



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GTL/14

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO – XV**

**GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS  
ELÉTRICOS - GTL**

**REDUNDÂNCIA DE REDE ETHERNET PARA A SOLUÇÃO DE COMUNICAÇÕES, PROTEÇÃO E CONTROLE  
DO BIPOLO1, DA LT XINGÚ ESTREITO +/- 800 KV HVDC**

**COSME RODOLFO R. DOS SANTOS  
SIEMENS**

**LUIZ FERNANDO G. VIANNA  
BMTE**

**ALESSANDRO BONEQUINI  
SIEMENS**

**RESUMO**

A Rede Ethernet de Comunicações, Proteção e Controle (P&C) do Bipolo HVDC 1, do Sistema de Transmissão da energia da Usina de Belo Monte, possui requisitos de confiabilidade e latência peculiares, necessitando assim que soluções inovadoras fossem adotadas. A distância entre as Estações Conversoras, a necessidade de amplificação do sinal óptico para fins de transmissão e a garantia da confiabilidade e disponibilidade dos serviços previstos, foram os maiores desafios considerados no momento da definição da solução de Telecomunicações.

Este trabalho tem por finalidade apresentar a solução técnica adotada para garantir a confiabilidade e alta-disponibilidade dos serviços que irão trafegar no link de Telecomunicações do Bipolo HVDC 1.

**PALAVRAS-CHAVE**

Redundância, Alta-disponibilidade, Rede Ethernet, HVDC, Confiabilidade

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Em Dezembro de 2013, a Aneel lançou o Leilão 011/2013 para a licitação de concessão do sistema de transmissão em corrente contínua de +/- 800 kV para reforço à interligação Norte-Sudeste, associado ao escoamento de energia da UHE Belo Monte, composto por Estações Conversoras 500 kVca/+800 kVcc, nas subestações de Xingu (PA) e Estreito (MG) e linha de transmissão em corrente contínua de +/- 800kV (1).

O sistema em questão, denominado Bipolo 1, foi adjudicado à Belo Monte Transmissora de Energia SPE SA (BMTE), constituída pelas empresas FURNAS, ELETRONORTE E STATE GRID.

As estações Conversoras, estariam separadas por aproximadamente 2.100 km de distância, deveriam ser interligadas, por um sistema de telecomunicações, via cabo óptico OPGW, instalado na linha de transmissão, para garantir a proteção e controle do Bipolo. Para isso, a solução de Telecomunicações deveria oferecer uma alta disponibilidade da Rede Ethernet, como também uma baixa latência no tráfego de tais serviços.

No intuito de garantir uma alta disponibilidade e confiabilidade, foram previstas seis (06) Estações Repetidoras Ópticas, sistemas redundantes para todos os equipamentos de transmissão do "back bone" de telecomunicações, incluindo a separação física dos principais sistemas e equipamentos. Esta separação física visa preparar as infraestruturas das localidades contra avarias severas nas edificações envolvidas que possam afetar a disponibilidade dos sistemas de Telecomunicações.

Em paralelo às soluções civis e de redundância criadas, sistemas de monitoramento e comando remoto das

localidades foram previstos. Este Sistema de Telessupervisão ofereceria um suporte importante às equipes de operação e manutenção, tendo em vista que algumas localidades estarão localizadas em regiões remotas e de difícil acesso ao longo da linha.

## 2.0 - REQUISITOS DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO

O detalhamento da solução de transmissão de Telecomunicações foi definido através de uma parceria entre o cliente (BMTE) e a Siemens Brasil e Alemanha. A Tabela 1 abaixo mostra em linhas gerais os principais requisitos a serem atendidos:

