 12 bilhões de ciclos ($400.000.000 \times 30$ segundos) é então:

$$R_2 - R_1 = T_2 + r^2/c - (T_1 + r^1/c)$$

$$R_2 - R_1 = T_2 - T_1 + (r^2/c - r^1/c)$$

$$\text{ou } R_2 - R_1 = 30 + (r^2/c - r^1/c) \text{ segundos}$$

A velocidade de propagação da luz (c) é conhecida e a diferença ($R_2 - R_1$) é também conhecida; logo, pode-se calcular, na expressão acima, a diferença de distância ($r_2 - r_1$).

Considerando-se que o lugar geométrico dos pontos cuja diferença de distâncias a dois pontos fixos é uma hipérbole, a estação terrestre (G) está na superfície de um hiperbolóide definido pelos focos P₁ e P₂. Um segundo par de pontos define outro hiperbolóide, que também passa por G. Então três pares de pontos da órbita do satélite correspondem a três observações que determinam a posição da antena do receptor. E assim sucessivamente, aumentando-se o número de observações, aumenta-se a precisão da determinação da estação terrestre.

O intervalo de tempo de 30 segundos é chamado de "Data Point", durante o qual são realizadas 24 perfurações na fita, sendo:

12 de tempo
8 de efeito Doppler
4 de refração ionosférica.

Os sinais horários dos satélites de navegação da Marinha são utilizados para calibrar o contador de tempo. O sinal horário consiste de 6 103 "bips" binários da mensagem de navegação do satélite. A mensagem dura exatamente dois minutos, e uma combinação determinada de "bips", chamada "palavra de sincronização", precede o "bip" que marca o início de cada minuto. Os circuitos de recuperação do tempo identificam esta "palavra de sincronização" e obtêm as marcas de minutos, por interpolação, na mensagem recebida. Estas marcas são usadas para iniciar e interromper cada contagem do efeito doppler, de forma que os tempos registrados pelo relógio digital podem ser comparados, no centro de computação, com os tempos calculados de recepção dos sinais horários do satélite. Desta forma o centro de computação obtém uma calibração do relógio para cada passagem

de satélite de navegação da Marinha. As marcas de minutos para controlar as contagens do efeito doppler para todos os outros satélites, que não os de navegação da Marinha, são fornecidas pelo relógio digital interno.

Os dados que se obtêm de cada passagem de satélite consistem de três partes: a "entrada", a série de pontos individuais e a "saída". São todos perfurados em código-padrão de teletipo, na unidade de perfuração da fita. Desta forma, os dados podem ser transmitidos através de circuitos de TELEX para o centro de processamento. A informação de "entrada" define qual a passagem de satélite que está sendo rastreado, incluindo a data e o número do satélite. Os pontos individuais definem o tempo, a contagem do efeito doppler e um ciclo de contagem de refração. A "saída" indica o modo de operação e permite o comentário do operador e registro das condições meteorológicas locais no momento da passagem. As informações atmosféricas são usadas para formular um modelo da troposfera e posterior correção da refração troposférica, pelo computador.

É possível prever-se a precisão com que as contagens de ciclos são feitas e a precisão da calibração do relógio do Geociever, durante cada passagem. Entretanto, a precisão da determinação das coordenadas absolutas da antena é uma função extremamente complicada de muitos fatores, incluindo o número de passagens observadas, a geometria relativa da órbita, a precisão da determinação das órbitas, a ordem de grandeza dos erros da refração ionosférica e a precisão dos fatores atmosféricos locais utilizados no cálculo da refração troposférica.

3.3 — Métodos de Posicionamento

namento

Existem três diferentes métodos para a determinação de posições geodésicas com equipamento Doppler, a saber: Método da Translocação e Método do Grupamento de estações a curtas distâncias.

3.3.1 — Estações independentes

Parte-se do princípio de que a posição do satélite não está afetada de erro e é mantida fixa na determinação de estações Doppler.

Essa posição é determinada no mesmo sistema de coordenadas e datum que a órbita do satélite. Cada posição do receptor Doppler é determinada de modo independente de qualquer outra. Nesse método são necessários 35 a 40 registros de passagens de satélite para a fixação de uma estação.

