

RELATÓRIO DE BOLSA PIBIC/CNPq

BOLSISTA: FRANCILEI CAMPOS DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: DR. EURICO RODRIGUES DE PAULA/DR. IVAN JELINEK KANTOR

PERÍODO: MARÇO A JULHO DE 1998 (SUBSTITUIÇÃO)

OBJETIVOS CIENTÍFICOS DO PROJETO

Utilizando medidas da amplitude do sinal recebido por um receptor de GPS (Global Positioning System) localizado nas dependências do INPE:

- estudar a ocorrência de irregularidades ionosféricas em São José dos Campos;
- estudar a variação latitudinal e longitudinal das irregularidades utilizando também dados semelhantes obtidos por receptores de GPS localizados em Natal (Rio Grande do Norte) e em Tucuman (Argentina);
- determinar a componente oeste-leste da velocidade das bolhas ionosféricas, que são grandes regiões onde o plasma é rarefeito e que são originadas de irregularidades ionosféricas devidas à instabilidades do plasma ionosférico em regiões equatoriais, utilizando 2 receptores espaçados localizados nas dependências do INPE;
- estudar a influência destas bolhas ionosféricas sobre a determinação da posição do receptor de GPS em conjunto com dados de imageador "all sky" de luminescência atmosférica, em colaboração com o Dr. Paulo R. Fagundes (INPE/UNIVAP).

O SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)

É um sistema de navegação que permite determinar a posição e a velocidade de um objeto fixo ou móvel em qualquer ponto sobre ou próximo da superfície terrestre. Consiste atualmente de 24 satélites operacionais, em órbitas circulares inclinadas 55 graus em relação ao plano equatorial, com períodos de 12 horas, dispostos em 6 planos com 4 satélites em cada plano, localizados a 20.200 km de altitude e transmitindo nas frequências de 1,57542 GHz e 1,2276 GHz.

Para determinar a distância entre o satélite e o receptor é medido o tempo que o sinal leva para se propagar do satélite ao receptor. Para esta finalidade é necessário que os relógios nos transmissores dos satélites e nos receptores sejam precisos e estejam sincronizados. A bordo dos satélites são utilizados relógios atômicos os quais entretanto não são utilizados em receptores simples de GPS devido ao alto custo. O sistema GPS através da medida das distâncias de 4 satélites ao receptor permite determinar geometricamente (intersecção de 4 esferas) a posição (latitude, longitude e altitude) do receptor.

O sinal recebido no receptor GPS é afetado pelo erro dos relógios do satélite e do receptor, erros orbitais dos satélites, erros da variação do centro de fase da antena e multicaminhos no receptor e erros na propagação do sinal tais como devidos à refração ionosférica e troposférica.

Alguns erros na determinação de um ponto sobre a Terra ou nas proximidades da superfície devidos ao efeito da ionosfera podem ser reduzidos com a utilização de um modelo ionosférico, entretanto eventuais erros devidos às bolhas ionosféricas não são ainda bem conhecidos e portanto o estudo do efeito das bolhas no posicionamento é um dos objetivos deste trabalho. Como a amplitude do sinal do receptor de GPS cintila (sofre fortes flutuações) durante a ocorrência de bolhas ionosféricas o objetivo principal deste projeto é estudar a morfologia destas bolhas e sua variação latitudinal e longitudinal e determinar a componente da velocidade oeste-leste das bolhas.

AS BOLHAS IONOSFÉRICAS

As irregularidades ionosféricas são geradas em toda a extensão do equador magnético, normalmente desde o pôr do Sol até próximo da meia noite, devido às instabilidades do plasma ionosférico. Elas são mais frequentes de setembro a abril nas regiões brasileiras e sua ocorrência aumenta durante alta atividade solar. Muitas destas irregularidades se evoluem e crescem ao longo das linhas de campo magnético, formando imensas regiões rarefeitas de plasma na ionosfera que são denominadas bolhas ionosféricas. Estas bolhas ionosféricas podem atingir mais de 1.000 km de altitude, medem de 150 a 300 km na direção perpendicular ao campo magnético, podem atingir 10.000 km ao longo da linha de campo magnético e migram para leste. É portanto importante determinar a componente oeste-leste da velocidade das bolhas, o que é um dos objetivos deste projeto. Estas bolhas ionosféricas afetam consideravelmente a transmissão de sinais eletromagnéticos entre satélites e a Terra e portanto afetam os sistemas de posicionamento global.

ATIVIDADES REALIZADAS

-em colaboração com a Universidade de Cornell, Ithaca, NY, EUA, um sistema de GPS da marca GEC-PLESSEY doado por Cornell, consistindo de uma placa GPS, cabos e uma antena, foi instalado em um microcomputador adquirido com auxílio FAPESP (processo 97/03342-5) no prédio LIT do INPE em setembro de 1997 e encontra-se operacional até a presente data;

-outro sistema de GPS semelhante, também doado pela Universidade de Cornell, foi instalado no prédio Satélite do INPE em abril de 1998 para medir a componente oeste-leste da velocidade das bolhas utilizando dois receptores espaçados cerca de 185 m nesta direção (oeste-leste);

-medidas da amplitude do sinal de GPS têm sido realizadas desde setembro de 1997 e têm sido gravadas em fita DAT, sendo que cada noite de dados ocupa cerca de 170 MB;