TABELA 1 – Escopo de fornecimento do Projeto

Sistema	Principais Requisitos
Sistema de Transmissão Óptica (Sistema SDH/PDH + Amplificação Óptica)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidade Mínima de STM-4;</li> <li>- Estações Repetidoras para reforçar o sinal óptico;</li> <li>- Para as Redes Ethernet de P&amp;C do Bipolo, a confiabilidade deve ser superior a 99,91 %;</li> <li>- Taxa de Erro de Bit (BER) inferior a <math>10^{-12}</math>;</li> <li>- Latência total inferior a 20ms</li> <li>- Redes Redundantes para cada aplicação de comunicações e P&amp;C, denominadas PATH 1 e PATH 2, com separação física nas localidades entre os painéis de cada PATH;</li> <li>- Sem roteamento Layer 3 para as Rede de P&amp;C, impedindo assim um acréscimo na Latência devido o tempo de processamento desta camada.</li> </ul>
Sistemas de Energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grupos Motor-Gerador redundantes;</li> <li>- Retificadores e sistema de Baterias Redundantes;</li> <li>- Autonomia do Conjunto de Baterias de 12 horas;</li> <li>- Autonomia dos GMGs por estação superior a 300 horas;</li> <li>- Alocação dos sistemas redundantes em salas separadas;</li> <li>- Visualização dos Controladores do sistema via WebBrowser.</li> </ul>
Sistema de Sincronismo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dois sincronizadores para os links SDH/PDH;</li> <li>- Alocação de cada sincronizador em uma das Estações Conversoras,</li> <li>- Cada sincronizador será responsável pelos equipamentos de um PATH;</li> <li>- Em caso de falha de um sincronizador, o outro deve assumir o sincronismo dos equipamentos do outro PATH.</li> </ul>
Telessupervisão das Localidades	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monitoramento de pontos de infraestrutura de todas localidades;</li> <li>- Monitoramento e comando remoto dos GMGs;</li> <li>- Monitoramento do Sistema de Energia;</li> <li>- Integração à Gerência da Amplificação óptica.</li> </ul>
Gerência da Amplificação Óptica e Telessupervisão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gerenciamento Central de todos os equipamentos de Amplificação óptica;</li> <li>- Possibilidade de futura integração com o SCADA de P&amp;C do Bipolo, para monitoramento dos pontos da Telessupervisão (via SNMP);</li> <li>- Redundância de Hardware.</li> </ul>
Gerência dos Equipamentos de SDH/PDH	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gerenciamento Central de todos os equipamentos SDH/PDH;</li> <li>- Redundância de Hardware.</li> </ul>

## 3.0 - LAYOUT DAS LOCALIDADES

Conforme mencionado na introdução, foi solicitada a separação física dos equipamentos do PATH 1 e PATH 2 em painéis e salas diferentes.

Esta solução visa criar uma segurança adicional para o Sistema de Telecomunicações contra falha severas na infraestrutura das localidades.

A Figura 1 mostra um exemplo de Layout para as Estações Repetidoras, contendo duas salas para os Geradores à Diesel, como também duas salas de Equipamentos de telecomunicações.