O conceito desse cálculo baseia-se num algarismo fixo que requer o conhecimento independente da órbita do satélite durante o período de aquisição dos dados de campo. Esse conhecimento se refere às duas efemérides que se obtêm dos satélites: primeiro, aquelas denominadas de "previsões da órbita"; segundo, as outras chamadas de "efemérides precisas". As previsões de órbita são utilizadas diretamente tal como são recebidas dos satélites de navegação, ao passo que as efemérides precisas são fornecidas aos usuários após os cálculos de refinamento processados pela Marinha dos Estados Unidos.

O posicionamento de estações utilizando essa técnica é referido ao sistema de coordenadas das efemérides, e a precisão desse posicionamento é altamente dependente da precisão dessas efemérides. Cada solução é independente de to-

das as outras determinações de estações; desse modo essa técnica não impõe nenhuma restrição especial no conceito das operações de campo ou do processamento dos dados.

Este método de estações independentes, que está sendo empregado no Brasil, permite, com 35 passagens aceitáveis e a introdução das correções proporcionadas pelo conhecimento das efemérides, conseguir-se determinar a posição de uma estação com a precisão de $\pm 1,0$ metro.

Quando se deseja empregar o Geoceiver na determinação de estação para finalidade cartográfica, apenas 12 passagens são requeridas, para garantir a precisão de $\pm 3,0$ metros.

3.3.2 — Translocação

Neste método empregam-se dois receptores Doppler operando simultaneamente. As passagens de satélites observadas simultaneamente por ambos os receptores serão utilizadas no cálculo das posições relativas das duas estações. O fundamento da translocação é o de que os erros das efemérides afetam de modo idêntico as posições de ambas as estações; portanto, as posições relativas entre elas ficariam asseguradas com mais precisão. Na translocação, como no posicionamento simples, o conhecimento da posição do satélite, durante o período das observações, é indispensável. O método requer, adicionalmente, o conhecimento da parte da órbita observada, simultaneamente, pelas duas estações. A posição relativa das mesmas, determinada desta maneira, refere-se também ao sistema de coordenadas das efemérides dos satélites.

O método da translocação pode ser utilizado para deter-

minarem-se estações separadas de até duas vezes a altura do satélite observado.

3.3.3 — Grupamento de estações a curtas distâncias

Este método requer a utilização de seis ou mais receptores Doppler, operando simultaneamente e colocados a curtas distâncias uns dos outros. As coordenadas de uma estação, pelo menos, devem ser conhecidas. As posições orbitais são relacionadas à posição dessa estação conhecida. O método prescinde do conhecimento da órbita e requer que, pelo menos, quatro dos seis Geocivers rastreiem, simultaneamente, o mesmo satélite. Em vista disso, qualquer sinal proveniente de qualquer satélite, e não apenas as efemérides derivadas do Sistema de Navegação da Marinha dos Estados Unidos, pode ser usado no posicionamento das estações.

4. A EXPERIÊNCIA DO IBGE

4.1 — Projeto SAT—RO

O Departamento de Geodesia e Topografia do IBGE, que teve a honra de dirigir, fez realizar, num período de 45 dias nos meses de setembro e outubro de 1973, a determinação de 13 (treze) estações Geociever, doze das quais se situam no Território de Rondônia e uma no Estado do Mato Grosso. A esse projeto deu-se o nome de SAT—RO, que significa Observações com Satélite em Rondônia.

Como não dispunha o IBGE, ainda, do equipamento necessário, estabeleceu-se contato através da Comissão Mista Executora do Acordo Brasil—Estados Unidos sobre Serviços Cartográficos, com o IAGS-Inter American Geodetic Survey, órgão do Comando Topo-

gráfico do Departamento de Defesa dos Estados Unidos, para a vinda, ao Brasil, de dois técnicos americanos, acompanhando dois equipamentos Geoceiver.

Desejo ressaltar, neste momento, o empenho e a boa vontade expressos prontamente pelo Dr. David Byers, um dos diretores do DMATC, quando lhe expus o meu pensamento, em meados do ano passado, de conseguir Geocivers para trabalhos no Brasil. O Dr. Byers, por suas atitudes, tem demonstrado ser realmente um dos bons amigos do nosso Brasil e, particularmente, meu próprio.

A finalidade da campanha com Geociever era o estabelecimento de pontos de Apoio Fundamental, indispensáveis ao Plano de Mapeamento de Faixa de Fronteiras.

