



STL/003

21 a 26 de Outubro de 2001
Campinas - São Paulo - Brasil

STE IV SEÇÃO TÉCNICA ESPECIAL DE TELECOMUNICAÇÕES EM SISTEMAS DE POTÊNCIA

MONITORAÇÃO DE ANOMALIAS EM COMUNICAÇÕES VIA SATÉLITE

Alexandre Pinhel Soares*
Furnas Centrais Elétricas S. A.

RESUMO :

Esse artigo apresenta alguns resultados obtidos a partir da monitoração de enlaces de comunicação via satélite alugados por Furnas. Os dados foram obtidos por um sistema automatizado desenvolvido pela empresa e compreendem o período de 4 a 28 de setembro de 1999. Dentre os diversos fenômenos registrados 10 ocorreram à noite e, dentre esses, 7 foram de longa duração. Para interpretação de parte dos dados contou-se com o apoio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

PALAVRAS-CHAVE :

Comunicações via satélite - Ionosfera - Monitoração

1 - INTRODUÇÃO :

A geração, transmissão e distribuição de energia elétrica são atividades que dependem da perfeita coordenação entre usinas, subestações e centros de operação de forma que as empresas de energia elétrica normalmente possuem sistemas próprios de telecomunicações. Eventualmente porém, por motivos econômicos ou históricos, opta-se pela utilização de algum meio não proprietário de comunicação como sistema de microondas de outra empresa ou satélite, sendo que nesses casos procura-se acompanhar o desempenho e a qualidade dos serviços contratados.

Um desses casos de utilização de sistema de telecomunicações não proprietário por parte de Furnas são os enlaces satélite (Embratel Brasilsat B2)

alugados para comunicação entre o Escritório Central (RJ) e as instalações da empresa em Vitória (ES) e Campos (RJ). Esses enlaces entraram em operação em 1998 e foram minuciosamente monitorados no período de 4 a 28 de setembro de 1999. Esse trabalho apresenta os resultados dessa monitoração (exceto a análise feita sobre a Interferência Solar¹).

2 - O EXPERIMENTO :

A monitoração foi feita sobre o sinal do satélite Brasilsat B2 (ver tabela 1) recebido no Escritório Central de Furnas, no Rio de Janeiro, porém em nível de frequência intermediária (FI) [1]. Dessa forma o sistema de monitoração não precisou ficar no local da antena além de não ter havido a necessidade de desligamento do enlace pois utilizou-se um derivador já existente. A figura 1 ilustra as interligações.

Tabela 1 : Características do enlace.

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

¹ Interferência resultante do alinhamento Sol-Satélite-Receptor. Ocorre duas vezes ao ano, em março e em setembro e provoca grande redução da qualidade do sinal recebido.

O sinal derivado do receptor entrava em um analisador de espectro que estava conectado a um PC via interface GPIB (General Purpose Instrumentation Bus) e o PC executava um aplicativo (desenvolvido pela empresa) que controlava o analisador e aquisitava os dados.

Para melhor visualização dos gráficos utilizou-se, no analisador, um *span* de 120MHz, i.e., a partir da frequência de interesse (70MHz) monitorou-se ± 60 Mhz, resultando na faixa de 10MHz a 130MHz. O

sinal obtido com essa configuração pode ser visto na figura 3.

Apesar da faixa de frequências ser somente de ordem de MHz, utilizou-se para a aquisição de dados um analisador de espectro HP8592B (faixa de 9kHz a 22GHz), pelo fato de ter sido o único disponível com interface GPIB. Nesse instrumento [2], para a faixa monitorada tem-se uma incerteza de medição de $\pm 7,407$ MHz. Como se desejava somente uma visualização geral dos espectros de frequência, esse erro foi considerado irrelevante.

