

# EFEITOS DAS BOLHAS IONOSFÉRICAS NAS COMUNICAÇÕES POR SATÉLITE NA BANDA C

Alexandre Pinhel Soares<sup>1</sup>

Furnas Centrais Elétricas S. A.  
Rua Real Grandeza 219 – Botafogo - Rio de Janeiro, RJ 22283-900, Brasil

## RESUMO

Esse artigo apresenta alguns resultados obtidos a partir da monitoração de um enlace do satélite Brasilsat B2 (Banda C). Os dados foram adquiridos por um sistema automatizado que registrou, o espectro de frequência do transponder 2A (3.74GHz a 3.78GHz), de 10 de outubro de 2000 a 15 de abril de 2001. Neste período registraram-se 37 anomalias noturnas no sinal, sendo 21 de forte intensidade e, dentre essas, 16 com mais de uma hora de duração. Por comparação com dados geofísicos confirmou-se que as anomalias no sinal foram causadas por depleções no plasma ionosférico, eventos mais conhecidos como Bolhas Ionosféricas. Para interpretação dos resultados contou-se com o apoio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

## 1. INTRODUÇÃO

Resumidamente pode-se dizer que existem dois mecanismos atmosféricos que conseguem modificar a potência recebida de um sinal de satélite : absorção e cancelamento de harmônicos. Na banda C praticamente não há absorção de sinal em nenhuma camada da atmosfera porém há cancelamento de harmônicos na Ionosfera.

O cancelamento de harmônicos ocorre porque uma onda eletromagnética ao passar por um plasma com presença de campo magnético sofre alterações que são proporcionais à intensidade do campo magnético, à densidade eletrônica do plasma e a frequência da onda [1]. Esse cenário é observado nas comunicações por satélite, pois o enlace (onda eletromagnética) atravessa a Ionosfera (plasma) na presença de um campo magnético (o da Terra).

Tendo em vista essa realidade, decidiu-se implementar um sistema de monitoramento que fornecesse os dados necessários ao diagnóstico de alguns problemas noturnos que têm sido verificados nos enlaces do satélite Brasilsat B2 contratados pela Empresa. Esse trabalho apresenta os resultados de 6 meses de monitoramento.

## 2. O EXPERIMENTO

O monitoramento é realizado sobre o sinal do satélite Brasilsat B2 (ver tabela 1) recebido no Rio de Janeiro, porém em nível de frequência intermediária (FI - 70Mhz), i.e., após o batimento com o oscilador local do transceiver [2].

O sinal derivado do receptor entra em um analisador de espectro que fica conectado a um PC via interface GPIB (General Purpose Interface Bus). O PC executa um aplicativo que controla o analisador e registra os valores de potência (em dBm) do sinal a cada 10 segundos. O sistema foi ligado em 10/10/2000 e os dados aqui utilizados correspondem ao período de 10/10/2000 à 15/04/2001, num total de, aproximadamente, 1.600.000 registros.

Tabela 1 : Características do enlace monitorado.

Tipo	Banda C
Localização	22°57'S, 43°11'W
Azimute	314.26°
Elevação	53.60°
Transponder	2A - 3740MHz a 3780MHz
Frequência central	3760 MHz
Largura de banda	36 MHz
Faixa	3742 to 3778 MHz
Polarização	Horizontal
FI	70MHz

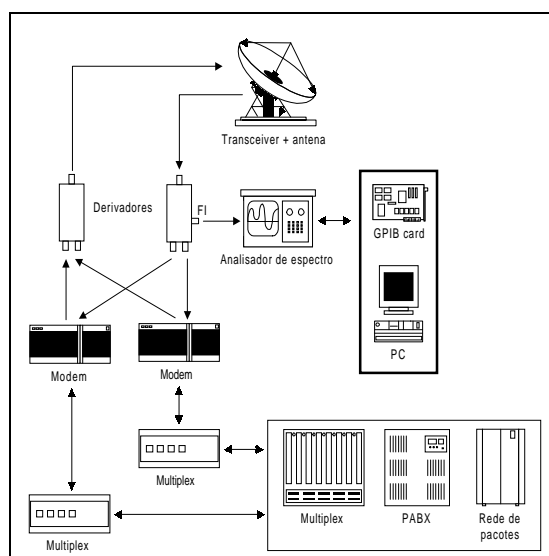


Figura 1. Esquema de interligação do Sistema de Monitoramento.