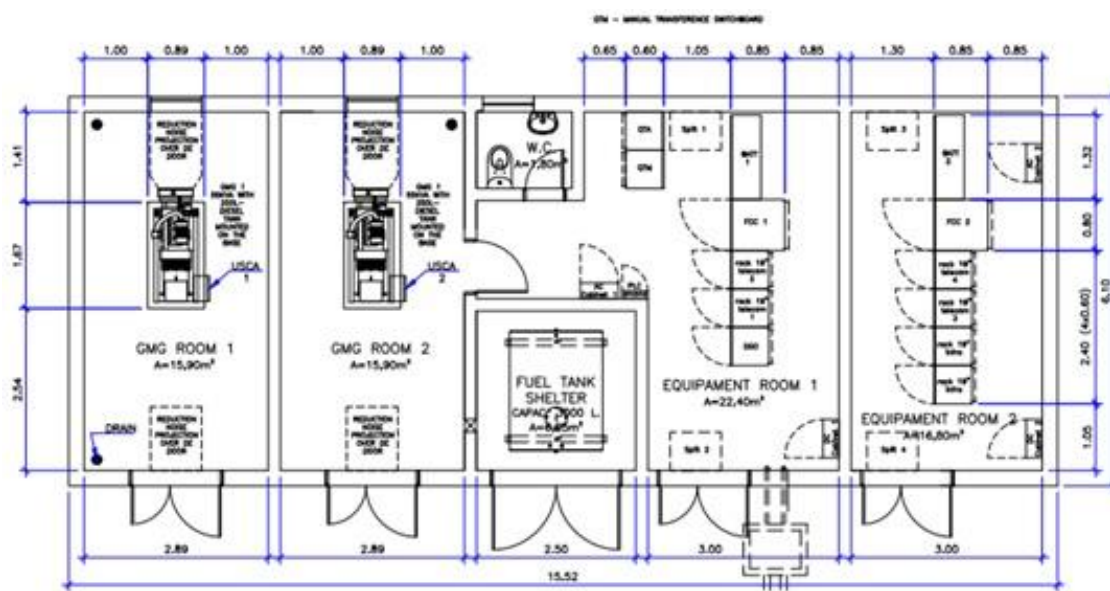


FIGURA 1 – Layout Exemplo para as Repetidoras

#### 4.0 - ESCOPO DE TELECOMUNICAÇÕES

##### 4.1. Sistema de transmissão óptica

O Sistema de Transmissão Óptica compreende os equipamentos Multiplexadores SDH/PDH e os Amplificadores Ópticos de potência.

Para garantir a perfeita integração das estações Conversoras do bipolo, foram consideradas seis estações Repetidoras ao longo da linha de transmissão. A distância entre as localidades varia entre 301 a 316 km, sendo esta comunicação realizada por dois links de Telecomunicação STM4 (1+0).

A Figura 2 abaixo mostra a concepção desta integração. Todos os equipamentos presentes no Rack1 de cada localidade, pertencerão ao PATH 1 do link de comunicação, e de forma análoga, todos equipamentos do Rack 2 de cada localidade, pertencerão ao PATH 2.

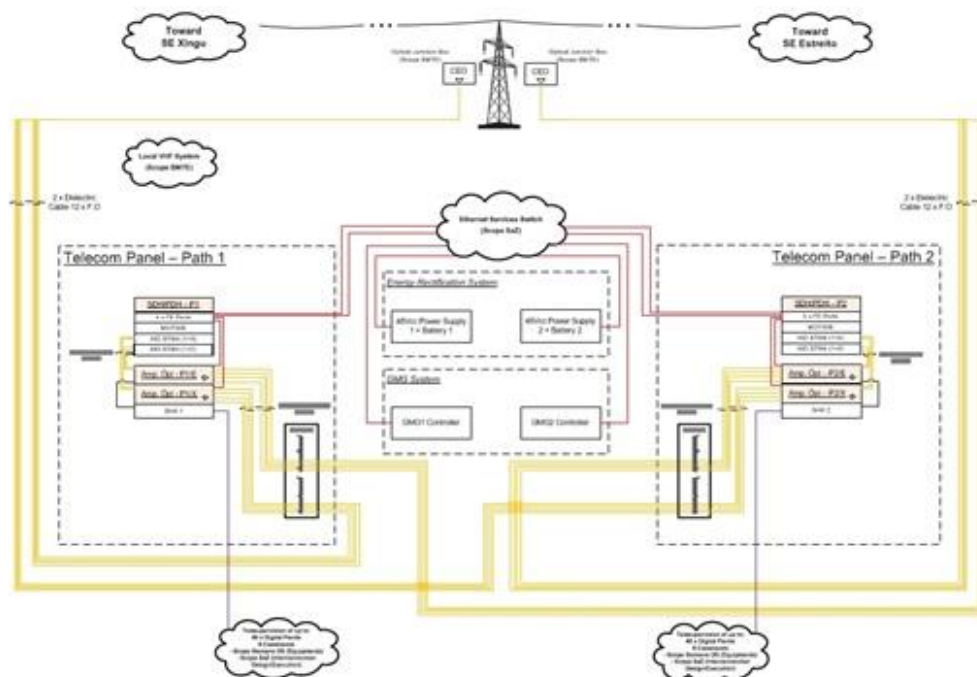


FIGURA 2 – Arquitetura do Sistema na SE Xingú

## 4.2. Sistema de energia

O sistema de Energia foi projetado para oferecer diversos níveis de segurança no suprimento de Energia das Estações. A Figura 3 abaixo mostra o sistema previsto para as Repetidoras, localizadas em três estados diferentes (Pará, Tocantins e Goiás) onde estarão expostas a situações de interrupção de energia.