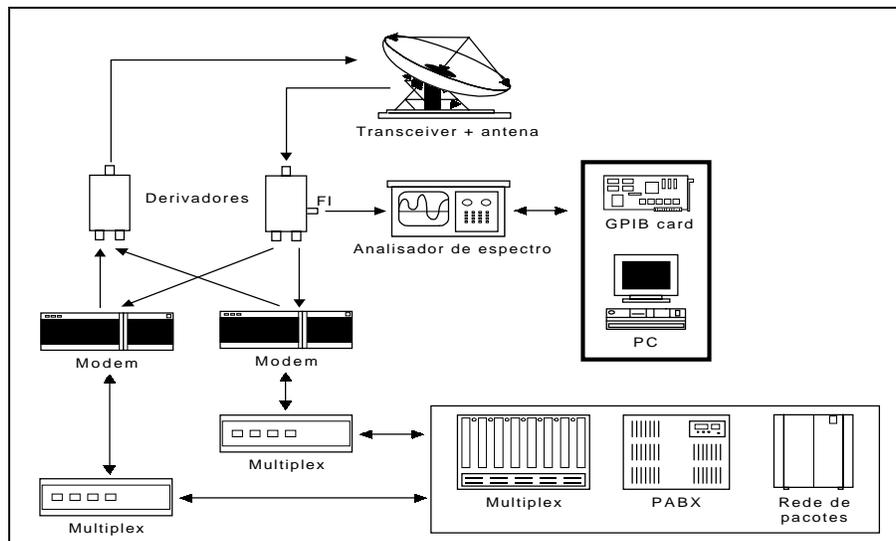


Figura 1. Esquema de interligação do Sistema de Monitoração

A cada aquisição de dados gravavam-se os valores de potência (em dBm) das frequências de 10MHz a 130MHz (401 pontos espaçados linearmente). O sistema ficou ligado, ininterruptamente, de 4 a 28 de setembro de 1999 sendo que a taxa de aquisição de dados variava conforme a hora do dia devido aos diferentes tipos de fenômenos esperados. Para o registro das perturbações ionosféricas noturnas o horário de interesse foi de 20:00:00 às 00:00:00 [3,4,5], i.e., em todos os dias, de oito horas da noite até à meia-noite, o Sistema de Monitoração aumentava a taxa de aquisição de dados visando melhorar a resolução temporal.

Foram registrados cerca de 220000 espectros de frequência e para o processamento dessas informações desenvolveu-se um aplicativo que, a partir de uma especificação, identificasse um espectro anômalo. Primeiramente definiu-se um espectro de referência que correspondia ao estado normal do enlace e em seguida definiu-se que os espectros que possuíssem

10% de suas frequências com diferenças superiores a ± 3 dB em relação ao espectro de referência seriam considerados anômalos e separados para classificação e análise.

3 - RESULTADOS :

Pelos gráficos obtidos tentou-se classificar os eventos (tabela 2), agrupando-os por similaridade de horário (hora local), duração e tipo de deformação no sinal. Deve-se ressaltar que, como a taxa de aquisição de dados variava com a hora do dia, sendo bem reduzida em horários onde não era esperado nenhum problema (15:00:00 a 20:00:00 e 00:00:00 a 12:00:00)², muitos fenômenos de curta duração talvez não tenham sido registrados.

² Diariamente, no período de 12:00:01 às 14:59:59 a taxa de aquisição aumentava para detalhamento da Interferência Solar.

Tabela 2 : Classificação das anomalias de 4 a 28 de setembro de 1999 (exceto Interferência Solar).

Tipo	Dia	Período (hora local)	Duração
AL	7	22:44:28 a 22:57:33	00:13:05
IL	8	20:55:39	-
AC	10	19:21:28	-
AC	11	06:29:50 a 06:33:19	00:03:29
AC	17	19:47:28 a 19:47:41	00:00:13
AL	22	19:39:01 a 20:43:21	01:04:20
AL	22	22:10:42 a 23:22:34	01:11:52
AC	24	00:02:12	-
IL	24	10:53:43	-
AL	24	22:04:10 a 22:56:45	00:52:35
AL	25	23:35:40 a 00:23:48	00:48:08
AL	26	20:14:11 a 21:44:53	01:30:42
IL	28	07:47:19	-
IL	28	11:51:05	-
AL	28	20:25:43 a 21:06:00	00:41:17

IL=Interferência Local

AC=Anomalia atmosférica de curta duração

AL=Anomalia atmosférica de longa duração

3.1 - INTERFERÊNCIAS LOCAIS :

Ocorreram 4 vezes e caracterizaram-se por mudança abrupta e instantânea no espectro. Foram causadas por algum transmissor próximo como, por exemplo, rádios da segurança e ainda estão sob estudo (ver Conclusões).

3.2 - INTERFERÊNCIAS ATMOSFÉRICAS :

Dentre os eventos registrados, uma anomalia atmosférica de curta duração ocorreu durante o dia e três anomalias atmosféricas de curta duração e todas as sete de longa duração ocorreram à noite.

Resumidamente pode-se dizer que existem dois mecanismos atmosféricos que conseguem modificar um enlace 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 em uma das camadas : a 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 e à densidade eletrônica do plasma [6]. Esse cenário é observado nas comunicações via satélite, pois o enlace (onda eletromagnética) atravessa a Ionosfera (plasma) na presença de um campo magnético (o da Terra). Consequentemente flutuações em um enlace desse tipo

podem significar variações no campo magnético da Terra e/ou variações na densidade do plasma ionosférico.

