



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

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

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

APLICAÇÕES PARA COMUNICAÇÕES OPERACIONAIS EM EMPRESAS DE ENERGIA ELÉTRICA

**Rodrigo Leal de Siqueira (*)
CHESF**

RESUMO

Este trabalho visa abordar soluções e aplicações de tecnologia com produtos disponíveis comercialmente, onde possam ser realizados testes pilotos de imediato e seqüencialmente aplicação em larga escala da solução projetada para atendimento às necessidades de comunicações operacionais aplicadas em empresas de energia a algumas demandas importantes, como:

- Medidores Remotos
- Teleproteção
- Dispositivos distribuídos nos pátios das subestações
- Meteorologia
- Telefonia Satelital
- Comunicação ao longo das Linhas de Transmissão

Essas demandas serão abordadas por soluções planejadas e casos práticos, realizando análise técnica da aplicação ou da solução quando comparada com alternativas disponíveis para atendimento em ambientes hostis.

PALAVRAS-CHAVE: Comunicação Operacional, PMU, Equipe de Manutenção, WiMax, Disponibilidade

1.0 - INTRODUÇÃO

No desenvolvimento das atividades de gestão empresarial, as empresas do setor de energia necessitam de um sistema de telecomunicações que atenda todas as suas necessidades operacionais e administrativas para tráfegos de informações, necessárias ao planejamento, projeto, construção, operação e manutenção do Sistema Elétrico.

Os sistemas de telecomunicações têm passado por um grande avanço tecnológico. A contínua evolução vem proporcionando a apresentação no mercado nacional e internacional de opções de soluções convergentes que cada vez mais se aplicam aos sistemas operacionais de uma empresa de energia, de acordo com os requisitos de sua Operação Elétrica, assim como os do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

Aspectos, como os requisitos de confiabilidade e automação em constante evolução, apontam para uma crescente necessidade de controles, estruturas de supervisão mais eficientes e seguras, bem como soluções de automação cada vez mais elaboradas. Neste quadro, os papéis dos recursos telecomunicações nas *utilities* vêm crescendo em importância e as próprias especificações e arquiteturas destes, se tornando cada vez mais especializadas.

O desenvolvimento do planejamento e da utilização destas novas soluções de comunicações estão orientado pela disponibilidade da informação, garantindo o atendimento aos requisitos de qualidade de serviço (QoS) para a Operação Elétrica e, particularmente, para as exigências regulamentares estabelecidas nos procedimentos de rede do Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, com uma análise do custo-benefício dentre as possíveis tecnologias disponíveis a serem empregadas, quando necessário.

Este planejamento está sendo norteado por algumas premissas, como:

- Perspectiva de migração das comunicações para uma base predominantemente IP;
- A introdução de novos paradigmas para as redes de controle industrial, em geral, e dos equipamentos que constituem o sistema eletroenergético em particular;
- A tendência de integração de funcionalidades nos equipamentos de comunicação;
- A disponibilidade de novas tecnologias de comunicações sem fio que permitem um uso mais eficiente da banda disponível e cobertura integrada de áreas extensas, ao mesmo tempo assegurando qualidade de serviço, garantia de banda e segurança compatíveis com as aplicações de voz, dados e até mesmo vídeo em tempo real, introduzindo mobilidade e mais flexibilidade em ambientes de missão crítica;
- Tendência à operação remota dos componentes do sistema eletroenergético e a consequente necessidade de suporte de telecomunicações para medição de grandezas elétricas em todo o perímetro das Usinas, Subestações e ao longo das Linhas de Transmissão;
- A maior integração e automação dos sistemas elétricos para ensejar sua administração, configuração e operação com um mínimo de recursos, com especial atenção aos equipamentos básicos que tradicionalmente não contavam com facilidades de gerenciamento remoto e agora necessitam.

Este trabalho visa abordar soluções e aplicações de tecnologia com produtos disponíveis comercialmente, onde possam ser realizados testes pilotos de imediato e seqüencialmente aplicação em larga escala da solução projetada para atendimento às novas necessidades de comunicações operacionais aplicadas em empresas de energia a algumas demandas importantes.

2.0 - MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE TELECOMUNICAÇÕES

A Chesf tem como principais áreas de atuação a produção e transmissão de energia elétrica, onde sua área de concessão de original é o nordeste do Brasil e, para garantir a Operação do seu sistema eletro-energético, a empresa construiu uma rede própria de telecomunicações que abrange toda a sua área de concessão, que engloba atualmente 108 instalações operacionais distribuídas em 14 usinas e 94 subestações.