4.1.1 — Planejamento

Previu-se, inicialmente, o estabelecimento de 14 estações, 7 para cada equipamento. Um deles cumpriu perfeitamente o que lhe competia, mas o segundo aparelho, devido a pane apresentada no final das observações da estação SAT-MT-01, foi retirado do campo, deixando de realizar as observações na estação SAT-MT-02 nas proximidades de Cuiabá, sobre o vértice de triangulação Allyrio, extremo norte da Base Allyrio de Mattos e, também, Ponto de Laplace.

O cronograma estabelecido, levando em conta o número de horas de permanência em cada ponto, consequência do número de passagens a serem observadas, o número de horas de viagem de um ponto ao seguinte e o meio de transporte a utilizar, foi fielmente cumprido. Os meios de transporte previstos foram veículos auto-motores por estradas de rodagem, aviões e lanchas.

As comunicações via rádio eram feitas diariamente com a sede no Rio de Janeiro e as providências para sanar imprevistos eram tomadas imediatamente à ocorrência.

4.1.2 — Reconhecimento

Duas a três semanas antes de estabelecer o cronograma definitivo dos trabalhos, determinei que dois técnicos do DEGETOP — Departamento de Geodésia e Topografia, dois Geodesistas, se deslocassem para a região, munidos de fotografias aéreas, mapas diversos e imagens de satélites, a fim de procederem ao reconhecimento dos pontos.

Ao chegarem a Porto Velho, alugaram aviões de pequeno porte e dispenderam dias seguidos sobrevoando todas as regiões previamente escolhidas.

A finalidade do trabalho desses técnicos era localizarem, nos documentos cartográficos de que dispunham, os sítios mais prováveis para ocupação do Geoceiver, determinarem os meios de acesso a cada ponto e iniciarem outras providências locais, tais como contatos com autoridades, personalidades e outros.

4.1.3 — Logística

Para o bom êxito de uma campanha desse tipo, nenhum detalhe concernente a pessoal, material, equipamento, meio de transporte e comunicação foi esquecido.

4.1.4 — Execução

As operações de campo para o posicionamento das estações foram iniciadas no dia 9 de setembro de 1973, na localidade de Periquitos, e se desenvolveram em duas linhas de ação: uma ao longo dos rios Mamoré e Guaporé; a outra ao longo da BR-364, rodovia Cuiabá—Porto Velho. As observações finais foram realizadas no dia 23 de outubro do mesmo ano.

Os trabalhos foram executados, obedecendo às especificações e padrões seguidos para levantamentos geodésicos com equipamento Doppler.

Os sítios escolhidos pelo grupo de reconhecimento foram ocupados, tomando-se o cuidado de relacionar o ponto onde se situava a antena do Geoceiver com outros bem definidos e que pudessem ser facilmente localizados, no futuro, em fotografias aéreas. Para ca-

da ponto foi feito um croquis, uma descrição e um itinerário de acesso.

Cada marco possui a forma de prisma quadrangular com 30 cm de lado e 70 de altura acima do solo.

4.1.5 — Avaliação dos Resultados Obtidos

Na primeira Campanha de Geoceiver, no Território de Rondônia, foram estabelecidos 13 pontos, no período de 9 de setembro a 23 de outubro de 1973.

Em todos esses pontos foram observados três satélites e uma média de quarenta passagens, equivalendo aproximadamente a treze passagens de cada satélite. No penúltimo ponto, foram registradas apenas 24 passagens, devido a pane do instrumento.

Algumas observações de campo foram eliminadas no cálculo, particularmente as de distância zenital superior a 80°.

Além disso, as passagens dos satélites 30 180 e 30 130 foram aproveitadas somente em quatro estações. Nas restantes, aproveitaram-se apenas as passagens do satélite 30 140, de acordo com o quadro seguinte:

(1) ESTAÇÃO	(2) N.º DE PASSAGENS APROVEITADAS	(3) ERRO MÉDIO QUADRÁTICO	(4) PRECISÃO
30 211	12	0,22 m	3 m
30 212	12	0,18 m	3 m
30 213	11	0,21 m	3 m
30 214	12	0,22 m	3 m
30 215	39	0,22 m	1 m
30 216	15	0,23 m	2 m
30 217	20	0,19 m	3 m
30 218	39	0,20 m	1 m
30 220	27	0,20 m	1 m
30 221	19	0,21 m	2 m
30 222	12	0,18 m	3 m
30 223	13	0,19 m	3 m
30 224	14	0,24 m	3 m

No quadro acima, o erro médio quadrático (coluna 3) refe-

re-se à precisão da determinação das distâncias do ponto de observação ao satélite. A precisão, indicada na coluna (4), refere-se à determinação da posição da estação no terreno.