Ocorre porém ser muito grande a variação necessária no campo magnético da Terra para que ocorra uma alteração significativa de um enlace. Pode-se considerar então que uma alteração de potência no enlace está associada à uma variação da densidade do plasma ionosférico.

As anomalias atmosféricas de longa duração caracterizaram-se por grandes mudanças nos níveis do sinal (cintilações) e por uma duração da ordem de 15 a 90 minutos, sempre à noite. Ocorreram 7 vezes em 6 dias diferentes. Através de comparações com experimentos do INPE pode-se supor que essas perturbações 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 3). 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.”

As anomalias noturnas de longa duração ocorreram nos dias 7, 22, 24, 25, 26 e 28 de setembro. Um equipamento denominado imageador *all-sky* e localizado nas instalações do INPE em Cachoeira Paulista indicou ocorrência de bolhas ionosféricas no dia 7 de setembro, mas por problemas de visibilidade não registrou imagens no período de 22 a 28 de setembro. 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.

As imagens obtidas com esse equipamento correspondem a uma área do céu com 1100km de lado (centrada sobre Cachoeira Paulista), sendo representativas também do Rio de Janeiro pois a distância entre Cachoeira Paulista e Rio de Janeiro é de cerca de 250km. A figura 2 mostra as bolhas

ionosféricas de 7 de setembro às 22:50:00. O céu noturno está emitindo luz vermelha e a faixa escura dentro da parte vermelha são as bolhas ionosféricas. As figuras 3 e 4 mostram o sinal monitorado no momento da fotografia da figura 2, sugerindo fortemente que a causa da anomalia tenha sido as bolhas ionosféricas

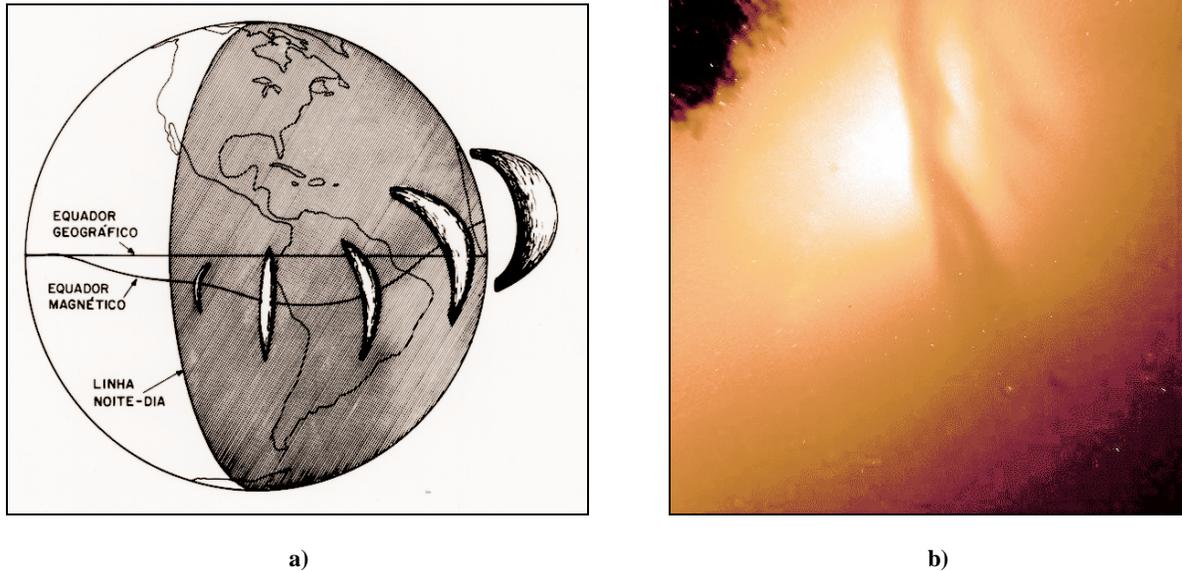


Figura 2. a) Ilustração didática da evolução temporal e espacial das bolhas ionosféricas.
b) Imagem obtida no dia 7 de setembro, às 22:50:00 com o imageador *all-sky* do INPE.
Fonte: figuras gentilmente cedidas por J. H. Sobral e D. C. Santana (INPE).

