



GRUPO V

GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E COMUNICAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA (GPC)

EXPERIÊNCIAS NA INSTALAÇÃO DE REDE SÍNCRONA DE COMUNICAÇÃO DE ALTO DESEMPENHO ENTRE SUBESTAÇÕES

Jayme Evaristo da Silva Filho
Karla Lucia de Almeida Queiroz
Evandro Cavalcanti

GENERAL ELECTRIC DO BRASIL S/A

RESUMO

A necessidade de comunicação digital entre SE's para um projeto de interligação com a Venezuela, mas especificamente entre as SE's de Boa Vista, Centro, Floresta e Telaima na região Norte do Brasil e Santa Elena na Venezuela, levou a Eletronorte a especificar a adoção de um sistema de multiplexação óptica que dispusesse de todos os requisitos de confiabilidade e desempenho necessários a garantir o tráfego de sinais dentro de padrões e margens adequadas de perdas e dispersão para distâncias de até 200 Km, considerando os canais de teleproteção, dados, voz, etc. num mesmo protocolo de multiplexação óptica, formação de rede e ampliações futuras em diferentes formas.

1 - INTRODUÇÃO

A especificação baseou-se inicialmente em equipamentos existentes no mercado até então, o que definia requisitos mínimos, porém limitados à tecnologia comercialmente disponível. Assim, alguns parâmetros e configurações mínimos foram estabelecidos para o fornecimento, como:

- Taxa de multiplexação óptica final de 155Mbit/s no padrão síncrono SDH (Synchronous Digital Hierarchy);
- Fornecedor de amplificadores e pré-amplificadores para fibra monomodo com ganho suficiente para cobrir a distância necessária sem o uso de estações repetidoras.
- Formação de sub-taxas hierárquicas de multiplexação PDH em MCP 30 (Multiplexação por Código de Pulsos em feixes de 30 canais a 2048 Mbit/s do tipo "PDH" para adição e retirada (ADM) de canais básicos.
- Utilização de equipamentos dedicados à teleproteção operando em tom de áudio ou a 64kbit/s ligados ao multiplexador de primeira hierarquia.
- Fornecedor de plataforma PC e conjunto de vários "softwares" com diferentes aplicações para proporcionar alguma forma de monitoração e gerenciamento separado de rede a nível STM-1.
- Fornecedor de proteções de surtos e interferências para garantir a compatibilidade eletromagnética dos

equipamentos acima, cuja origem, normalmente, é do mercado de telefonia.

A GE foi definida como fornecedora do equipamento de multiplexação e respectivo projeto de implantação do mesmo (com projeto de painéis e quadros de distribuição, treinamento, testes, instalação integração e gerenciamento, etc.). Após esta definição, passou-se à fase de análise do fornecimento e projeto, onde foram propostas e implementadas algumas melhorias.

Especial ênfase foi dada à parte de teleproteção em relação à confiabilidade na transmissão e recepção dos sinais e tempos de comutação dos mesmos, ainda que em caso de operação com degradação de uma das rotas do canal ótico.

2 - CONCEPÇÃO DO PROJETO DE TELEPROTEÇÃO

Em um sistema convencional são utilizados equipamentos de teleproteção de 64 kbit/s ou tom de áudio interagindo com os relés, ligados a uma interface digital 64 kbit/s ou analógica a 4 fios.

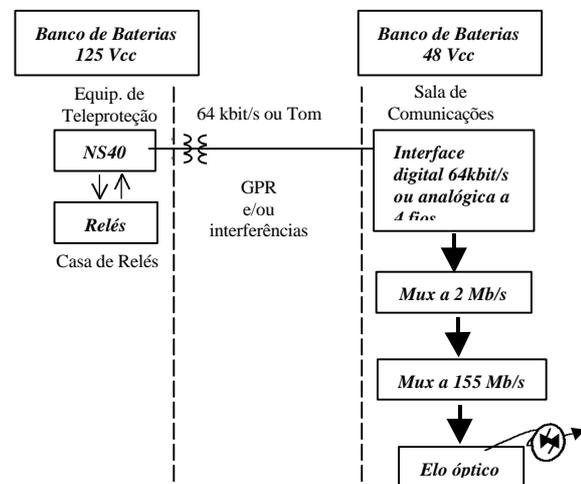


FIGURA 1 - SOLUÇÃO CONVENCIONAL

São formadas sub-taxas de multiplexação a 2 Mbit/s (hierarquia PDH) e depois taxas a 155 Mbit/s até o elo óptico final. Todas as interfaces anteriores ao elo óptico são elétricas (vide figura 1).