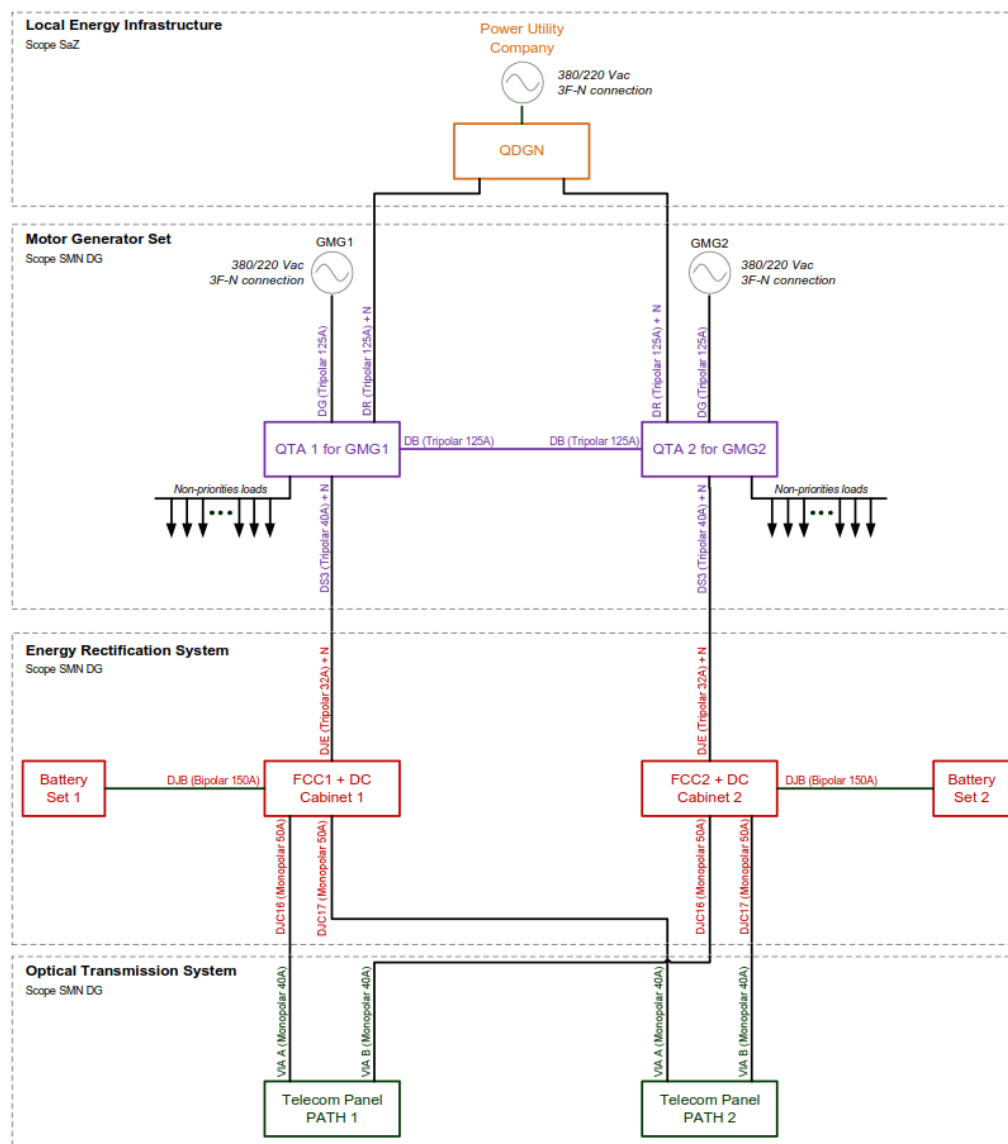


FIGURA 3 – Interligação do Sistema de Energia para Repetidoras

- **Nível 1 – Quadro de Distribuição QDGN**

Este Quadro de distribuição é o responsável por receber a energia da concessionária e disponibilizar saídas para os Quadros QTAs dos Geradores e outras cargas menos prioritárias. Seu índice de confiabilidade no fornecimento de Energia esta atrelado a qualidade no fornecimento oferecido pela distribuidora.

- **Nível 2 – Quadros Redundantes de distribuição QTA (Quadro de Transferência Automática)**

Este Quadro possui um índice de confiabilidade maior em relação ao QDGN, pois no caso de falha no fornecimento de energia pela concessionária, dois Geradores Redundantes estarão prontos para o atendimento das cargas conectadas aos QTAs. A autonomia prevista para os Geradores é superior a 300 Horas de operação, sendo esta autonomia associada a quantidade de combustível disponível em tanque externo.