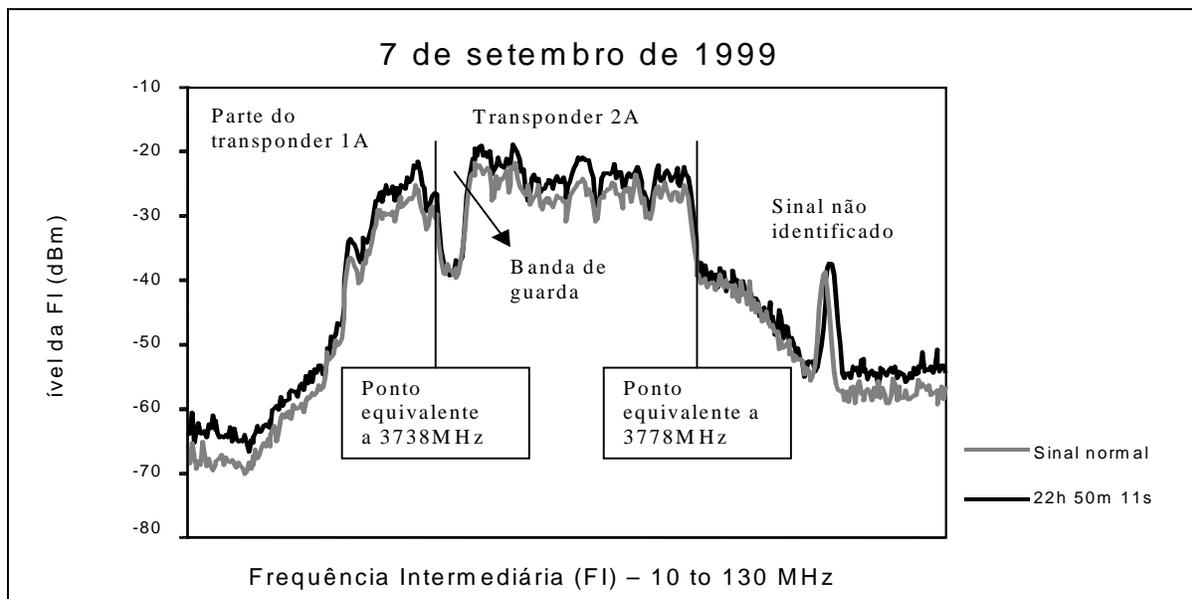


Figura 3 : Exemplo do efeito da cintilação no espectro do enlace monitorado.

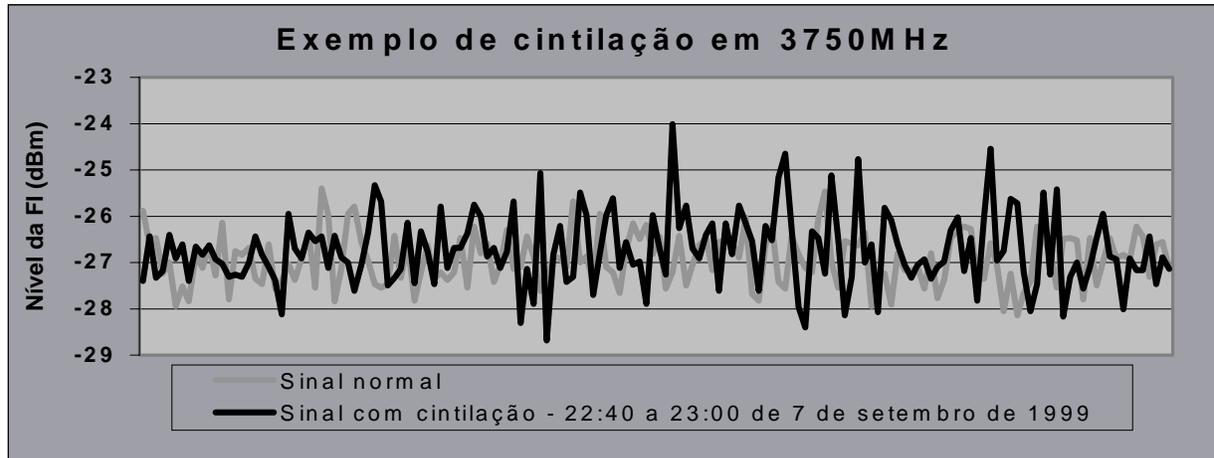


Figura 4 : Exemplo de cintilação no tempo.

Devido a ausência de fotografias, para investigação do período de 22 a 28 de setembro utilizaram-se dados de um outro experimento do INPE baseado em um receptor GPS (Global Positioning System), especialmente modificado, que mede a potência e o ruído do sinal [5]. Esse sistema sofreu perturbações nesses dias (7, 22, 24, 25, 26 e 28) e também em dias em que nada foi detectado em Furnas (dias 8, 9, 14, 15, 16, 20, 21 e 23)³.