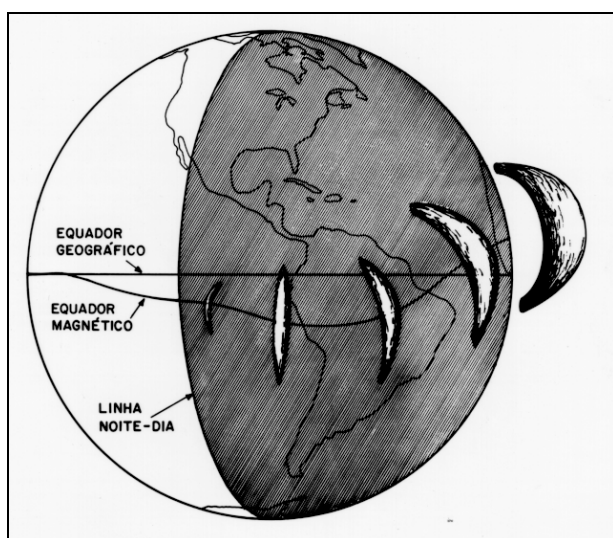
<sup>1</sup> Engenheiro do Departamento de Equipamentos Eletroeletrônicos de Furnas Centrais Elétricas S.A.  
Tel : (0xx21)528-4049 - pinhel@furnas.com.br

### 3. RESULTADOS

Considerou-se que um sinal seria anômalo se possuísse determinada diferença com o sinal registrado às 18:00, i.e., pouco antes do anoitecer. Definiu-se como anomalia Tipo 2 aquela que fizesse pelo menos 50% das frequências do espectro variarem de  $\pm 2$ dB e anomalia Tipo 3 aquela que fizesse pelo menos 50% das frequências do espectro variarem de  $\pm 3$ dB.

As anomalias registradas caracterizaram-se por grandes e abruptas flutuações na potência do sinal recebido (figuras 3 e 4). Esse tipo de fenômeno é conhecido por Cintilação. No período aqui utilizado registraram-se 37 cintilações noturnas no sinal, sendo 21 de forte intensidade e, dentre essas, 16 com mais de 1 hora duração. Através de comparações com experimentos do INPE pode-se supor que essas cintilações são causadas por fenômenos conhecidos como “Bolhas Ionosféricas” ou “Depleções do Plasma Ionosférico”. Segundo o INPE [3] :

“As bolhas ionosféricas são imensas regiões do espaço onde a densidade do plasma ionosférico é drasticamente reduzida. Estendem-se ao longo das linhas de força do campo magnético terrestre alcançando extensões de 10000 km e cerca de 150 km a 300 km na direção perpendicular se estabelecendo na alta ionosfera (figura 2). Ocorrem sempre após o por do Sol e principalmente no período noturno até a meia-noite, não obstante durante algumas fases do ano aparecem durante a noite toda até o amanhecer. No Brasil geralmente acontecem entre os meses de outubro e março e marcadamente variam de características com o ciclo de atividade solar cujo período é de cerca de 11 anos.”

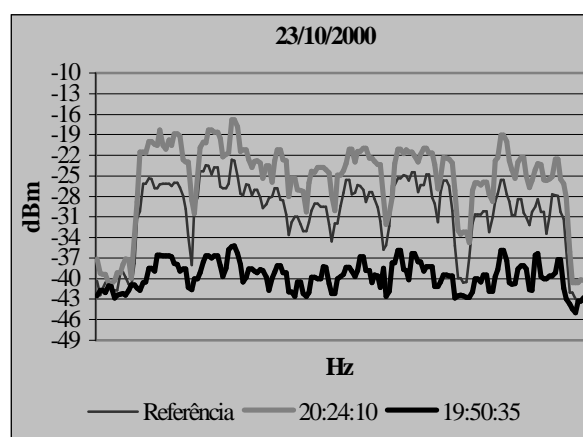


**Figura 2.** Ilustração didática da evolução temporal e espacial das Bolhas Ionosféricas.

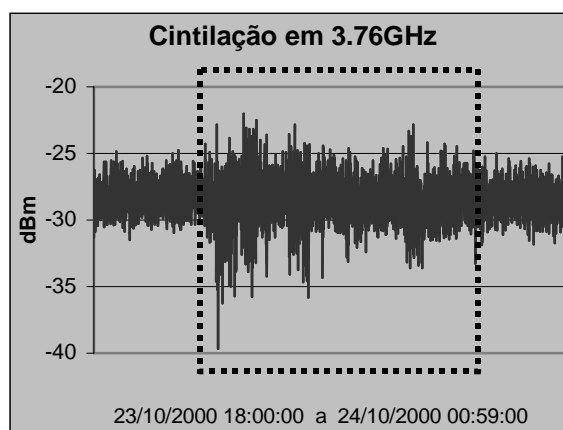
Fonte: J. H. Sobral (INPE).

A tabela 2 mostra os dados das cintilações noturnas no sinal e as datas de ocorrência de Bolhas Ionosféricas (figuras 5 e 6) registradas por um equipamento denominado imageador *all-sky* e localizado nas instalações do INPE em São João do Cariri (PB - 7°S 37°W).