- **Nível 3 – Fontes CC Redundantes com Quadros Internos**

Cargas conectadas aos Quadros Internos de Distribuição CC (QDCC), se beneficiam do melhor índice de confiabilidade no fornecimento de energia. No caso de falha na Tensão CA da concessionária, como também na indisponibilidade de operação dos dois Geradores CA, Bancos de Bateria com autonomia total de 12 horas, garantirão o fornecimento emergencial de energia.

#### 4.3. Sistema de sincronismo

Para garantir o perfeito sincronismo dos links de Telecomunicação STM-4, entre as 8 localidades do projeto (duas Estações Conversoras e seis Estações Repetidoras), estão previstos dois sincronizadores localizados nas Conversoras.

Os equipamentos do PATH 1 serão sincronizados pelo sincronizador 1 (SYNC1), localizado no Rack 1 da Estação Conversora de Xingú. De forma análoga, os equipamentos do PATH 2 serão sincronizados pelo sincronizador 2 (SYNC2), localizado no Rack 2 na Estação Conversora de Estreito.

Na eventual falha de um dos dois sincronizadores, o PATH correspondente ao sincronizador em falha será sincronizado automaticamente pelo sincronizador do outro PATH.

#### 4.4. Telessupervisão das localidades

Um sistema de telessupervisão remota, composto de um módulo de Telessupervisão (SHK) e sua Gerência, serão responsáveis pelo monitoramento remoto de sinais digitais, como também pelo envio de comandos através de saídas digitais.

Este sistema é um importante aliado para as equipes de manutenção devido a localização remota e de difícil acesso das estações Repetidoras. Dessa forma, é possível monitorar previamente o estado de operação dos sistemas envolvidos, e se antecipar à uma eventual falha de tais sistemas.

A Tabela 2 abaixo exhibe alguns exemplos de pontos de monitoramento para os Geradores, Retificadores e de infraestrutura.

TABELA 2 – Lista de Entradas Digitais para as Repetidoras

Sistema	Equipamento	Descrição
GMG1	Controlador	GMG1 em operação (GMG1 operating)
GMG1	Controlador	Transferência de Carga Realizada pelo GMG1 (Load Transfer Completed by GMG1)
GMG1	Controlador	Alarme Geral GMG1 (General alarm GMG1)
GMG1	Controlador	Baixo nível de combustível Interno do GMG1 (Low internal fuel level GMG1)
GMG2	Controlador	GMG2 em operação (GMG2 operating)
GMG2	Controlador	Transferência de Carga Realizada pelo GMG2 (Load Transfer Complete to GMG2)
GMG2	Controlador	Alarme Geral GMG2 (General alarm GMG2)
GMG2	Controlador	Baixo nível de combustível Interno do GMG2 (Low internal fuel level GMG2)
GMG1	Controlador	Falha CA da Concessionária (Mains AC failure)
GMG2	Controlador	Falha CA da Concessionária (Mains AC failure)
FCC1	Retificador 1	CA Entrada 1 Anormal (Anormal AC supply 1)
FCC1	Retificador 1	UR 1 anormal (Modular Rectifier unit 1 failure)
FCC1	Retificador 1	Temperatura alta da bateria 1 (Battery 1 high temperature)
FCC1	Retificador 1	Sumário de Alarme Geral 1 (Summary of alarms 1)
FCC1	Retificador 1	Bateria 1 em Descarga (Battery 1 discharging)
FCC1	Retificador 1	Fonte CC 1 anormal - sub/sobretensão (Abnormal CC supply 1 - under/over voltage)
FCC2	Retificador 2	CA Entrada 2 Anormal (Anormal AC supply 2)
FCC2	Retificador 2	UR 2 anormal (Modular Rectifier unit 2 failure)
FCC2	Retificador 2	Temperatura alta da bateria 2 (Battery 2 high temperature)
FCC2	Retificador 2	Sumário de Alarme Geral 2 (Summary of alarms 2)
FCC2	Retificador 2	Bateria 2 em Descarga (Battery 2 discharging)
FCC2	Retificador 2	Fonte CC 2 anormal - sub/sobretensão (Abnormal CC supply 2 - under/over voltage)