Observa-se que o erro médio da observação elementar (distância da estação ao satélite) permanece constante praticamente. A precisão, na determinação da posição, aumenta proporcionalmente ao número de passagens aproveitadas, ou seja, o número de observações.

5. VANTAGENS SOBRE OUTROS PROCESSOS

A utilização do Sistema Doppler possibilita a determinação de coordenadas geodésicas sem a necessidade de se estabelecerem vínculos com outra modalidade de controle.

Levando-se em conta que as observações podem ser feitas sob quaisquer condições, exceto em condições meteorológicas extremas, o Sistema Doppler oferece vantagens significativas sobre outros métodos usados para estabelecer-se controle, principalmente em áreas remotas.

O grau de dificuldade fica bastante reduzido e o desgaste físico das turmas de campo também é muito menor.

Em certas regiões do território brasileiro, principalmente na área chamada de Amazônia Legal, existe uma quase impossibilidade, e às vezes realmente impossibilidade total, de se levar controle terrestre pelos meios convencionais da triangulação e da poligonação. Como o equipamento Doppler pode ser transportado a qualquer lugar por quaisquer meios de transporte e não havendo necessidade de ligações diretas com outros sistemas de controle, é evidente a vanta-

gem dessa técnica sobre as demais.

Os resultados são computados em termos de coordenadas geocêntricas, podendo ser relacionados a um sistema de referência qualquer e à rede nacional, por meio de um simples processo de transformação.

Vejamos agora as vantagens do Geoceiver modelo AN/PRR-14 sobre alguns geo-receptores que o precederam:

Equipamento SECOR

Peso — \pm 20 toneladas
Grupo de operações —
6 a 8 pessoas
Períodos de observações
 \pm 5 meses

Equipamento BC-4

Peso — \pm 8 toneladas
Grupo de operações —
4 a 6 pessoas
Período de observações —
 \pm 9 meses

Furgão Doppler

Peso — \pm 10 toneladas
Grupo de operações —
6 a 8 pessoas
Período de observações
 \pm 5 semanas

Equipamento Geoceiver AN PRR-14

Peso — \pm 300 KI
(tudo incluído)
Grupo de operações —
2 a 6 pessoas
Período de observações
 \pm 1 semana

6. CONCLUSÕES

O potencial de velocidade de operações e a qualidade dos novos Geo-receptores Doppler portáteis são avanços muito significativos na Geodésia Espacial ou Geodésia a Satélite.

A total importância e uso do

Sistema Geo-receptor Doppler em levantamentos geodésicos não podem ser estimados, sem que se processe a uma breve revisão de antigos equipamentos de rastreamento de satélite que foram utilizados nos últimos 12 anos, em vários projetos de alcance transcontinental.

Como se sabe, foram utilizados nesse período, sucessivamente ou simultaneamente, os sistemas SECOR, BC-4 e PC-1000.

O sistema SECOR, que empregava técnicas de rádio ao satélite, foi concluído com sucesso em 1970. Esse sistema exigia equipamento eletrônico sofisticado e volumoso. As observações requeriam longa permanência em cada estação e o processamento dos dados observados tornou-se muito complicado e tedioso.

Os sistemas BC-4 e PC-1000 eram ópticos e por isso mesmo dependiam de condições excepcionais de céu limpo para observações simultâneas em estações separadas por centenas e até milhares de quilômetros. Em consequência as observações duravam meses e a computação dos dados requeria também bastante tempo.

O programa BC-4 foi o único a fornecer um sistema mundial tridimensional de coordenadas.

Esses projetos BC-4 e PC-1000 foram concluídos em 1972.

Realmente o desenvolvimento da técnica Doppler começou em fins de 1957, depois da comprovação de que os sinais emitidos pelo satélite artificial "SPUTNIK-I" podiam ser utilizados para localizá-lo em sua órbita. A aplicação geodésica dessa técnica se processa em sentido inverso: conhecendo-

se a posição do satélite em órbita, a localização de uma estação terrestre pode ser determinada.

Através do desenvolvimento dessa técnica, que independe das condições meteorológicas e através dos avanços no campo da eletrônica, vários tipos de geo-receptores têm sido construídos. Os últimos são de peso reduzido, facilmente transportáveis, de grande confiança e notavelmente precisos. Requerem um mínimo de pessoal e logística relativa e podem determinar rápida e precisamente as coordenadas de qualquer ponto na superfície terrestre.