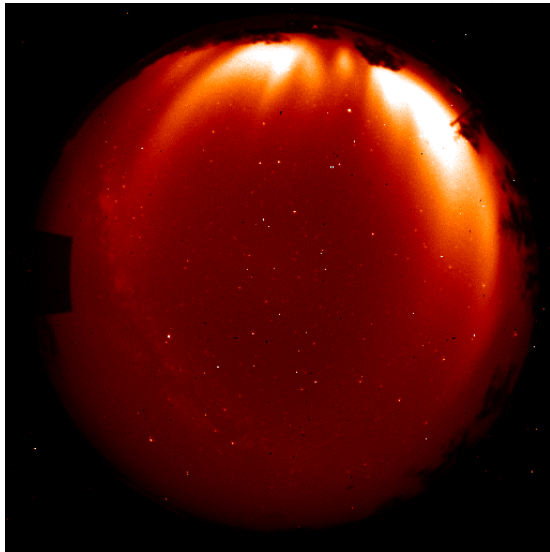
Esse equipamento registra variações na luminescência atmosférica do oxigênio atômico no comprimento de onda de 630nm, “uma luz vermelha que serve para diagnosticar a ionosfera quanto à sua dinâmica e à sua morfologia” [3], a 250km de altitude. O raio de abrangência desse instrumento é de 15.8 graus, conseguindo alcançar o local do enlace monitorado.



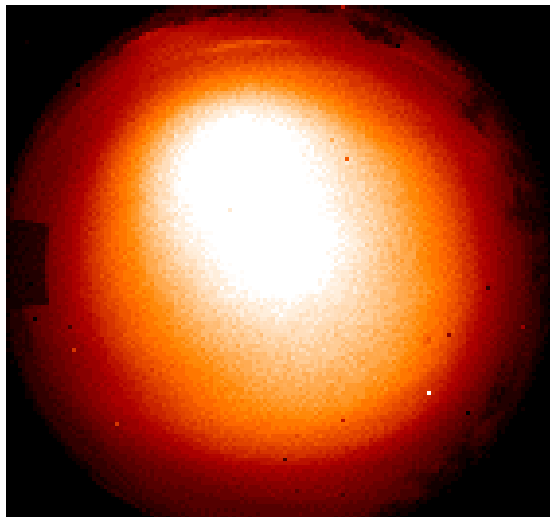
**Figura 3.** Exemplo de cintilação no espectro



**Figura 4.** Exemplo de cintilação no tempo (sinal dentro da área pontilhada – ver tabela 2)



**Figura 5.** Imagem de Bolha Ionosférica (23/10/2000 às 19:51:22).  
Fonte: D. C. Santana (INPE).



**Figura 6.** Exemplo de imagem sem Bolhas Ionosféricas.  
Fonte: D. C. Santana (INPE).

Além das ocorrências apresentadas na tabela 2, foram detectadas Bolhas Ionosféricas também em 22, 27 e 29/10/2000; 1, 2, 17, 18, 27, 28, 29, 30/11/2000; 1, 2, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 27, 28, 29, 30/12/2000 e 16, 17, 18, 19, 20, 21/01/2001.

**Tabela 2 :** Cintilações noturnas no enlace Brasilsat B2 (10/10/2000 a 15/04/2001).

Data	Início	Fim	Duração	Tipo
10/10/2000	20:59:35	23:24:35	2:25:00	3
12/10/2000	20:13:45	22:34:05	2:20:20	3
13/10/2000	20:04:25	21:26:45	1:22:20	3
14/10/2000	21:06:25	21:14:20	0:07:55	3
15/10/2000	20:10:50	21:59:20	1:48:30	3
16/10/2000	19:31:20	21:28:05	1:56:45	3
18/10/2000	20:26:50	22:16:30	1:49:40	3
19/10/2000	20:28:00	22:14:25	1:46:25	3
20/10/2000	20:25:20	22:21:25	1:56:05	3
<b>21/10/2000</b>	19:58:40	23:42:45	3:44:05	3
<b>23/10/2000</b>	19:43:10	23:46:55	4:03:45	3
<b>24/10/2000</b>	19:45:30	23:17:05	3:31:35	3
<b>25/10/2000</b>	20:01:40	1:12:30	5:10:50	3
<b>26/10/2000</b>	20:47:00	20:47:00	0:00:00	3
<b>28/10/2000</b>	23:56:10	23:56:10	0:00:00	2
<b>31/10/2000</b>	20:55:50	21:19:20	0:23:30	3
08/11/2000	21:19:00	22:28:50	1:09:50	3
09/11/2000	21:21:20	23:47:10	2:25:50	3
11/11/2000	21:51:30	21:51:30	0:00:00	2
13/11/2000	21:09:10	21:38:20	0:29:10	2
14/11/2000	20:33:50	20:33:50	0:00:00	3
15/11/2000	19:40:50	20:53:20	1:12:30	3
16/11/2000	19:35:50	19:35:50	0:00:00	3
<b>19/11/2000</b>	20:02:40	20:03:10	0:00:30	2
23/12/2000	21:09:40	21:09:40	0:00:00	2
<b>24/12/2000</b>	21:23:30	21:23:30	0:00:00	2
12/01/2001	21:44:30	21:44:30	0:00:00	2
03/02/2001	22:08:00	22:08:00	0:00:00	2
06/02/2001	22:01:30	22:17:40	0:16:10	2
20/02/2001	20:48:50	20:48:50	0:00:00	2
02/03/2001	20:26:40	20:26:40	0:00:00	2
07/03/2001	21:32:10	21:32:10	0:00:00	2
11/03/2001	21:19:20	21:19:20	0:00:00	2
14/03/2001	20:56:40	21:01:30	0:04:50	2
15/03/2001	20:26:40	20:42:10	0:15:30	2
05/04/2001	19:51:40	20:00:00	0:08:20	2
11/04/2001	20:06:00	22:21:10	2:15:10	3