Repetidora	Sala de Telecom	Falha de Ar Condicionado Principal 1 (Main Air Conditioner 1 Failure)
Repetidora	Sala de Telecom	Falha de Ar Condicionado Principal 2 (Main Air Conditioner 2 Failure)
Repetidora	Sala de Telecom	Falha de Ar Condicionado Reserva 1 (Alternate Air Conditioner 1 Failure)
Repetidora	Sala de Telecom	Falha de Ar Condicionado Reserva 2 (Alternate Air Conditioner 2 Failure)
Repetidora	Sala de Telecom	Porta Sala Equipamento 1 Aberta (Door Equipment room 1 Open)

TABELA 3 – Lista de Saídas Digitais para as Repetidoras

Sistema	Equipamento	Descrição
GMG1	Controlador	Partir GMG1 (Start GMG1)
GMG1	Controlador	Parar GMG1 (Stop GMG1)
GMG1	Controlador	Partir GMG1 em teste (Start GMG1 on test mode)
GMG2	Controlador	Partir GMG2 (Start GMG2)
GMG2	Controlador	Parar GMG2 (Stop GMG2)
GMG2	Controlador	Partir GMG2 em modo teste (Start GMG2 on test mode)

#### 4.5. Gerência de amplificação óptica e telessupervisão

A Gerência da Amplificação Óptica e Telessupervisão será responsável por exibir sinais referentes ao estado de Operação dos Amplificadores ópticos, como também disponibilizar a lista de alarmes, eventos e comandos (2), pertencentes à cada módulo de Telessupervisão SHK dos painéis das Estações Repetidoras e Estações Conversoras.

Este sistema Gerência estará localizado de forma estratégica na Estação Conversora de Estreito (onde estará localizado o Centro de Operação do empreendimento), onde haverá uma equipe alocada para controle da operação de todos os sistemas que compõe a solução do Bipolo 1 do HVDC. A Figura 4 abaixo exibe um exemplo de visualização dos alarmes do Módulo de Telessupervisão SHK.