-o software Matlab adquirido pelo projeto FAPESP foi instalado em um micro (FAPESP) e foram desenvolvidos programas para análise e confecção de gráficos das medidas da amplitude do sinal de GPS;

-a amplitude do sinal de GPS apresenta fortes cintilações durante a ocorrência de bolhas e pode portanto ser utilizada para monitorá-las e estudar sua morfologia, pois elas variam com as estações do ano e com a atividade solar e estudar a sua variação latitudinal e longitudinal utilizando dados semelhantes de outras estações receptoras como por exemplo Natal e Tucuman onde pesquisadores locais participam deste trabalho de medidas em colaboração com Cornell e com o INPE. A Figura 1 mostra um gráfico da potência determinada da amplitude do sinal de GPS do dia 24/01/98 em que se observa forte cintilação do sinal recebido a partir de 24 UT (21 LT) transmitido pelo satélite 16. Este gráfico foi feito utilizando o software Matlab. A Figura 2 mostra a potência do sinal de GPS recebida no dia 27/01/98 recebida de 4 satélites (14,16,18 e 27) onde se observam cintilações em todos os 4 sinais recebidos em torno das 21 horas locais. Estas cintilações dos sinais recebidos pelo GPS são indicações da presença de bolhas ionosféricas que foram atravessadas pelo sinal transmitido pelos satélites.

-para também detectar a ocorrência de bolhas ionosféricas a partir de dados de GPS já gravados em disco rígido do microcomputador, foi desenvolvido pelo grupo de pesquisadores de Cornell um gráfico Azimute –Elevação que mostra na tela do micro em animação a trajetória de cada satélite visível e que apresentam pequenos círculos quando o sinal do satélite cintila. Estes círculos representam o desvio padrão do sinal recebido em relação a média de cada minuto dos dados e os seus diâmetros até um certo valor de normalização são diretamente proporcionais ao grau de cintilação presente no sinal recebido e portanto quando eles aparecem ao longo da trajetória de um satélite é porque o sinal deste satélite está atravessando uma região de bolhas ou instabilidades ionosféricas. A Figura 3 mostra 9 gráficos que foram capturados da tela do micro. Estes gráficos são para o dia 29/11/97, a partir das 2200 UT até 0320 UT do dia 30/11/97, a cada 40 minutos. Nesta figura pode ser observada a hora do início, a evolução das bolhas e inclusive pode-se ter uma idéia da variação espacial destas bolhas. Ao lado de cada figura estão mostradas a hora e data, número do satélite que está sendo recebido, seu azimute e sua elevação. Pode-se observar que houve forte ocorrência de bolhas nesta noite. Foi também desenvolvido pelo grupo de Cornell gráfico que mostra na tela a distância da projeção do ponto subionosférico localizado a 300 km de altitude ao receptor de GPS, onde também os pequenos círculos representam a ocorrência de bolhas ionosféricas. Durante a apresentação dinâmica deste gráfico pode-se comutar para o gráfico Azimute-Elevação e vice versa. A Figura 4 mostra a montagem de 9 telas deste tipo de gráfico para a mesma data e mesmos intervalos de tempo citados acima. Como as bolhas ocorrem na ionosfera este último tipo de gráfico fornece um melhor posicionamento geográfico da extensão das bolhas.

-foi desenvolvido também um gráfico, que a partir de um arquivo de dados, mostra várias características da cintilação do sinal de GPS e o movimento de cada satélite em 350 km de altitude. A Figura 5 mostra um exemplo deste gráfico onde acima do gráfico estão mostradas as coordenadas da estação receptora, sua identificação, data e gráficos Azimute-Elevação e Longitude-Latitude para o satélite 29 em 11/10/97. No primeiro quadro de cima estão as potências dos sinais e do ruído e no segundo quadro de cima para

baixo está representado o índice S4 que mostra a intensidade e o local da incidência das cintilações. No terceiro quadro de cima para baixo estão indicadas a largura da função de autocorrelação do sinal recebido a qual é proporcional à ocorrência de cintilações e no quadro de baixo estão mostradas as componentes paralelas e perpendicular da velocidade do ponto onde o sinal do satélite cruza a ionosfera a 350 km de altitude. Este gráfico é muito útil pois ele apresenta muitas informações úteis sobre a posição e o movimento do satélite e das cintilações do sinal de GPS em apenas um gráfico;

-outro objetivo deste projeto é determinar a influência das bolhas ionosféricas no valor medido do posicionamento do receptor usando GPS. A Figura 6 mostra um gráfico da variabilidade da posição do receptor determinada pelo GPS localizado no prédio LIT (INPE), das 18 às 24 horas locais, durante um dia em que não ocorreram bolhas e o cruzamento das duas linhas representa a média dos valores da posição do receptor. Figura 7 mostra figura semelhante para um dia em que houve ocorrência de bolhas e nesta figura está também indicado por um círculo a média das posições do receptor determinada para o dia sem bolhas da Figura 6. Pode-se observar que as médias da posição do receptor para os dias sem bolhas e para os dias com bolhas são diferentes, o que é uma evidência de que o posicionamento médio do receptor utilizando os dados de GPS variou de um dia sem ocorrência de bolhas em relação ao dia em que ocorreram bolhas. A localização precisa da antena do LIT utilizando triangulação a partir de pontos localizados nas dependências do INPE precisamente determinados será determinada nas próximas semanas e este ponto será então marcado nos gráficos semelhantes ao das figuras 6 e 7 que serão feitos no futuro próximo. Entretanto como ainda não dispomos de estatísticas suficientes e nem dispomos ainda da posição precisa do receptor do LIT, não sabemos ainda quão precisa é a média dos posicionamentos do receptor determinada pelo nosso receptor de GPS. Outro aspecto ainda não mencionado neste trabalho é que o modelo simples do receptor de GPS que dispomos apresenta um erro de cerca de 100 m na determinação de um ponto devido à erros de posicionamento inseridos propositalmente no sistema GPS pelo Departamento de Defesa dos EUA, como por exemplo a disponibilidade seletiva, entre outros erros já mencionados.