No projeto de Boa Vista foi utilizado o sistema FSC STM-1 em tributário VC-11 da UTI, desenvolvido especialmente para ambientes de energia elétrica [1], com taxa de transmissão de 155 Mbit/s, na janela de 1550 nm, transmissor laser, interagindo diretamente com relés de proteção (vide figura 2).

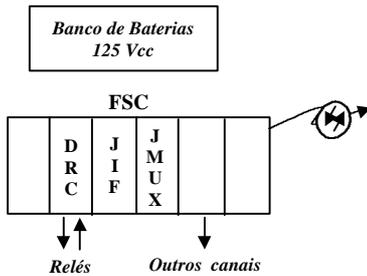


FIGURA 2 - SOLUÇÃO ADOTADA NO PROJETO BOA VISTA E OUTROS

O equipamento FSC pode ser gerenciado remotamente através de software, que possibilita monitoração de múltiplas redes. Este gerenciamento compreende tanto a visualização do sistema como também a sua configuração remota. Além disto, um programa de gerenciamento mais complexo permite a programação e supervisão remotas a nível de "equipamento comum" e canais básicos de todos os nós FSC da rede.

Cada equipamento possui integrado o multiplexador de canais básicos e está equipado com módulos de forma a atender a especificação de canais básicos.

Os canais básicos, que ora chamaremos de DSO ("Digital Signal" - nível 0), são, por exemplo, canais de voz com taxa de amostragem de 8 kHz ou canais já digitalizados modulados em códigos de pulsos na taxa de 64 Kbits/s. A multiplexação de $n = 30$ canais, por exemplo, em uma estrutura de 125 μ s, produz uma Modulação em Código de Pulso (MCP) de 2048 kbits/s. Destes 2048 bits, 1920 representam as informações dos canais propriamente ditos e 128 bits são utilizados para sinalização e sincronização.

Tal estrutura é denominada pelas normas Telebrás por "MCP 30". As normas UTI chamam-na de "CEPT-1" e as normas ATT/Bellcore, de E1 [2].

3 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA ÓTICO

O sistema está configurado de forma a operar como anel na configuração 1 + 1 protegido, isto é, no caso de falha de um dos caminhos ópticos, o sistema comutará para operar como linear, sem perda da comunicação entre as estações.