As anomalias atmosféricas noturnas de curta duração, produziram efeitos semelhantes às de longa duração, porém duraram poucos segundos. Talvez tenham sido ramificações dos limites Sul de Bolhas Ionosféricas menores (ver figura 2a).

Por fim, a única anomalia atmosférica diurna de curta duração durou poucos minutos e ainda está sob estudo (ver Conclusões).

4 - CONCLUSÕES :

Houve concordância entre o experimento de Furnas e os experimentos do INPE [3,5] no que diz respeito a observação de anomalias noturnas causadas por fenômenos ionosféricos.

Orientado pelo experimento de 1999, iniciou-se em outubro de 2000 um novo período de observação que deve durar até o final de 2001. Análises preliminares

³ Deve-se levar em consideração que o Brasilsat B2 é geostacionário Banda C enquanto que a constelação GPS é de baixa órbita Banda L e que os receptores estavam em locais diferentes (Rio de Janeiro - RJ e São José dos Campos - SP, respectivamente).

sobre os dados coletados até janeiro de 2001 indicam aumento significativo de anomalias diurnas, porém não foi registrada nenhuma interferência local, sugerindo que as fontes presentes em 1999 não mais existam⁴.

Tem-se estudado a hipótese de que as anomalias diurnas sejam causadas por *Travelling Ionospheric Disturbances* (TIDs)⁵ ou por *Solar Flares*⁶. Como o período de 2000-2001 é de máxima atividade solar, o aumento de ocorrências de TIDs e *Solar Flares* talvez expliquem o aumento de anomalias diurnas, porém essa ainda é uma questão sob estudo.

Está sendo investigada também a influência da latitude nos problemas de comunicação via satélite (ver figura 2a). Para isso instalou-se um sistema de aquisição na subestação 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 precisa entre os eventos ionosféricos e os erros nos enlaces. Esse problema será resolvido por um sistema em desenvolvimento que ficará enviando e recebendo uma mensagem pré-definida. A comparação dos dados

⁴ Será realizado em 2001 um experimento com o objetivo de verificar se há interferência dos rádios de segurança no enlace.

⁵ Resumidamente falando, consiste em uma "onda" de plasma que se desloca dos pólos em direção ao Equador devido à expansões térmicas causadas pelas Auroras.

⁶ Explosões solares. Esses eventos provocam grande emissão de raios X que alteram a dinâmica da alta atmosfera.

enviados com os recebidos indicará ocorrência de erro que será registrado para posterior análise.

Por fim pode-se concluir que o acompanhamento do desempenho e da qualidade dos serviços de telecomunicações contratados é muito importante. Deve-se ter a maior clareza possível sobre esses sistemas, principalmente sobre o parâmetro indisponibilidade. No caso de sistemas satélite o único fator de indisponibilidade abertamente informado, pelo menos à Furnas, foi a Interferência Solar, porém a monitoração mais minuciosa revelou outros tipos de problemas, como pôde ser visto.

5 - AGRADECIMENTOS :

Os autores agradecem a V. R. Corrêa e M. A. Thomé, do Departamento de Engenharia de Telecomunicações de Furnas, pelo apoio com a interface GPIB; a J. N. Cardoso e L. dos Santos, do Centro Técnico de Ensaios e Medições de Furnas, pelo apoio com o analisador de espectro e a J. H. A. Sobral, D. C. Santana e E. R. de Paula, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pelas informações fornecidas e esclarecimentos sobre a Ionosfera.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS :

[1] SSE Technologies, "Star Transceiver Operation and Maintenance Manual", 1998.

[2] Hewlett-Packard, "Series HP8590 Spectrum Analyser - Programming and Operation", 1996.

[3] D. C. Santana, J. H. A. Sobral, H. Takahashi, "Estudos morfológicos das depleções do plasma ionosférico por imagens digitalizadas", Anais 6º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro, Ago 1999.

[4] I. S. Batista, M. A. Abdu, R. T. de Medeiros, J. H. A. Sobral, "Equatorial Spread F and Plasma Bubbles : A step towards prediction", Anais 6º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro, Ago 1999.

[5] E. R. de Paula, A. A. Pallaoro, P. M. Kintner, T. L. Beach, H. Kil, I. J. Kantor, J. H. A. Sobral, I. S. Batista, M. A. Abdu, F. C. de Oliveira, "Ionospheric scintillation effects on DGPS positioning", Anais 6º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro, Ago 1999.

[6] "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.