O atual sistema de telecomunicações da Chesf é constituído de um *backbone* que utiliza, preponderantemente, sistemas SDH óticos, totalizando mais de 7000 km de cabos óticos ao longo das linhas de transmissão, utilizando hierarquia STM-1 e STM-4 via sistema óptico e rádio digital, capaz de suportar as atuais aplicações em operação.

Para controlar o seu sistema elétrico e de telecomunicações existem centros regionais de operação, espalhados ao longo da área de concessão. Esses centros são coordenados por um centro geral, localizado na cidade do Recife. O tráfego de informações é hierarquizado, de modo que cada centro regional recebe todas as informações pertinentes à sua área de controle, repassando parte delas para o centro geral de informação.

As novas aplicações, tanto administrativas como operacionais, têm demandado maior e melhor capacidade de processamento de sinais, o que obriga a planejar e projetar a expansão e modernização da atual plataforma de telecomunicações, aplicando as novas tendências tecnológicas para expansão do sistema, de forma a capacitá-lo a esta nova geração de serviços. Com intuito de atender as necessidades de comunicações advindas das novas aplicações operacionais e administrativas, como também a obsolescência tecnológica do seu parque de equipamentos atualmente em operação, e para atendimento aos seus objetivos estratégicos, o setor de planejamento de telecomunicações da Chesf elaborou um Plano Diretor de Telecomunicações - Horizonte 2018.

Tendo em vista as premissas adotadas, a plataforma de transporte foi projetada para prover flexibilidade, fechamento de anéis óticos, cobrindo as várias áreas de atuação da empresa, formando um sistema integrado com proteção de sobrevivência, mesmo em presença de falhas simples em algum trecho do anel, e atendendo aos tempos de propagação da informação nas várias condições de funcionamento.

A arquitetura básica do novo *backbone* baseia-se em uma estrutura de anéis regionais, com elementos de rede com tecnologia *Optical Transport Network* - OTN de hierarquia OTU-2, segundo a Rec. G.709 do ITU-T, ou SDH de hierarquia STM-16. O novo sistema foi dimensionado segundo o estudo de tráfego para o horizonte 2018.

Para uma proteção de alto nível, na camada de transporte ótico, a configuração em anéis permite implantar uma proteção de linha segundo o procedimento MS-SPRing ou ODU-SPRing, preferivelmente a quatro fibras. Na camada de trajetos SDH e mesmo na camada de trajetos ODU, uma proteção adicional segundo o modelo SNC-P poderá ser implementada.

Esse *backbone* de transmissão fornecerá o túnel para a rede de longa distância (WAN) projetada para suportar as novas aplicações e serviços em tempo real e de controle industrial, com uso de tecnologia Metro Ethernet, que, quando comparada com as tecnologias tradicionais, apresenta características de maior largura de banda, um melhor suporte para convergência de dados, aliados à recursos avançados de QoS, proteção e segurança.

A rede de longa distância pretende estender o padrão Ethernet para redes metropolitanas de longo alcance, utilizando uma topologia de rede mais plana, com uso mais intenso de redes nível 2 (Bridged Ethernet), o que reduz a latência e os custos. Esta rede consiste de uma Plataforma Multisserviços baseada em tecnologia Metro Ethernet em conjunto com IP/MPLS com TE (engenharia de tráfego), dividida em 3 camadas (Agregação, Distribuição e Acesso), conforme mostra a Figura 1.