ATIVIDADES A SEREM REALIZADAS

Propomos realizar as seguintes atividades em 1998/1999:

-continuar a operação rotineira da operação dos 2 sistemas de GPS existentes no INPE e a gravação dos dados em fita DAT;

-através da análise dos dados de GPS realizar estudo das irregularidades ionosféricas, tais como estatística da ocorrência, morfologia e variação latitudinal e longitudinal utilizando dados semelhantes de Natal e Tucuman ;

-determinar a componente oeste-leste da velocidade das bolhas ionosféricas utilizando dados dos 2 receptores espaçados existentes no INPE;

que também detecta a ocorrência de bolhas ionosféricas em colaboração com o Dr. Paulo R. Fagundes (INPE/UNIVAP).

CONCLUSÕES

Neste período de março a julho de 1998 nos familiarizamos com a operação de receptores de GPS e com os softwares para aquisição, gravação e análise dos dados de GPS. Alguns softwares em linguagem C para análise destes dados também foram desenvolvidos. Dispomos de dados da amplitude do sinal recebidos de satélites GPS desde setembro de 1997 e muitos destes dados apresentaram fortes cintilações até aproximadamente meados de abril de 1998. Medidas rotineiras de dois receptores de GPS estão sendo realizados. A análise destes dados e de dados que ainda serão obtidos, em conjunto com dados de GPS de Natal e Tucuman e com dados das ionossondas do INPE e do imageador "all sky" do INPE, permitirá realizar estudos da morfologia das bolhas ionosféricas, das suas variações latitudinais e longitudinais e da variação do posicionamento o receptor durante a ocorrência de bolhas, bem como permitirá determinar a componente oeste-leste da velocidade das bolhas sobre São José dos Campos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq pelo apoio financeiro ao bolsista, à FAPESP pelo apoio financeiro ao projeto e a Cornell por doar 2 sistemas de GPS e pela valiosa colaboração. Estes apoios contribuirão para que os trabalhos científicos acima propostos possam ser alcançados. Agradecemos também ao nosso colega do INPE, Dr. Mário César Ricci que pacientemente e eficazmente coordena as bolsas PIBIC/CNPq em nosso instituto.



