



STL/002

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

ST E IV

SESSÃO TÉCNICA ESPECIAL DE TELECOMUNICAÇÕES EM SISTEMAS DE POTÊNCIA

SISTEMA SATÉLITE VERSUS SISTEMA RÁDIO - O DESAFIO DE PROVER COMUNICAÇÃO AO LONGO DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO DA ELETRONORTE

Dilermando de Santana Lacerda
ELETRONORTE

Nagib Bechara Pardaul
ELETRONORTE

RESUMO

O desafio de prover comunicação ao longo das linhas de transmissão da Eletronorte, é retratado neste artigo, através do estudo comparativo das alternativas rádio e satélite, abrangendo aspectos técnicos, econômicos e ergonômicos. As perspectivas futuras também são abordadas.

PALAVRAS CHAVE: Sistema rádio; Sistema satélite; Linhas de transmissão

1.0. INTRODUÇÃO

Os sistemas de telecomunicações, destinados principalmente para atendimento às equipes de linhas de transmissão, quer sejam de instalação ou manutenção, foram sendo aperfeiçoados ao longo dos anos. Os primeiros sistemas estavam baseados na utilização de rádios HF/SSB analógicos, de longo alcance, instalados na sede da Eletronorte em Brasília e nas principais subestações da empresa. Entretanto, apesar do alcance, a performance do sistema era bastante baixa, com a existência de enormes áreas de sombra ao longo das linhas e das constantes interferências verificadas nos equipamentos.

Para diminuir os problemas então verificados, diversos estudos foram realizados, com o propósito de implantação de um sistema rádio que proporcionasse total cobertura ao longo das linhas. Estes estudos apontaram para a utilização de sistema rádio VHF/FM, com estações repetidoras localizadas ao longo das linhas de transmissão e estações fixas nas subestações

do sistema.

Dificuldades de diversas ordens, entre as quais as de ordem econômica, praticamente impossibilitaram a implantação de rede de rádio em VHF. Esta impossibilidade, foi bastante sentida ao longo das linhas de transmissão da Eletronorte, principalmente nos eixos de 500 e 230 kV, espalhados pelos estados da Amazônia Legal (Pará, Maranhão, Mato Grosso, Rondônia, Amapá, Roraima, Acre, Amazonas e Tocantins), região muito peculiar, marcada pelas longas distâncias e, infelizmente, pela falta de infraestrutura que, aliadas a outros fatores, contribuem sensivelmente para o rol de dificuldades enfrentadas pelas equipes de manutenção, especialmente às de linhas de transmissão.

Não obstante, diversas medidas foram tomadas no sentido de reduzir o problema, proporcionando o aumento da área de cobertura via rádio porém, ainda com muitos prejuízos operacionais para a recomposição do sistema elétrico.

Nos últimos quatro anos, com a disseminação da comunicação via satélite, além de novos equipamentos rádio HF/SSB digitais, os problemas de comunicação ao longo das linhas foi minorado.

Atualmente, com a entrada de novas operadoras que provêem comunicação móvel via satélite, questiona-se da utilidade de implantação de sistemas rádio VHF, principalmente devido ao fato da inexistência de estações repetidoras próprias.

É dentro deste panorama que o artigo apresenta um estudo comparativo da utilização de sistemas satélite (em alta e baixa órbita) e sistemas rádio (VHF e HF), para prover comunicação ao longo das linhas de transmissão da Eletronorte, espalhadas pela vasta região da Amazônia Legal, possibilitando comunicação de qualidade e confiabilidade às equipes encarregadas de instalar, manter e operar o sistema de transmissão da Empresa.

O artigo encontra-se dividido em dois grandes capítulos: sistemas rádio, no qual estudaremos os sistemas HF e VHF, e os sistemas satélites, nos quais são estudados os sistemas que operam em baixa órbita e àqueles que operam em alta órbita. Ao final do artigo, são apresentados os comparativos entre os sistemas e suas perspectivas.