Em negrito : dias com ocorrência de Bolhas.

Em itálico : dias em que o imageador não funcionou.

## 4. CONCLUSÕES

A concordância entre as observações do INPE e as cintilações no sinal monitorado levam a crer que as comunicações por satélite na banda C, pelo menos até latitudes próximas a 22°S, podem ser severamente afetadas pela presença de Bolhas Ionosféricas, especialmente entre 19:30 e 00:00, hora local.

A ocorrência de Bolhas Ionosféricas em dias em que não foram registradas cintilações no sinal monitorado explica-se pelo fato de que nem todas as bolhas têm tamanho suficiente para alcançar baixas latitudes (Rio de Janeiro, por exemplo), enquanto que o instrumento do INPE está localizado muito próximo ao Equador Magnético, detectando também as bolhas menores (ver figura 2).

O impacto desse tipo de fenômeno nas telecomunicações por satélite está diretamente relacionado com a latitude das instalações. Enlaces localizados em latitudes equatoriais (até  $\cong 10^\circ$ ) estão mais sujeitos a esse tipo de problema, porém já foram registradas bolhas até 40° de latitude.

Para estudar o efeito da latitude pretende-se instalar um sistema de aquisição na localidade de Barro Alto (15°07'S, 48°55'W), em Goiás, que terá os seus dados comparados com os do Rio de Janeiro.

Apesar de alguns dos equipamentos envolvidos nesse experimento possuírem registro de erro, por motivos diversos não foi possível utilizá-los convenientemente de forma que não se obteve uma correlação temporal precisa entre os eventos ionosféricos e os erros nos enlaces. Esse problema será resolvido por um sistema que ficará enviando e recebendo uma mensagem pré-definida. A comparação dos dados enviados com os recebidos indicará ocorrência de erro que será registrado para posterior análise.

Devido ao fato do período 2000-2001 ser de máxima atividade solar, espera-se que esse tipo de problema diminua nos próximos anos, voltando a crescer em seguida.

O acompanhamento do desempenho e da qualidade dos serviços de telecomunicações por satélite é muito importante sendo recomendável que os usuários tenham a maior clareza possível sobre a confiabilidade dos serviços contratados. No caso de sistemas satélite os únicos problemas amplamente divulgados são os causados pela Interferência Solar (alinhamento antena-satélite-Sol). Essa deficiência na divulgação de outras causas de problemas deve ser alvo de atenção por parte da comunidade.

A monitoração contínua com análise diária da qualidade de um enlace satélite pode ser muito útil na logística das telecomunicações de uma empresa uma vez que o início de um período de cintilação pode ser percebido antecipadamente às possíveis falhas, proporcionando mais tempo para o acionamento das medidas cabíveis.

Por fim pode-se concluir que a utilização de dados geomagnéticos e solares proporcionam um contexto geofísico mais completo facilitando a estimativa da confiabilidade dos enlaces e proporcionando mais tempo para tomadas de decisão.

## 5. AGRADECIMENTOS

O autor agradece a C. B. Menezes, do Departamento de Equipamentos Eletroeletrônicos, pelo apoio com a instrumentação e a J. H. A. Sobral e D. C. Santana, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pelas informações fornecidas e esclarecimentos sobre Geofísica Espacial.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] "The Ionosphere and its effects on radiowave propagation - A guide with background to ITU-R procedures for radioplanners and users", International Telecommunication Union - Radiocommunication Bureau, 1998.
- [2] SSE Technologies, "Star Transceiver Operation and Maintenance Manual", 1998.
- [3] D. C. Santana, "Estudos da evolução temporal/espacial das derivas das depleções do plasma ionosférico por imagens digitais da aeroluminescência OI 630nm noturna", Dissertação de mestrado em Geofísica Espacial, INPE, São José dos Campos, Fev 2000.