Francilei Campos de Oliveira



Eurico Rodrigues de Paula



Ivan Jelinek Kantor

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS 27/01/1998

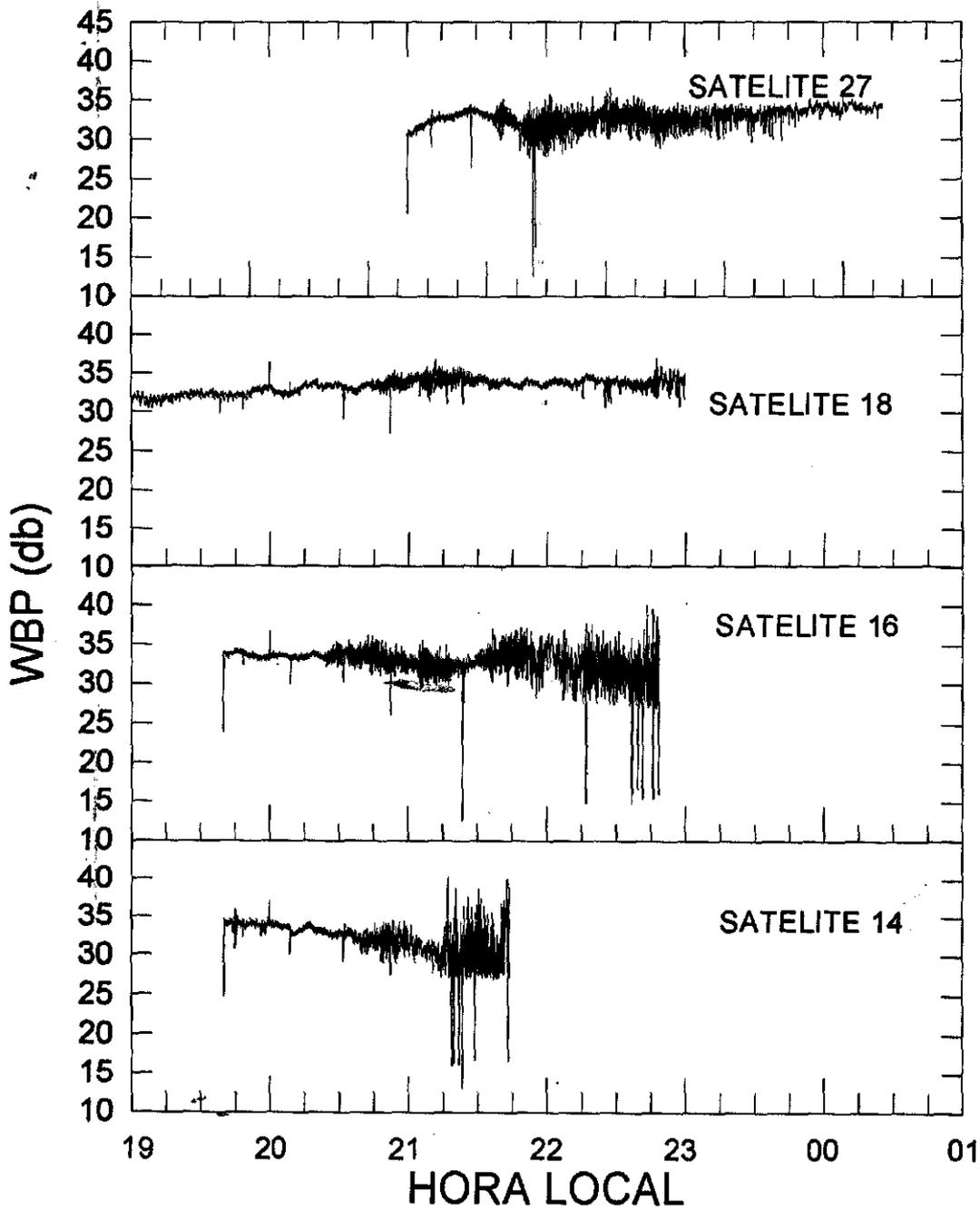
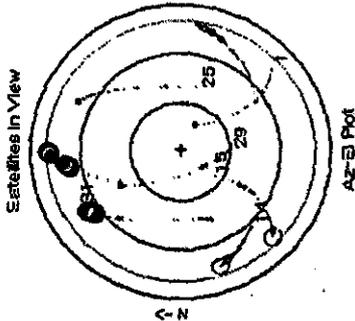


FIGURA 2

Status: filter <on>
 trails <on>
 auto-pause <on>

1997-11-29 2320 UT

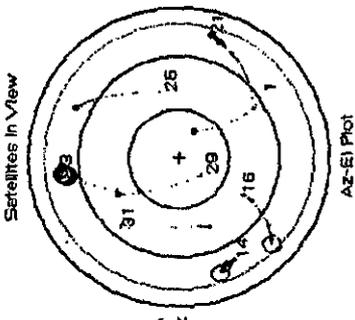
SU	el	az
1 01	14.4°	137.2°
2 14	28.6°	225.7°
3 15	56.4°	215.9°
4 25	49.0°	106.7°
5 29	59.0°	176.4°
6 31	22.8°	327.0°



Status: filter <on>
 trails <on>
 auto-pause <on>

1997-11-29 2240 UT

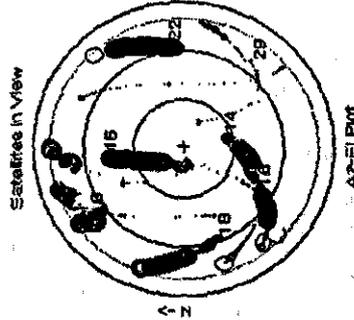
SU	el	az
1 01	29.1°	143.6°
2 03	18.5°	353.5°
3 14	28.1°	242.1°
4 15	48.0°	289.0°
5 21	14.6°	163.0°
6 25	49.5°	75.9°
7 29	72.7°	212.8°
8 31	35.0°	310.0°



Status: filter <on>
 trails <on>
 auto-pause <on>

1997-11-30 0120 UT

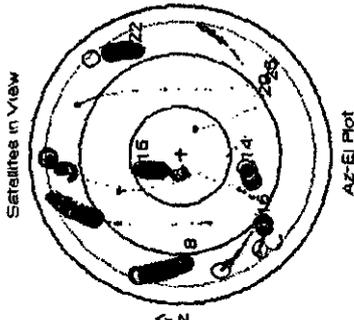
SU	el	az
1 14	63.1°	165.7°
2 15	45.9°	350.7°
3 16	39.1°	289.0°
4 18	31.4°	248.6°
5 19	21.6°	319.0°
6 22	28.4°	85.3°
7 29	22.5°	126.7°



Status: filter <on>
 trails <on>
 auto-pause <on>

1997-11-30 0040 UT

SU	el	az
1 14	58.4°	190.0°
2 15	65.0°	379.1°
3 16	25.3°	219.9°
4 18	24.0°	267.3°
5 22	22.1°	66.5°
6 25	23.8°	130.1°
7 29	32.7°	141.9°



Status: filter <on>
 trails <on>
 auto-pause <on>

1997-11-30 0320 UT

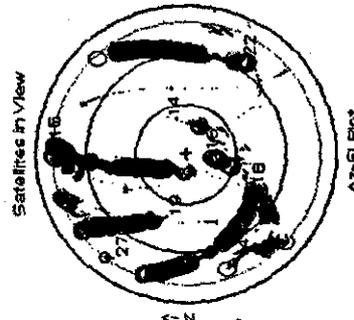
SU	el	az
1 04	23.4°	264.5°
2 14	48.5°	36.9°
3 16	04.2°	34.3°
4 18	51.2°	103.9°
5 19	58.4°	255.1°
6 22	13.5°	136.6°
7 27	26.9°	289.9°