Após as experiências colhidas de projetos levados a efeito em várias regiões do globo terrestre, inclusive no Brasil, as sugestões para o uso da técnica Doppler com Geo-receptores podem ser sumarizadas como a seguir:

- estabelecimento de posições relativas em malhas de controle fundamental existentes com a finalidade de proporcionar transformações de datum entre redes independentes ou reajuste e possivelmente melhoria da precisão de redes de controle existentes;
- estabelecimento de estações em áreas remotas, carentes de qualquer espécie de controle fundamental;
- estabelecimento de pontos de controle de mapeamento, principalmente em áreas de difícil acesso;
- estabelecimento de estações em pontos astronômicos ou vice-versa, visando à determinação da deflexão da vertical;
- estabelecimento de posições sobre referências de nível ou nivelamento de

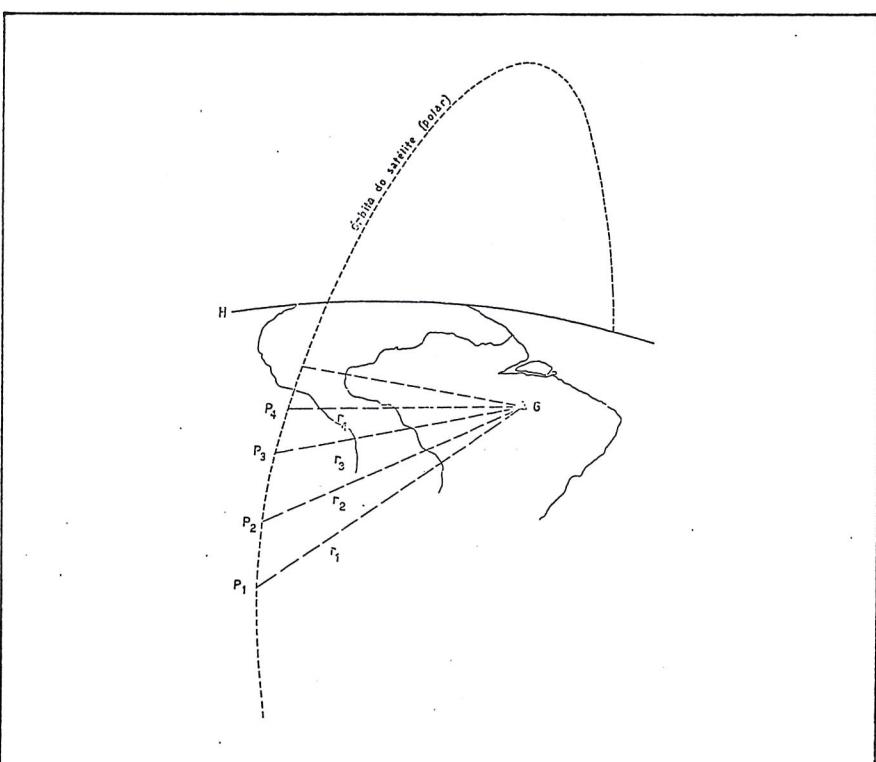
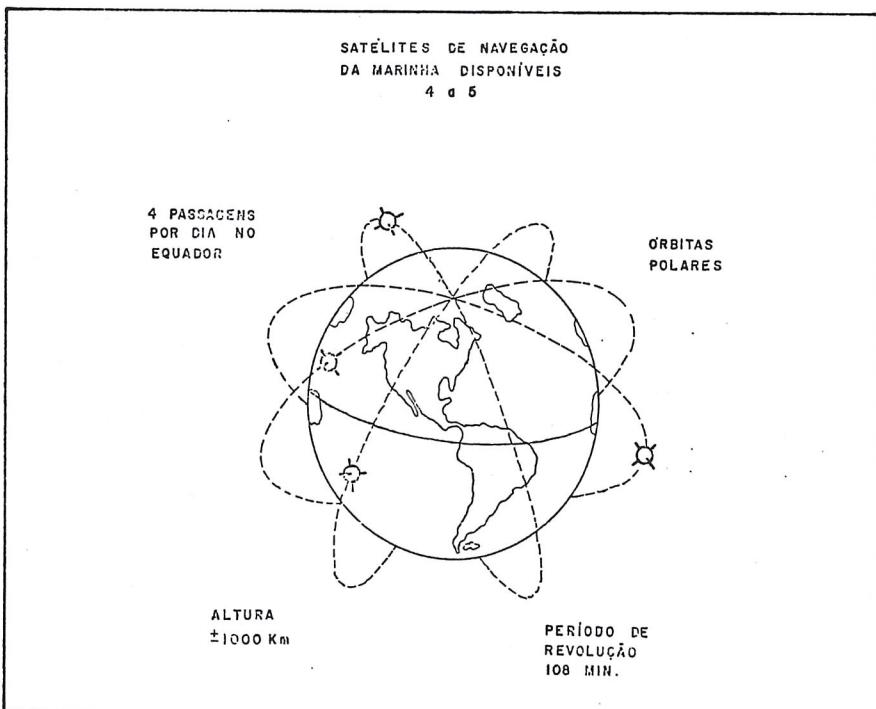
precisão sobre essas posições, visando à determinação das alturas do geóide.