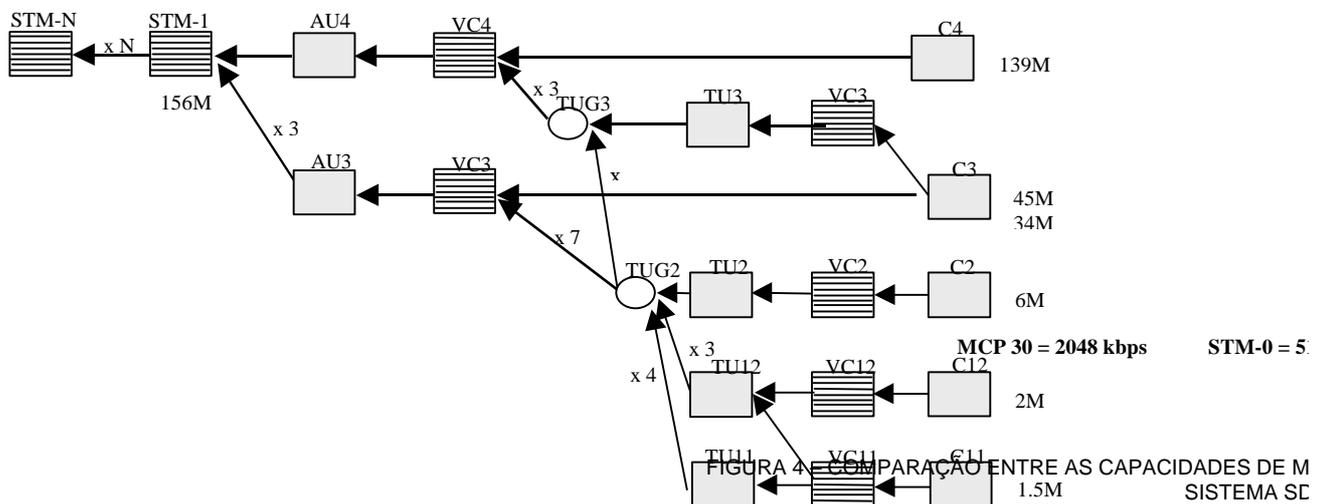


FIGURA 3 – ESTRUTURAÇÃO DE MULTIPLEXAÇÃO SÍNCRONA CONFORME UTI

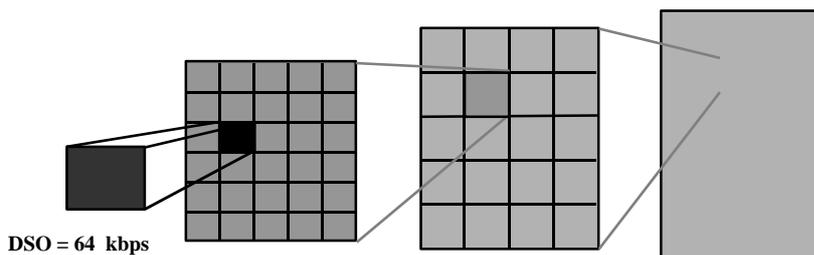


FIGURA 4 - COMPARAÇÃO ENTRE AS CAPACIDADES DE M SISTEMA SC

4 - CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA

O sistema óptico está previsto para operar entre as SE's Boa Vista, Floresta, Centro e Telaima como um sistema em anel isolado, e será integrado com o sistema Boa Vista Santa Elena formando um único anel, conforme pode ser visto na figura 4.

STM-1 = n x 51,84 Mpps

ou seja Direct Transfer Trip (DTT) e outros esquemas de teleproteção (ex.: POTT, PUTT, Híbrido, Bloqueio, por comparação direcional, etc.)

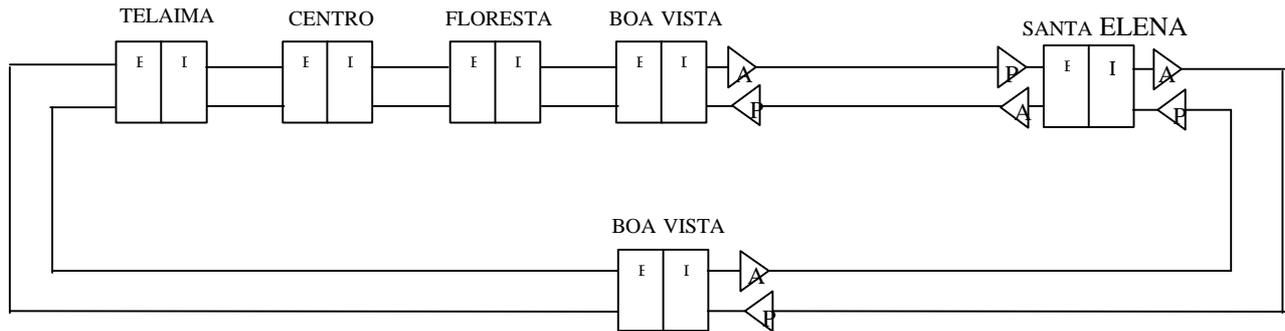


FIGURA 4 - CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA

5 - CANALIZAÇÃO DO SISTEMA

A canalização do sistema é determinada como sendo formado por grupos de canais operando como ponta-a-ponta entre as estações.

6 - TELEPROTEÇÃO

6.1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS

O equipamento GE-FSC, além de ser um equipamento de comunicação por fibras ópticas, foi projetado para ser utilizado em subestações, por isso além das funções de comunicação de voz e dados também possui módulos de teleproteção para operar em conjunto com relés de "ultra-alta-velocidade".

Os módulos DRC (Digital Relaying Channel) proporcionam interfaces individuais isoladas opticamente para quatro circuitos independentes que serão enviados por um dos canais do sistema FSC. O tempo de resposta é tipicamente de 2 milissegundos. As unidades DRC utilizam o esquema de multiplicação digital para transmitir os dados de disparo (ou bloqueio). Isto permite que os quatro circuitos sejam completamente independentes e do tipo simples ou duplo. Os quatro circuitos operam simultaneamente sem afetar a confiabilidade dos outros circuitos. A grande confiabilidade dos módulos DRC é obtida através da capacidade de auto-teste e do casamento de endereço fonte-destino do circuito. Um código duplo de detecção de erros CRC-16 assegura a imunidade a falsos disparos.

6.2 - MÓDULO DRC XMTR

O módulo DRC XMTR (Digital Relaying Channel Transmitter), transmissor de canal de teleproteção digital, proporciona a transmissão de até quatro comandos independentes com a função básica de transferência de disparo,

Todas as entradas de comando são dotadas de foto-acopladores que permitem diversas tensões de alimentação do comando a ser transmitido. Opcionalmente com um conjunto de foto-acopladores redundantes para serem colocados em série com os foto-acopladores de comando principal para aumentar a confiabilidade da transmissão.