2.0. SISTEMA RÁDIO

2.1. Sistema Rádio operando em HF

Os sistemas rádio operando em HF, ocupam uma faixa compreendida entre 3 e 30 MHz (a faixa de interesse varia de 3 a 12 MHz), do espectro de RF e possibilitam comunicação a longa distância, superior a 150 km, para canais de voz e dados a baixa velocidade, para o caso em estudo.

Os principais tipos de antenas utilizados são:

- dipolo de meia onda;
- rômica horizontal;
- log-periódica.

Os sinais dos sistemas HF são afetados, entre outros, pelos seguintes fatores:

- variação com as condições ionosféricas, fator limitador do alcance;
- sujeito a variações lentas e rápidas;
- depende da potência de transmissão e do ganho da antena;
- muito sujeito ao ruído natural e ao provocado pelo homem;
- reduzido número de canais de RF disponíveis.

Os equipamentos rádio operando em HF, foram bastante utilizados pela Eletronorte no início dos anos de 1980 sendo paulatinamente desativados, pelos problemas de interferência verificados e pela obsolescência dos mesmos.

Nos últimos anos, foram lançados equipamentos rádio mais robustos, com maior seletividade e menor largura de banda, de tal forma a reduzir os problemas de interferências verificados. A Eletronorte adquiriu em 1997, alguns equipamentos, de fabricação Yaesu, cujas características encontram-se indicadas a seguir, para

apoio às equipes de construção das linhas de transmissão, com resultados satisfatórios para o tráfego de voz.

Algumas características dos equipamentos HF, são:

- modelo: System 600;
- número de canais: 100;
- modulação: HF/SSB;
- potência de transmissão: de 25 a 100 W;
- sensibilidade do receptor: $< 1,0 \mu\text{V}$;
- frequência de operação: 1,8 a 30 MHz;
- banda ocupada: $< 3,0 \text{ kHz}$;
- dimensões: 286x244x104 mm;
- peso: 4,5 kg;
- possui protocolo de chamada seletiva e programável através de software.

Como estes sistemas necessitam de poucas estações repetidoras para cobrir longas distâncias, está sendo considerado como um meio alternativo de comunicação para as equipes de manutenção.

2.2. Sistema Rádio operando em VHF

Os sistemas rádio operando em VHF, ocupam uma faixa compreendida entre 30 e 300 MHz (a faixa de interesse varia de 148 a 174 MHz), do espectro de RF, sendo utilizados, para o caso em estudo, principalmente para comunicação de voz e dados em baixa velocidade, a distâncias inferiores a 70 km.

Os principais tipos de antenas utilizados são:

- dipolo de meia onda;
- yagi-uda;
- cônica;
- log-periódica;
- helicoidal.

Os sinais de VHF são afetados, entre outros, pelos seguintes fatores:

- variações lentas do sinal devido ao índice de refração do ar;
- variações rápidas do sinal devido às perturbações atmosféricas e ao provocado pelo homem;
- muito suscetível à topografia, que influencia no alcance
- atenuação crescente com a frequência;
- ganho das antenas mais importante que a potência de transmissão;
- o casamento das antenas é importante;
- tendência ao compartilhamento dos canais de RF disponíveis.

Os sistemas rádio operando em VHF, constituíram-se em alternativa para os sistema HF, para a comunicação ao longo das linhas de transmissão, principalmente pela facilidade proporcionada pelos equipamentos

rádios móveis e portáteis, em especial os equipamentos digitalizados, que permitem interfaces com equipamentos de comutação local.

Pelas características dos sinais quando propagando-se na faixa de VHF, é necessário um número razoável de estações repetidoras, para cobrir uma extensa linha de transmissão, comum na área da Eletronorte. Por exemplo, projeto desenvolvido com esta finalidade ao para atendimento ao longo de 1.200 km de linhas de transmissão, interligação Guamá/São Luís, previam a utilização de dezoito estações repetidoras, que se constituem em fator inibidor, atualmente, para sua utilização para este tipo de serviço.

A tendência, quando da inexistência de estações repetidoras, é destinar a utilização dos equipamentos VHF, para as áreas adjacentes às subestações e usinas.

São apresentadas a seguir, as principais características técnicas de equipamentos rádio VHF, em operação na Eletronorte.