Status: filter <on>
 trails <on>
 auto-pause <on>

1997-11-30 0240 UT

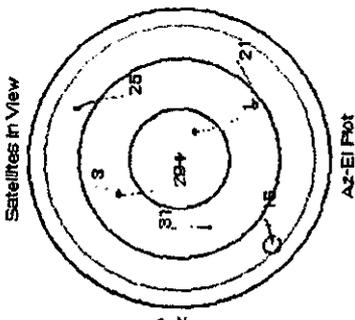
SU	el	az
1 04	22.7°	244.5°
2 14	64.7°	61.3°
3 15	11.1°	31.5°
4 16	71.4°	187.9°
5 18	44.5°	287.5°
6 19	58.1°	286.7°
7 22	24.1°	124.3°
8 27	13.6°	304.5°



Status: filter <on>
 trails <on>
 auto-pause <on>

1997-11-29 2200 UT

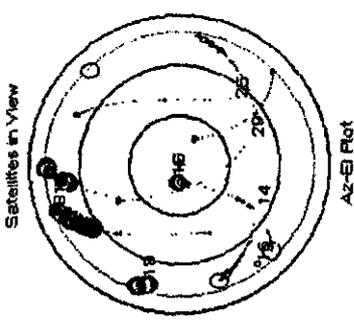
SU	el	az
1 01	46.1°	145.3°
2 03	34.2°	344.2°
3 15	31.3°	213.3°
4 21	22.0°	129.1°
5 25	48.3°	50.3°
6 29	72.7°	287.7°
7 31	45.9°	267.6°



Status: filter <on>
 trails <on>
 auto-pause <on>

1997-11-30 0000 UT

SU	el	az
1 14	38.6°	289.0°
2 15	79.7°	276.6°
3 16	14.0°	232.2°
4 18	15.3°	284.2°
5 25	30.5°	128.5°
6 29	44.9°	157.5°
7 31	11.2°	348.6°



Status: filter <on>
 trails <on>
 auto-pause <on>

1997-11-30 0200 UT

SU	el	az
1 04	15.7°	227.8°
2 14	71.6°	116.8°
3 15	27.2°	356.9°
4 16	55.5°	199.2°
5 18	38.8°	228.6°
6 19	36.8°	387.0°
7 22	29.6°	106.0°
8 29	13.9°	111.2°

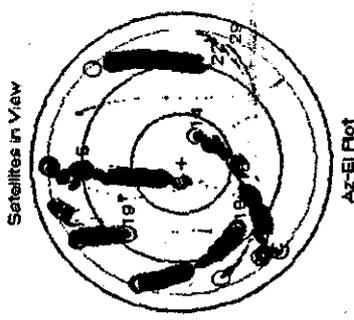
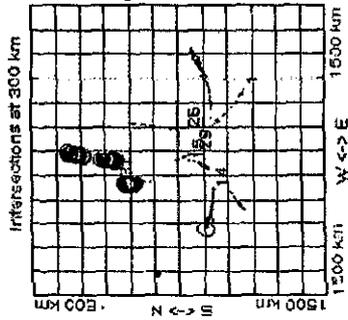


FIGURA 3

Status: filter (on)
 trails (on)
 auto-pause (on)

1997-11-29 2320 UT

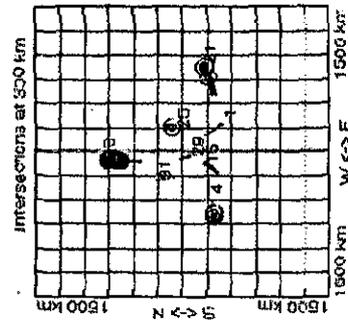
SU	el	az
1 01	14.1	137.2°
2 14	28.6	225.7°
3 15	66.4	215.9°
4 25	49.0	186.7°
5 23	53.0	176.4°
6 31	22.8	327.8°



Status: filter (off)
 trails (off)
 auto-pause (on)

1997 11 29 2240 UT

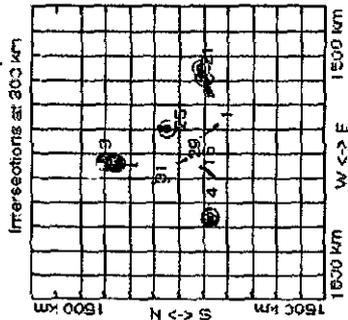
SU	el	az
1 01	29.1	143.6°
2 03	18.5	353.5°
3 14	20.1	242.1°
4 15	48.0	209.8°
5 21	14.6	103.8°
6 25	49.5	75.9°
7 25	72.7	212.8°
8 31	35.6	310.8°



Status: filter (off)
 trails (off)
 auto-pause (on)