Quatro alarmes de Comando do tipo "has-tripped" são possíveis como uma opção de fábrica e um relé auxiliar de alarme com contatos completos está presente no módulo para uma indicação externa de estado, que também pode ser monitorado pelo software gerenciador de rede.

A unidade pode ser configurada para diversos tempos de imunidade de Comando e diversos tempos mínimos de Comando;

A unidade DRC XMTR codifica 4 comandos provenientes de contatos com tensão da bateria da estação, sendo todos isolados por foto-acopladores e ocupa um canal de 64 kbit/s. A codificação do sinal é feita no microprocessador do módulo conforme o formato BC96. O sinal assim codificado é transmitido. O formato de código BC96 é uma seqüência de 96 bits contíguos que forma um quadro, que pode ser interrompido se for quadro vago para acelerar a transmissão de um quadro de maior prioridade que possui um novo comando. O quadro de 96 bits é dividido em 4 grupos com os seguintes significados:

16 bit Header:

Cabeçalho, cada quadro começa com '0000111111110000'. Este padrão é único e pode ser imediatamente reconhecido pelo receptor, desta forma evita que várias seqüências de bits sejam testadas para identificar um quadro.

24 Bit Address:

Os próximos 24 bits é uma seqüência formada pelos 12 bits dos 4 dígitos do endereço BC96 programado no módulo, intercalados pelos seus complementos, na forma Bit Complemento Bit Complemento e assim por diante, até complementar os 24 bits. Isto assegura que o padrão será diferente do cabeçalho, que haverá uma densidade máxima de

50% de bits 1 e que o endereço será enviado duas vezes para melhorar a confiabilidade.

24 Bits Information:

Os próximos bits são referentes as 4 entradas de comando, seguidos por 8 bits que indicam o modo de teste de cada um dos canais de comando e finalizado por 4 bits de reserva com uma seqüência fixa, 0110.

32 Bits Checksum:

Os últimos 32 bits formam uma seqüência de detecção de erro do tipo CRC-16 dos 24 bits de informação precedentes intercalados por seus complementos da mesma forma que os bits de endereço. CRC-16 significa código de redundância cíclica de 16 bit comumente para detecção de erros

6.3 - MÓDULO DRC RCVR

O módulo DRC RCVR (Digital Relaying Channel Receiver), proporciona o lado de recepção de até 4 comando independentes de Transfer Trip.

Cada uma das 4 saídas consiste de comando e alarme. As saídas de comando possuem dois transistores cada para aumentar a confiabilidade.

O circuito de alarme monitora os transmissores de cada saída através da circulação de uma pequena corrente (1mA). Existem relés auxiliares de alarme no módulo para uma indicação externa de estado, que também pode ser monitorado pelo programa de manutenção e pelo software gerenciador de rede.

A unidade pode ser configurada para diversos valores de tempo de extensão de comando ou tempo de comando mínimo de acordo com a aplicação.

Um painel de testes opcional permite testar de forma segura cada um dos circuitos de comando;

A unidade DRC RCVR decodifica os dados que entraram no DRC XMTR remoto associado e produz 4 saídas de comando independentes. Cada saída é dotada de dois MOSFET de potência protegidos e monitorados por foto-acopladores. Cada saída de comando possui também um contato auxiliar para ser usado como alarme de atuação do comando principal.

6.4 - CONSIDERAÇÕES SOBRE SEGURANÇA E CONFIABILIDADE

As unidades DRC XMTR e DRC RCVR foram projetadas de forma que uma falha em algum componente não cause um falso comando. No módulo DRC XMTR são usados 3 foto-acopladores para cada entrada de comando e o auto-teste impede que na falha de qualquer um deles ocorra um falso comando. No módulo DRC RCVR um circuito monitor supervisiona continuamente as saídas de comando e gera um alarme no caso abertura de qualquer circuito de saída. O formato do código BC96 e o processamento do sinal recebido asseguram uma imunidade a falsos comandos devido aos seguintes tipos de falhas no sinal digital:

- Erro aleatório contínuo para qualquer BER;
- Surto de erro aleatório para qualquer BER;
- Inversão do padrão dos bits (inversão de polaridade);
- Interrupção de dados;
- Sobreposição de canal digital (associação acidental de um receptor ao canal de outro transmissor).