- Rádio fixo modelo: R 1225;
- número de canais: 16 ;
- potência de transmissão: 25 a 50 W;
- sensibilidade do receptor: 0,35 μ V;
- dimensões: 51x181x213 mm;
- peso: 2,4 kg;
- Rádio móvel modelo: PRO 7100;
- número de canais: 4 a 128;
- potência de transmissão 25 a 40 W;
- sensibilidade do receptor: 0,22 μ V;
- dimensões: 59x198x179 mm;
- peso: 1,65 kg;
- Rádio portátil modelo: PRO 7150;
- Número de canais: 4 a 128;
- Potência de transmissão: 1 a 5 w;
- sensibilidade do receptor: 0,22 μ V;
- dimensões: 137x58x40 mm
- peso: 0,42 kg;
- baterias: NiMH com duração superior a 8h;
- As seguintes informações são comuns a todos os equipamentos:
 - frequência de operação: 136 a 174 MHz;
 - banda ocupada: 28 MHz;
 - modo de operação: full-duplex;
 - protocolo de chamada seletiva e grupos de conversação e programável por software.

3.0. SISTEMA SATÉLITE

Antes de iniciarmos nosso estudo, veremos resumidamente, como funciona o acesso do usuário aos serviços prestados pelas constelações de satélites de interesse.

Ao ser utilizado, o aparelho do usuário emite um sinal que é identificado pelo satélite mais próximo, que o

retransmite para a estação terrestre correspondente à sua área. Nesta estação, o sinal é decodificado e enviado para a rede pública, onde o sinal será encaminhado para um usuário, fixo ou celular, conectado à esta rede. Caso o destinatário seja outro aparelho via satélite, então o sinal não precisa percorrer a rede terrestre.

3.1. Sistema Satélite operando em órbita alta

Os sistemas satélites, também chamados de constelações de satélites, operando em órbita alta, são conhecidos como satélites em órbita geostacionária (GEO, em inglês), encontram-se posicionados a uma altitude de 35.786 km, sobre a linha do Equador, com velocidade angular idêntica a da terra, o que faz com que pareçam fixos no espaço.

Em nosso caso, apenas a constelação de satélites operadas pelo consórcio Inmarsat, será objeto de análise.

O sistema Inmarsat, consórcio formado por 79 países, destinava-se inicialmente a prover comunicação marítima, ampliando posteriormente sua área de atuação para as comunicações aeronáuticas e terrestres. O sistema consiste em uma rede de nove satélites em órbita geoestacionária, sendo que quatro cobrem todo o globo terrestre (aproximadamente 98%), os demais destinados à reserva, posicionados em torno da linha equatorial cada um cobrindo uma região oceânica (Pacífico, Índico, Atlântico Oeste e Atlântico Leste), e uma rede de 40 estações terrestres espalhadas em 31 países, sendo que uma delas encontra-se instalada no Rio de Janeiro.

Algumas outras características do sistema Inmarsat, são:

- opera nas bandas L e C;
- opera os serviços conhecidos como: A, B, M e mini-M;
- os satélites que cobrem o Brasil são o Atlântico Oeste, localizado a 54°. Oeste e Atlântico Leste, localizado a 15,5°. Oeste, ou seja, os dois satélites são visíveis ao aparelho do usuário;
- utiliza modulação PM ;
- transmite voz e dados até 64 kbps.

Como todo sistema de telecomunicações, o sistema satélite também sofre diversas perturbações, dentre as quais destacam-se:

- distorção não linear;
- grande atenuação do espaço livre;
- grande atraso na propagação;
- atenuação por chuvas;
- atenuação por distúrbios solares;
- interferências de outros sistemas.

Diversas empresas são provedoras de serviços Inmarsat (no Brasil são Embratel, Telenor e Radiomar) e outras tantas produzem equipamentos para a comunicação do usuário ao sistema, como Nera e Geolink.

A Eletronorte utiliza os serviços “Mini-M”, através da provedora Embratel e equipamentos de fabricação Nera e Geolink.