1997-11-29 2210 UT

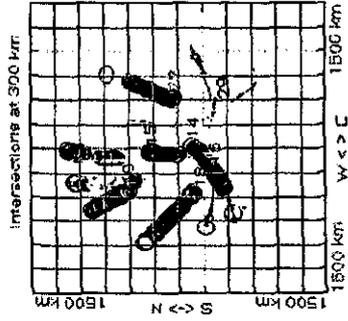
SU	el	az
1 01	29.1	143.6°
2 03	18.5	353.5°
3 14	20.1	242.1°
4 15	48.0	209.8°
5 21	14.6	103.8°
6 25	49.5	75.9°
7 25	72.7	212.8°
8 31	35.6	310.8°



Status: filter (on)
 trails (on)
 auto-pause (on)

1997-11-30 0120 UT

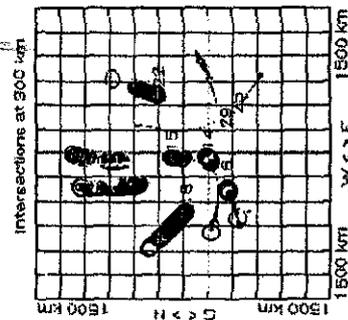
SU	el	az
1 14	63.1	165.7°
2 15	45.9	350.7°
3 16	39.1	209.0°
4 18	31.4	240.6°
5 19	21.5	319.0°
6 22	28.4	85.3°
7 23	22.5	126.7°



Status: filter (on)
 trails (on)
 auto-pause (on)

1997-11-30 0040 UT

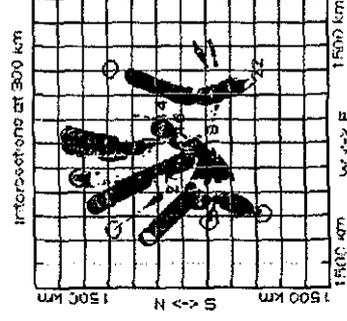
SU	el	az
1 14	50.4	190.8°
2 15	65.8	339.1°
3 16	25.3	219.9°
4 18	24.0	267.3°
5 22	22.1	66.5°
6 25	23.8	136.1°
7 29	32.7	141.9°



Status: filter (on)
 trails (on)
 auto-pause (on)

1997-11-30 0320 UT

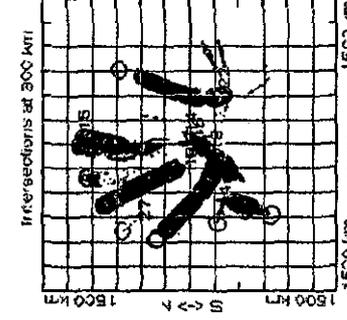
SU	el	az
1 04	23.4	204.5°
2 14	48.5	36.9°
3 16	84.2	34.3°
4 18	51.2	189.3°
5 19	58.4	255.1°
5 22	13.5	136.6°
7 27	25.9	289.9°



Status: filter (on)
 trails (on)
 auto-pause (on)

1997-11-30 0240 UT

SU	el	az
1 04	22.7	244.5°
2 14	64.7	61.3°
3 15	11.1	3.5°
4 16	74.4	187.9°
5 18	44.5	207.5°
6 19	50.1	286.7°
7 22	24.1	124.3°
8 27	13.6	304.5°



Status: filter (on)
 trails (on)
 auto-pause (on)

1997-11-30 0200 UT

SU	el	az
1 04	15.7	227.8°
2 14	71.6	136.8°
3 15	27.2	356.9°
4 16	55.5	199.2°
5 18	38.0	228.6°
6 19	36.8	307.0°
7 22	29.5	166.0°
8 29	13.9	111.2°

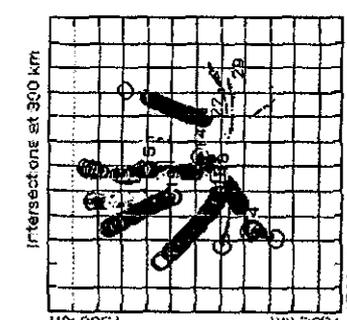


FIGURA 4

Recent results

This is an example summary plot which shows the scintillation characteristics and the motion of satellite at 350 km altitude.