Para o receptor gerar um falso comando, o sinal recebido deve estar errado de tal forma que os erros coincidam exatamente com o padrão do sinal de comando dentro do código BC96. Sem considerar o código de detecção de erro CRC16, pode-se tentar calcular a probabilidade de ocorrer um falso comando para um BER contínuo de 0,1 no pior caso, que será de 1×10^{-16} , ou seja uma vez em 300000 anos (vide figura 6).

Para evitar defeitos nos foto-acopladores que só seriam detectados no instante do envio de um comando, o auto-teste força alternadamente em cada um dos três foto-acopladores um sinal de um comando, este sinal propaga-se até o receptor que detecta e monitora todos os circuitos de transmissão e recepção gerando alarmes quando for o caso. No receptor mais de um alarme de circuito pode ser gerado pela interrupção da circulação de corrente pelos transistores de saída monitorando assim o estado da circuitaria do painel de comando. O receptor só irá produzir um comando se e somente se receber um quadro de 96 bits totalmente correto. Quando é recebido um sinal corrompido com um BER-k, a probabilidade de todos 96 bits estarem corretos é de $P=(1-k)$. Caso ocorra um erro no sinal recebido, o comando pode ser gerado com um atraso. A probabilidade de ser gerado um comando com atraso para diferentes valores de BER é mostrado na tabela a seguir:

Quadros	K=1E-6	K=1E-3	K=1E-2	K=0,05	K=0,01
Sem atraso	0,99990	0,91	0,38	0,0070	0,00004
1 (2ms)	0,999999	0,992	0,62	0,014	0,00008
3 (7ms)		0,9999	0,85	0,028	0,0002
7 (14ms)			0,98	0,06	0,0004

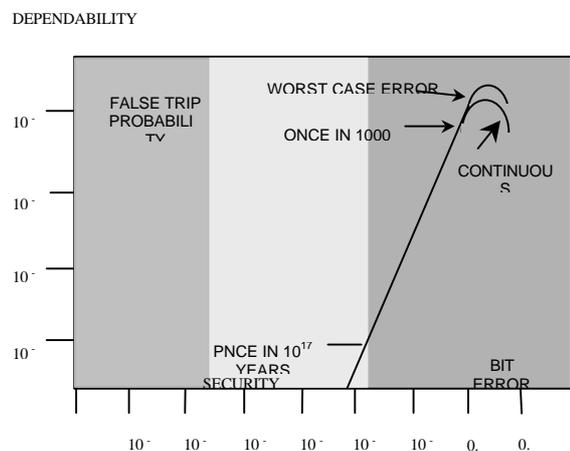
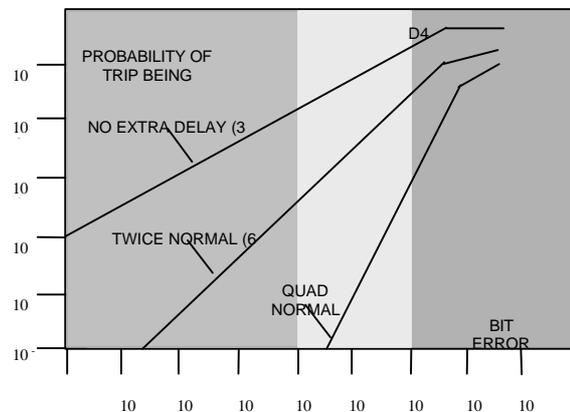


FIGURA 6 – CURVAS DE CONFIABILIDADE DA PROTEÇÃO NO SISTEMA FSC

6.5 – CHAVEAMENTO AUTOMÁTICO

O tempos para chaveamento de circuito (em caso de falha no circuito principal) especificados pelo padrão Síncrono Digital são de aproximadamente 50 ms. O FSC-GE é capaz de reposicionar automaticamente e em menos de 3 ms, aumentando assim a confiabilidade do sistema.

7 – RELÉ DE PROTEÇÃO DE LINHA DE TRANSMISSÃO DE ULTRA ALTA VELOCIDADE

O relé ALPS-GE (Advanced Line Protection System) é um sistema digital microprocessado {numérico} que utiliza amostragem de formas de onda e algoritmos apropriados para esquemas de disparo mono ou tripolar para proteção de linhas de transmissão, localização de falta, entre outros. O ALPS inclui todos os esquemas de teleproteção que podem ser selecionados conforme o projeto; ou ainda, no caso do projeto Boa Vista, pode-se parametrizar uma lógica especialmente criada pelo usuário através de “software” de configuração chamado “Xpression Builder”.