Por operar em órbita geoestacionária, o sistema Inmarsat é bastante afetado pelo tempo de propagação do sinal (o tempo de subida e descida é da ordem de 240 ms) e necessita de equipamentos mais potentes por parte dos usuários.

A seguir, são apresentadas algumas características de equipamentos, de fabricação Nera, utilizados pela Eletronorte:

- modelo: Nera WorldPhone;
- dimensões (antena + rádio): 260x260x57 mm;
- peso: 2,5 kg;
- dimensões antena veicular: 140x257 mm (HxD);
- peso antena veicular: 3,0 kg;
- funções: voz, dados e fax;
- taxa de transmissão de dados: 1,2 a 38,4 kbps (típico 2,4 kbps);
- frequência de transmissão: 1626,5 a 1660,5 MHz;
- frequência de recepção: 1525 a 1559 MHz;
- baterias: células de NiMh, com duração de 50 h em stand-by e 3,5 h em conversação;
- EIRP: + 17 dBW e G/T: -17 dBK;
- ganho da antena: 13 dB (TX) e 12,5 dB (RX).

3.2. Sistema Satélite operando em órbita baixa

Os sistemas, ou constelações, de satélites operando em baixa órbita (LEO, em inglês), em uma faixa compreendida entre 644 e 2.575 km de altitude, com velocidade angular superiores às da terra, ou seja, eles não são estacionários em relação ao planeta.

Em nosso caso, a constelação de interesse é formada pelo consórcio Globalstar (formado por operadoras e fabricantes de equipamentos de telecomunicações), constituído de 48 satélites, sendo 4 reserva, operando a 1.414 km de altitude, colocados em oito planos orbitais com seis satélites cada, inclinados em 52°, e provem serviços entre 70° Norte e 70° Sul, com diversas estações terrestres espalhadas pelo mundo, três delas no Brasil (Manaus, Petrolina e Presidente Prudente), cobrindo aproximadamente 65 % do globo terrestre.

Algumas das características do sistema Globalstar, estão apresentadas a seguir:

- três satélites são visíveis ao aparelho do usuário;
- opera nas bandas L (usuário/satélite) e S (satélite/usuário);

- utiliza modulação CDMA;
- transmite voz e dados.

Os satélites LEO também são afetados pelas mesmas perturbações que atingem os satélites GEO, com menor atraso de propagação (o tempo de subida e descida é da ordem de 9,5 ms), resultando em equipamentos de usuários menos potentes.

As principais características destes equipamentos, de fabricação Qualcomm, utilizados pela Eletronorte, são:

- modelo: GPS 1600
- peso: 0,37 kg
- dimensões (antena fechada): 177x57x48 mm
- dimensões antena veicular: 200x150 mm (HxD);
- peso antena veicular: 1,2 kg;
- funções: voz, dados e fax;
- taxa de transmissão de dados: 9,6 kbps
- frequência de transmissão: 1610 a 1625,5 MHz
- frequência de recepção: 2483,5 a 2500 MHz
- potência máxima de transmissão: 700 mW;
- baterias: íons de Lítio com duração de 9 h em stand-by e 3,5 h de conversação.

4.0. ANÁLISE COMPARATIVA DOS SISTEMAS

4.1. Análise comparativa

Ao compararmos os sistemas rádio e satélite, mencionados anteriormente, chegamos às seguintes conclusões:

- a) os custos com a aquisição dos equipamentos rádio ou satélite, são equivalentes;
- b) o custo para instalação de sistema rádio é muito superior à instalação de um sistema satélite, para cobrir a mesma área, devido a necessidade de estações repetidoras que, em muitos casos, pode tornar a implantação quase inviável;
- c) os sistemas rádio estão mais sujeitos às áreas de sombra do que os sistemas satélites;
- d) os sistemas satélites, por serem serviços prestados por operadoras, notadamente no caso do sistema Globalstar, estão sujeitos às leis de mercado, podendo vir a cancelar suas operações, vide sistema Iridium;
- e) os sistemas satélites, pelo motivo mercadológico, pressupõe pagamento contínuo dos serviços, em alguns casos o aluguel dos equipamentos, podendo levar, ao longo do tempo, a um custo elevado;
- f) para cobertura de longas distâncias, com poucas estações repetidoras, o sistema rádio HF é mais viável que sistema VHF equivalente;
- g) face às dimensões dos equipamentos a nível de usuário, o sistema Globalstar é superior em mobilidade e operacionalidade aos equipamentos utilizados pelo sistema Inmarsat;