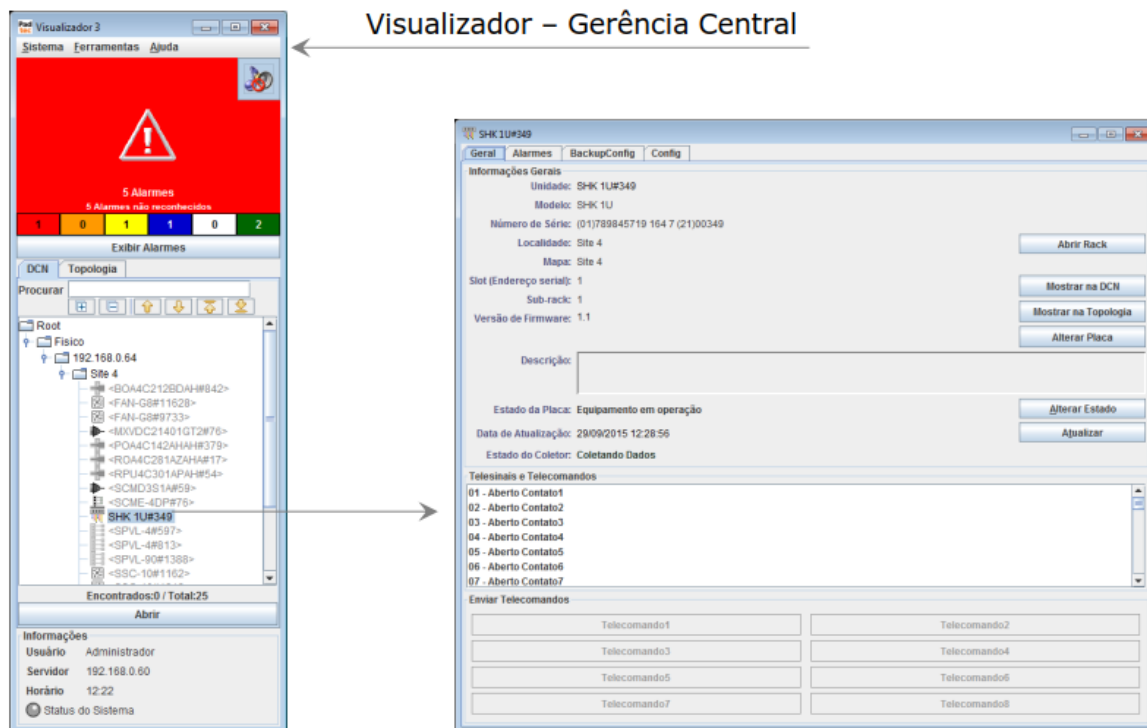


FIGURA 4 – Gerência de Amplificação Óptica e Telessupervisão



#### 4.6. Gerência dos equipamentos SDH/PDH

A Gerência do Sistema SDH/PDH será responsável por exibir todos os alarmes e eventos relacionados ao link de comunicação STM4, que interligará as localidades. Tais alarmes incluem, falhas de cross-conexão de algum serviços entre localidades, perda de sincronismo, escorregamento de bits, dentre outros (3).

De forma análoga ao Sistema de Gerência de Amplificação Óptica e Telessupervisão, esta gerência será alocada na Estação Conversora de Estreito, sob o controle de operação do Bipolo 1 do HVDC.

#### 4.7. Sistemas complementares de telecomunicações

Além dos sistemas acima descritos e visando atender às necessidades operacionais da BMTE, serão instalados os seguintes Sistemas: Sistema Telefônico, Rede de Comunicações de Dados Corporativos, Rede Estruturada, Sistema de CFTV, Controle de Acesso, Intrusão, Incêndio e Sistema de Comunicações Móveis, cujo detalhamento não faz parte do escopo desse trabalho.

### 5.0 - CONCLUSÃO

A combinação de soluções que envolvem tecnologias de transmissão de voz e dados e soluções que envolvem a infraestrutura das localidades foi à base para se garantir uma solução confiável para o tráfego de serviços de Telecomunicações.

As dimensões geográficas do Brasil demandaram às equipes envolvidas no projeto abordagens diferentes do que normalmente se utilizava no país. Dessa forma, este projeto se torna um exemplo para outros empreendimentos similares em países que também se utilizam de longas linhas de transmissão em corrente contínua.

Outro fato que merece destaque é que os Sistemas de Telecomunicações alcançaram definitivamente um grau de importância similar aos Sistemas de Proteção e Controle do Sistema Elétrico. Com a adoção crescente de tecnologias de informação no setor, soluções que garantam a confiabilidade da Comunicação devem ser desenvolvidas em conjunto com soluções de sistemas de proteção e controle, adotando assim os mesmos requisitos de confiabilidade e de disponibilidade.

### 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ANEEL - Edital do Leilão nº 011/2013: Licitação para Concessão de Serviço Público de Transmissão de energia elétrica, incluindo a construção, operação e manutenção das instalações de transmissão do Bipolo 1 no SIN - Sistema Interligado Nacional.
- (2) PADTEC – Manual Plataforma LightPad i1600G e LightPad6400G
- (3) ECI – Network Management Guide Version 4.0

### 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

**Cosme Rodolfo Roque dos Santos**, nascido em 1985 na cidade de Campinas-SP, é formado em Engenharia



Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas no ano de 2010, e atualmente esta se especializando em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética pela Escola Politécnica da Universidade Estadual de São Paulo. Tem trabalhado como Especialista e Líder Técnico em projetos de Smart Grid e Automação de Energia desde o ano de 2010, pela divisão de Gerenciamento de Energia da Siemens. Neste projeto, ele é o Líder Técnico por parte da Siemens Brasil.

**Luiz Fernando Groetaers Vianna**, nascido em 1953, na cidade do Rio de Janeiro, é formado em Engenharia Elétrica/Telecomunicações pela Universidade Federal Fluminense (UFF) no ano de 1975, tendo trabalhado na área de projeto e implantação de sistemas de telecomunicações, até 2013, em Furnas Centrais Elétricas S.A, e atualmente atua como responsável técnico para implantação dos Sistemas de Telecomunicações, deste empreendimento, pela Belo Monte Transmissora de Energia SPE S.A (BMTE).

**Alessandro Bonequini**, nascido em 1972 na cidade de Jundiaí-SP, Especialista de Telecomunicações, com mais de vinte e cinco anos de experiência no setor, tendo atuado na CESP/CTEEP, ABB e Siemens. Tem trabalhado na Siemens desde 2008, ocupando diversas posições dentro da área Digital Grid, como Coordenador da equipe de

Telecomunicações, Líder Técnico de projetos e atualmente sendo responsável pelo Desenvolvimento de novos negócios na divisão.