A taxa de amostragem do ALPS para as entradas de tensão e corrente é de 64 amostras por ciclo. Os algoritmos de proteção processam os dados amostrados em pacotes de 4 e 16 vezes por ciclo através de manipulação matemática.

O ALPS utiliza técnicas avançadas de cálculo de Fasores por Transformada Adaptativa de Fourier e unidades de medida também adaptativas para alcançar alta velocidade na eliminação de faltas [3].

8 – CÁLCULO DE MARGENS

O objetivo do dimensionamento é determinar o “range” dinâmico do Sistema Óptico, isto é, a diferença mínima que deverá ser exigida entre a potência óptica de transmissão e a sensibilidade do fotodetector para uma TEB $\leq 10 \times 10$ e a máxima dispersão cromática permitida para o equipamento.

O comprimento da via óptica (D) deverá ser determinado somando-se o comprimento total do cabo OPGW (196 Km) fornecido pelo fabricante em 52 bobinas de diferentes comprimentos, que vão desde 2,2 km até 4,7 km cada, multiplicados por determinados fatores (1,05 x comprimento da LT) e somados aos

comprimentos dos cabos dielétricos ópticos das subestações (300 metros por subestação).

Todos os links ópticos foram calculados assumindo-se os seguintes parâmetros:

Po = Potência óptica de transmissão

Pr = Sensibilidade do fotodetector

D = Distância total do cabo (conforme cálculos em planilha [4] utilizando a fórmula abaixo) x 1,05

Lf = Atenuação da fibra óptica em dB/Km (conforme dados informados pelo fabricante e calculados em planilha para os diferentes trechos de cada uma das 52 bobinas);

Le = Atenuação da emenda em dB/emenda (conforme informado pelo fabricante);

De = Comprimento de cada bobina (Distância entre cada par de emendas) em Km (conforme dados informados pelo fabricante para cada bobina);

Mc - Margem de temperatura = 2dB

Lt - Atenuação em relação a 1550nm = 0,01 db/Km

Nc - Número de conectores = 2 conectores/link

Lc - Atenuação por conector = 0,5 dB/conector

Me - Margem do sistema = 2 dB

Dd - Penalidade por dispersão = 0,5 dB

Definimos como a perda total no enlace calculada para o total das 52 bobinas:

$$Pa = \sum (De \times 1,05 \times Lf)$$

A diferença entre a potência óptica de transmissão e a potência óptica de recepção é dada pela expressão:

$$(Po - Pr) = Pa + (Le \times 52) + Lt \times D + Mc + NcLc + Me + Dd$$

temos:

$$Pa = 40,9 \text{ dB [4]}$$

$$(Po - Pr) = 40,9 + 0,07 \times 52 + 0,01 \times 205,8 + 2\text{dB} + 1\text{dB} + 2\text{dB} + 0,5\text{dB}$$

$$(Po - Pr) = 52,1 \text{ dB}$$

O Sistema FSC a 155Mbps possui as seguintes características a 1550nm:

Po1; Tx óptico; 0dBm

Pr1; Sensibilidade recepção óptica -33dBm

Com amplificadores e pré-amplificadores a potência de transmissão e sensibilidade de recepção podem ser:

Po; Amplificador Tx +17dBm

Pr; Pre-amplificador sensibilidade Rx -46dBm

(Po - Pr) Ganho do Sistema: 63dB

9 – CONCLUSÕES

O Projeto de Telecomunicação apresentado para o Sistema Boa Vista revelou-se viável já na fase de concepção, tendo transcorrido normalmente durante a fase de aprovação, fabricação e entrega nas Subestações. Esta viabilidade foi confirmada posteriormente na fase de comissionamento das Subestações, incluindo o teste integrado de proteção, teleproteção, comunicação de dados e voz e supervisão e gerenciamento remotos pelo EETC (Escritório da ELETRONORTE em Brasília).

10 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] – Estabelecimento de um novo padrão de redes ópticas síncronas (Jayme E. da Silva Filho - GE);

[2] – Electronic Measuring Instruments (Anritsu, 1999) – Capítulo 9, pág. 321;

[3] – Advancements in Adaptive Algorithms for Secure High Speed Distance Protection (M.G. Adamiak; G.E. Alexander; Dr. W. Premerlani - GE);

[4] – Detalhamento Funcional e Implementação Eletronorte – Sistema de Telecomunicações SE Boa Vista / SE Sta. Elena (25B024017A - GE);