- h) os custos por minuto adicional utilizado do sistema Globalstar, correspondem à metade do valor cobrado pelo sistema Inmarsat;
- i) o valor da mensalidade cobrada pelo sistema Inmarsat, corresponde à um terço do valor cobrado pelo sistema Globalstar; este por sua vez dá direito ao uso de determinados minutos ao mês, enquanto àquele não oferece tal facilidade;
- j) o sistema Globalstar, por ser um sistema puramente comercial, é mais suscetível a problemas advindos do negócio, em relação ao sistema Inmarsat, cuja principal função é prover os serviços a nível estratégico;

4.2. A experiência da Eletronorte

Atualmente, a Eletronorte conta com um elevado número de equipamentos rádio VHF, operando principalmente em áreas próximas às subestações, salvo em alguns casos, nos quais as condições topográficas e técnicas permitem uma boa área de cobertura, como é o caso do sistema Amapá.

Quanto aos equipamentos rádio HF, a empresa possui um reduzido número de equipamentos, utilizados principalmente para apoio às equipes de construção de linhas, como complemento aos sistemas que operam via satélite.

Dos sistemas satélites mencionados ao longo do artigo, a Eletronorte possui 50 equipamentos do sistema Inmarsat, que entraram em operação entre 1997 e 1999, e 20 do sistema Globalstar, que entraram em operação no final do ano 2000.

Dentre os problemas verificados com os equipamentos do sistema Inmarsat, de fabricação Nera e Geolink, destacam-se:

- o peso dos equipamentos, 2,5 kg, dificulta sua utilização pelas equipes, principalmente quando as mesmas deslocam-se a pé;
- a utilização de cartões de segurança provocou, por falta de hábito do usuário, diversos casos de bloqueio do equipamento, inconveniente solucionado quando os equipamentos foram convertidos para “híbridos”; entretanto, os equipamentos fabricados pela Geolink, este inconveniente persiste;
- foram detectados diversos problemas com as baterias, que não apresentavam a performance indicada pelo fabricante; em função do elevado número de usuários e, de certa forma, falha gerencial do fornecedor, vários equipamentos ficaram parados por falta de baterias;
- alguns usuários reclamam do tamanho das antenas veiculares.

O pouco tempo de utilização do sistema Globalstar, ainda não permite um levantamento dos possíveis problemas que, com certeza, também serão verificados.

4.3. Um estudo de caso

Nosso estudo de caso, consiste em comparar os custos necessários, para prover comunicação ao longo de aproximadamente 1.200 km de linhas de transmissão, abrangendo os estados do Pará e Maranhão, utilizando cada um dos sistemas apresentados.

Serão adotadas as seguintes premissas: aquisição de vinte equipamentos de telecomunicações veiculares; haverá apenas tráfego de voz com oitenta minutos de conversação/mês; utilização da infra-estrutura existente nas subestações; aluguel de infra-estrutura de telecomunicações; custos ao longo de dois anos.

O comparativo de custos é apresentado nos itens a seguir:

- a) sistema rádio em HF
 - dez estações fixas, incluindo equipamentos rádio e sistema irradiante (R\$ 7.000,00/estação), localizadas nas subestações;
 - duas estações repetidoras, incluindo equipamentos rádio, sistema irradiante, sistema de alimentação (R\$ 10.000,00/estação);
 - aluguel de infra-estrutura de estação (R\$ 1.500,00/estação/mês);
 - vinte estações móveis, incluindo equipamentos e sistema irradiante (R\$ 3.500,00/estação);
 - custos ao longo de dois anos: R\$ 232.000,00.
- b) sistema rádio VHF
 - dez estações fixas, incluindo equipamentos rádio e sistema irradiante (R\$ 7.000,00/estação), localizadas nas subestações;
 - oito estações repetidoras, incluindo equipamentos rádio, sistema irradiante, sistema de alimentação (R\$ 10.000,00/estação);
 - aluguel de infra-estrutura de estação (R\$ 1.500,00/estação/mês);
 - vinte estações móveis, incluindo equipamentos e sistema irradiante (R\$ 2.500,00/estação);
 - custos ao longo de dois anos: R\$ 488.000,00.
- c) sistema satélite Inmarsat
 - vinte estações móveis, incluindo equipamentos (R\$ 7.000/estação);
 - mensalidade (R\$ 36,33/estação);
 - consumo de oitenta minutos/mês/estação, considerando chamadas móvel/terra (R\$4,38/minuto);
 - custos ao longo de dois anos: R\$ 325.630,40.

- d) sistema satélite Globalstar
- vinte estações móveis, incluindo equipamentos (R\$ 1.990,00/estação);
 - mensalidade (R\$ 238,66/estação);
 - consumo de oitenta minutos/mês considerando chamadas móvel/terra (incluso na mensalidade);
 - custos ao longo de dois anos: R\$ 154.356,80.

Pode-se observar que os sistemas satélites levam vantagem sobre os sistemas rádio principalmente se levarmos em consideração a possibilidade de locação dos equipamentos, com a redução dos custos de manutenção. Recentemente a Eletronorte firmou contrato com o consórcio Globalstar, com locação de equipamentos, cujo valor ao longo de dois anos ficou em R\$ 120.544,80, com reajuste de valores a partir do 13º mês. Apesar de ainda não tentado, a locação de equipamentos também pode ser realizada junto ao consórcio Inmarsat.

5.0. CONCLUSÃO

Os sistemas rádio e satélites são complementares e a definição do sistema a ser implantado, dependerá da região a ser atendida, de uma análise técnica e principalmente econômica.

Atualmente, é mais factível, destinar os equipamentos rádio VHF para utilização nas subestações e usinas, e áreas circunvizinhas, dotando-os de meios que permitam sua operação troncalizada com a rede telefônica fixa do local.

Quanto aos equipamentos rádio HF, pelo alcance dos mesmos sem repetidoras, podem ser utilizados como “reserva estratégica” ao sistema de telecomunicações.

É inegável que os sistemas via satélite, constituem-se na alternativa mais viável, técnica e economicamente, para proporcionar cobertura ao longo das linhas de transmissão da Eletronorte. A escolha, se sistemas de alta órbita (como Inmarsat) ou baixa órbita (como Globalstar), dependerão mais de questões econômicas do que técnicas, especialmente quando o atraso na propagação não for fator relevante, levando-se também em consideração o desenvolvimento de equipamentos que permitam maior mobilidade operacional ao usuário e às condições mercadológicas como a locação dos equipamentos.

6.0. BIBLIOGRAFIA

- (1) INMARSAT. Informativo técnico, 2001.
- (2) GLOBALSTAR. Informativo técnico, 2001.
- (3) QUALCOMM. Informativo técnico, 2001.
- (4) EMBRATEL. Informativo técnico, 2001.

- (5) CARVALHO, Paulo , Comunicações via Satélite, UnB, 1998.
- (6) NETO, Vicente, PETRUCCI, Lucílio, TEIXEIRA, Paulo, Sistemas de Propagação e Rádio Enlace, Ed. Érica, 1999.
- (7) ELETRONORTE, Contratos de prestação de serviços via satélite, 1997/2000.
- (8) ELETRONORTE, Projeto SIT, 1986.
- (9) YAESU. Manual de equipamentos, 1999.
- (10) MOTOROLA. Manual de equipamentos, 2000.

7.0. DADOS BIOGRÁFICOS

Dilermando Lacerda, formado em Técnico em Eletrônica e Telecomunicações, pelo FEDF em 1975, em Brasília, trabalha desde 1982 na Eletronorte.

Nagib Pardaul, formado em Engenharia Elétrica, pela UFPA em 1986, em Belém, trabalha desde 1987 na Eletronorte.