Figure 1. Summary plot

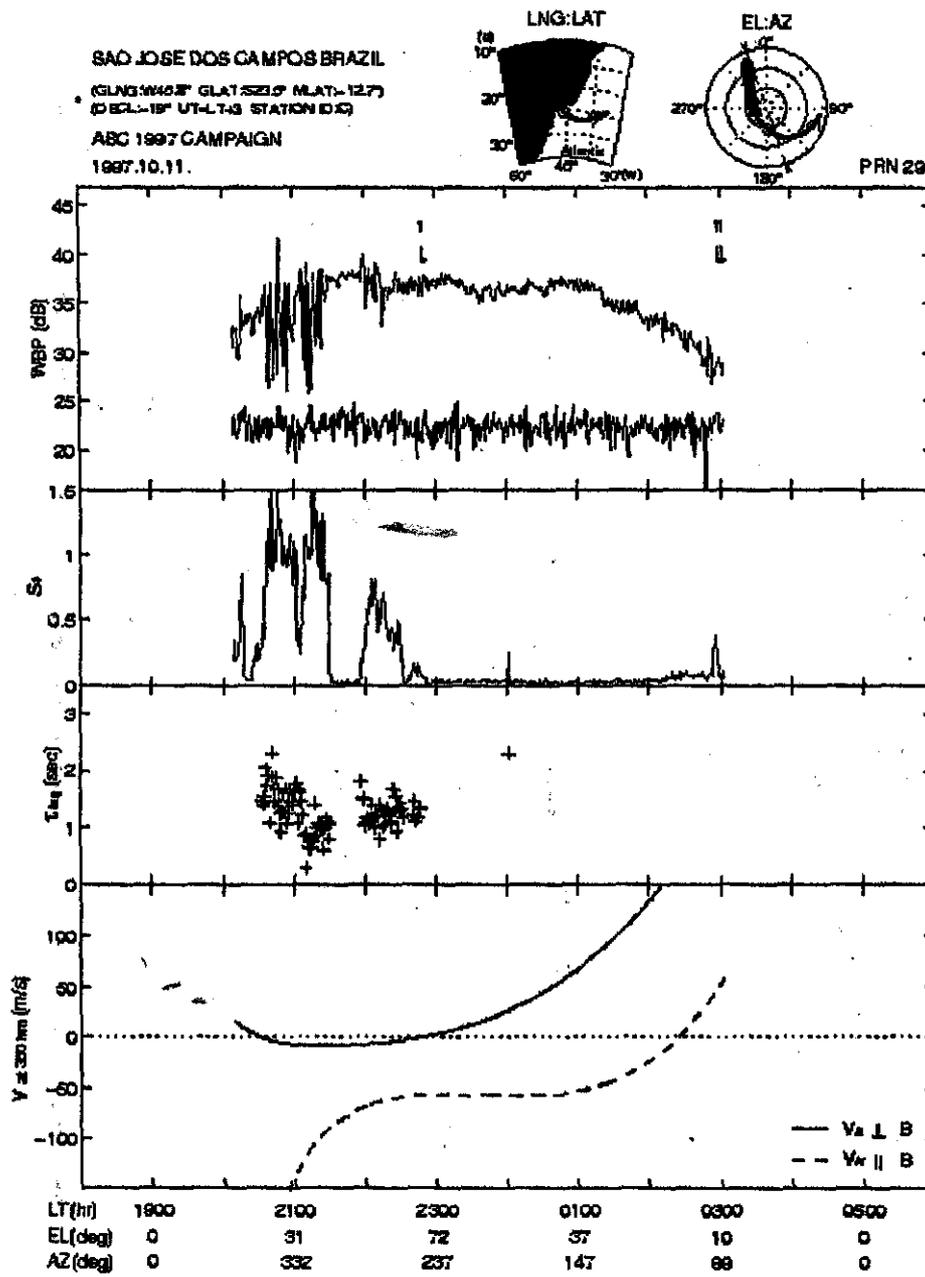


Figura 5

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS 22/01/98