Como viram, Senhores, foram aqui apresentados alguns dados referentes à Geodésia Espacial, novo campo da Geodésia que vem desafiar a inteligência, a cultura e a capacidade de trabalho dos geodesis-

tas, dos pesquisadores e dos cientistas brasileiros, no sentido de desenvolverem novas técnicas e novos equipamentos adequados ao nosso ambiente.

Rio de Janeiro, 26 de julho de 1974.

Engº. Dorival Ferrari,
Chefe do Departamento de
Geodesia e Topografia



Estes resultados foram obtidos em operações normais, sem eliminação de qualquer valor que não aqueles rejeitados pelo próprio programa de cálculo.

O número de observações no campo situou-se em torno de 20 passagens de Satélites, para cada vértice, e para o cálculo de uma posição foi usado um mínimo de 12 passagens consideradas boas pelo programa de cálculo.

Também não foi feita seleção de satélite, tendo sido englobadas as posições obtidas através de todos os satélites rastreados em cada estação.

Os dados orbitais foram aqueles emitidos pelos próprios satélites, sem recurso a efemérides mais precisas, a serem obtidas do Naval Weapons Laboratory (NWL) dos Estados Unidos.

Pretendeu-se que assim mesmo fosse, para que pudéssemos avaliar das possibilidades de obtenção de coordenadas em tempo relativamente curto e com precisão adequada ao mapeamento sistemático.

Para esta experiência, o tempo médio de recepção foi de 48 horas por vértice e a média dos erros em posição foi de 7,3 metros, considerando os valores do IBG isentos de erro.

Partindo desses resultados, obtivemos, em julho de 1973, autorização da Diretoria de Serviço para o emprego do método na determinação de posições planimétricas de pontos de apoio dos Sub-Projetos CÁCERES e RONDÔNIA, com vis-

tas ao mapeamento em escala de 1:100.000.

Para controle do desempe-

nho do equipamento, foram feitas determinações sobre dois pontos da rede do IBG existentes na área dos Sub-Projetos.

Em CUIABA, fizemos comparação sobre o vértice ALYRIO, obtendo os seguintes valores, no datum CÓRREGO ALEGRE:

SATELITE	TRIANGULAÇÃO		DIFERENÇA	
	LATITUDE	LONGITUDE	LATITUDE	LONG.
	15°34'06",54	56°04'21",12	15°34'06",64	56°04'21",63 — 0",10 — 0",51

Em CACERES, realizamos comparação sobre o vértice PROFESSOR MIGUEL, obtendo os valores seguintes:

E m a g o s t o

SATELITE	TRIANGULAÇÃO		DIFERENÇA	
	LATITUDE	LONGITUDE	LATITUDE	LONG.
	16°04'28",44	57°40'04",80	16°04'28",75	57°40'04",15 — 0",31 + 0",65

E m s e t e m b r o

SATELITE	TRIANGULAÇÃO		DIFERENÇA	
	LATITUDE	LONGITUDE	LATITUDE	LONG.
	16°04'28",74	57°40'04",38	16°04'28",75	57°40'04",15 — 0",01 + 0",23

E m o u t u b r o

SATELITE	TRIANGULAÇÃO		DIFERENÇA	
	LATITUDE	LONGITUDE	LATITUDE	LONG.
	16°04'28",68	57°40'04",62	16°04'28",75	57°40'04",15 — 0",07 + 0",47