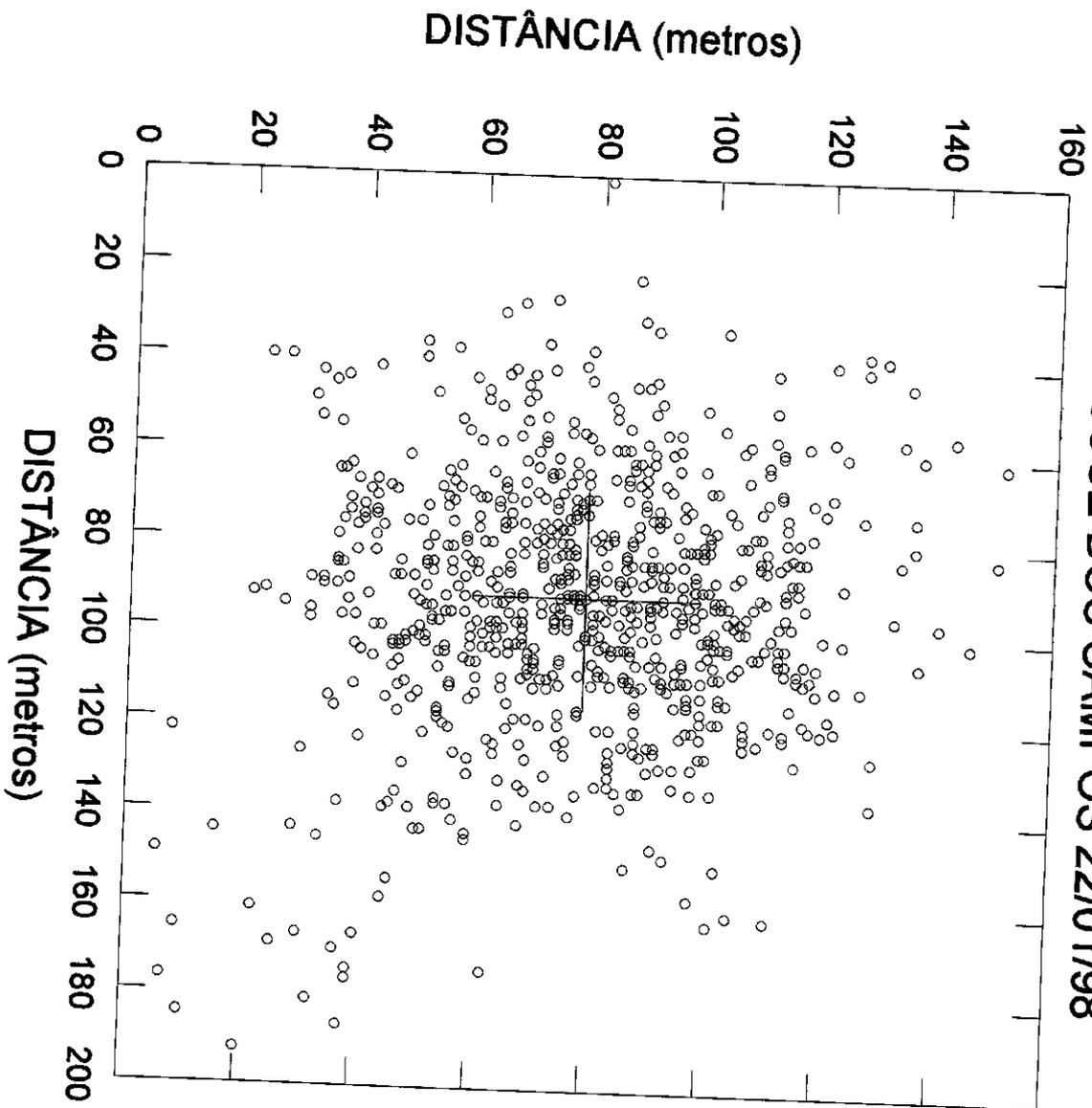


Figura 6

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS 24/01/98

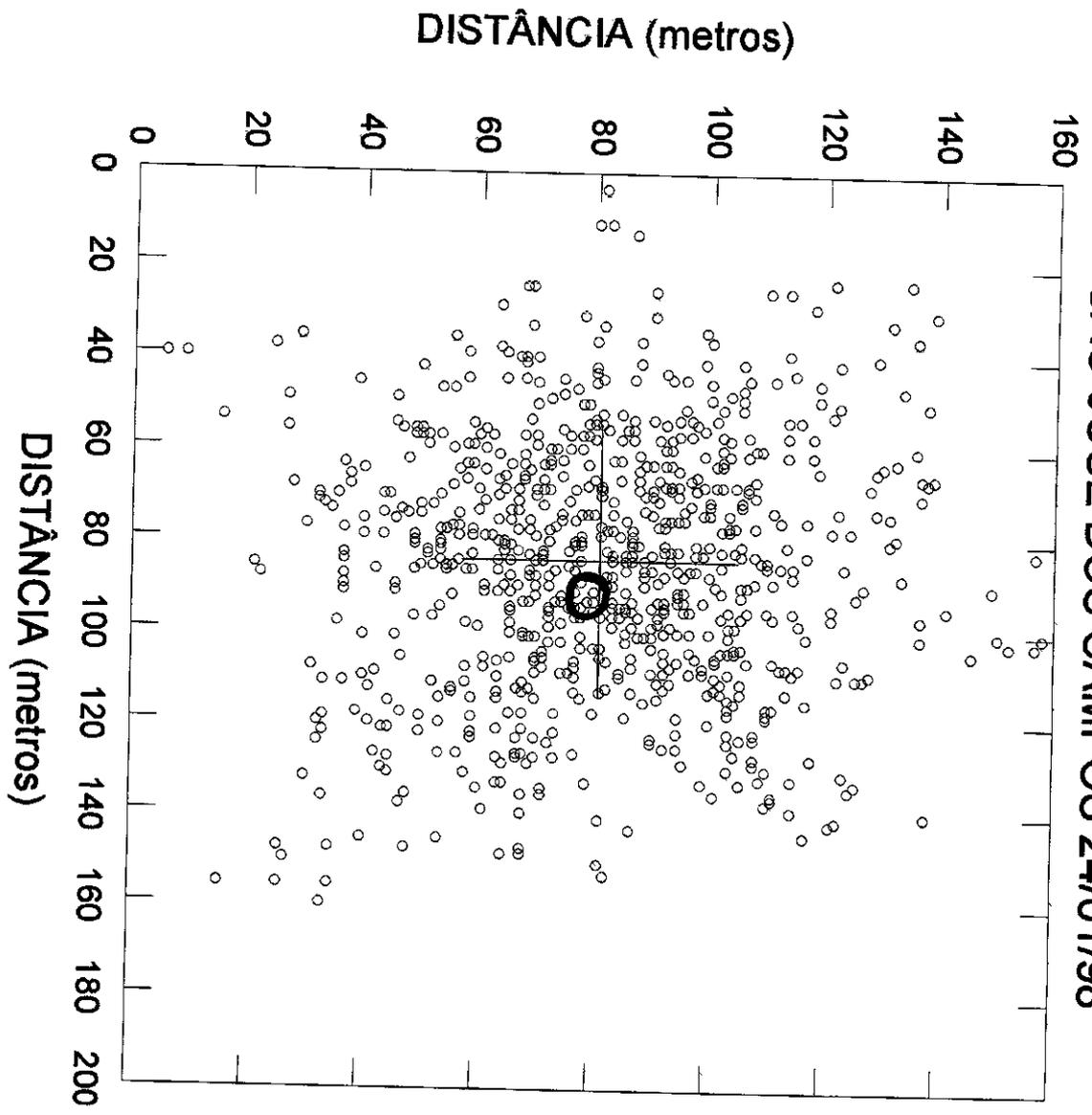


FIGURA 7