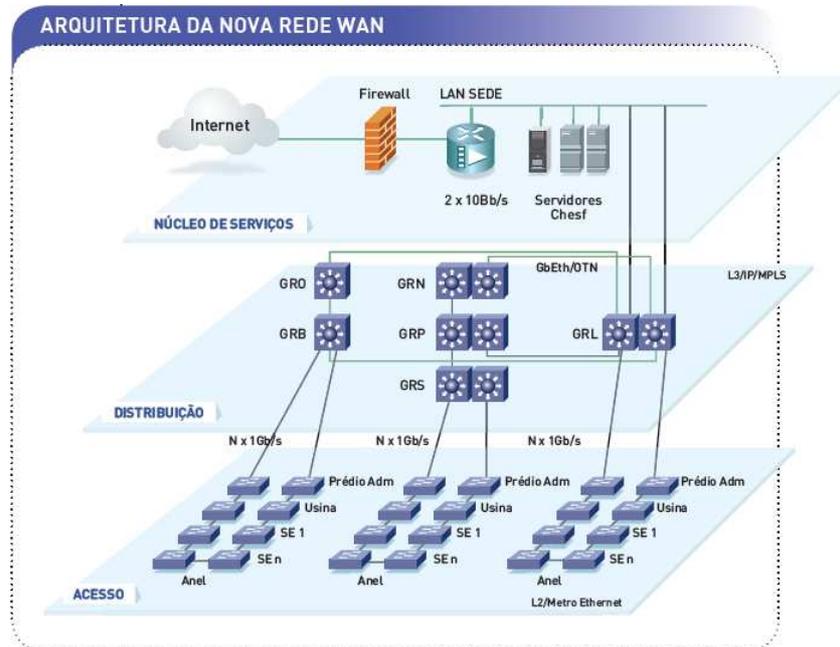


FIGURA 1 - Arquitetura da nova Rede de Longa Distância (WAN)

O Nó de Agregação localizado no COS representa o core, o qual está interligado com a camada de distribuição, composta pelas gerências regionais, responsável pela concentração e encaminhamento de todo o tráfego gerado pelos pontos de presença pela rede. Em cada gerência regional prevê-se a implementação de 2 (dois) switches categoria Carrier Class, de modo a oferecer total redundância dos equipamentos de concentração dos anéis de acesso em cada regional e balanceamento de carga.

A topologia de interconexão dos switches de core entre as regionais é em anel devido a otimização de utilização dos recursos de transmissão e resiliência inerente às redes Ethernet configuradas nessa topologia. Nessa camada propõem-se a utilização de tecnologia MPLS (Multi Protocol Label Switching) visando maiores recursos de proteção, QoS e provisionamento de serviços, entre outras facilidades.

A camada de acesso é composta pelas subestações, usinas, prédios administrativos e escritórios, o qual propõem-se a criação de anéis de acesso baseados em camada 2 oferecendo recursos avançados de QoS e convergência em caso de falhas. Através da topologia estrela obtêm-se a possibilidade da utilização de protocolos de convergências mais eficazes que o RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol), como por exemplo protocolos baseados na RFC 3619 que atingem tempos de restauração similares ao das redes SDH.

3.0 - APLICAÇÕES PARA COMUNICAÇÕES OPERACIONAIS

Neste trabalho descreveremos algumas aplicações operacionais que possuem impacto direto no planejamento, operação e manutenção do sistema de telecomunicações, como:

- a) Largura de Banda
- b) Latência
- c) Disponibilidade
- d) Acessabilidade
- e) Segurança

3.1 Medidores Remotos

Esta seção relata a avaliação preliminar sobre os impactos no sistema de telecomunicações da Chesf, com a adoção generalizada de Unidades de Medição Fasorial - PMU. Essas unidades farão a aquisição das informações em tempo real para as funções de supervisão e controle do sistema eletro-energético, além de prover recursos para o desenvolvimento de aplicações avançadas que garantam melhores níveis de segurança e de qualidade dos serviços de geração e transmissão de energia elétrica. A largura de banda foi o principal foco da avaliação, e levou em conta as recomendações da norma IEEE C37.188-2005 e o conjunto de remotas de telemedição existente.

A norma IEEE C37.118 especifica que, em 60 Hz, um PMU deve poder prover taxas de informação de 10, 12, 15, 20 e 30 fasores por segundo (módulo e ângulo) (1) (3) . A mesma norma prevê e estimula os fabricantes a disponibilizarem taxas ainda maiores. Atualmente, os principais fabricantes já disponibilizam a opção de 60 fasores por segundo (3) . Um PMU que faça a aquisição das 3 correntes e das 3 tensões, por fase, de um determinado ponto de interesse estará lidando com 12 medidas (6 de módulo e 6 de ângulo). Vale lembrar que a taxa de atualização de medidas, hoje, não passa de uma amostra a cada 2 segundos. Assim, ainda que a taxa de aquisição seja de 10 fasores/s, a menor especificada por norma, a rede de comunicação terá de transportar uma quantidade de dados equivalente a 240 medidas dos atuais sistemas de supervisão e controle.

É evidente que maiores taxas de atualização da informação e a necessidade de ampliar a cobertura de supervisão trarão um efeito multiplicador no volume de informação, obrigando uma maior alocação de banda para que as novas aplicações com PMU sejam viabilizadas. Por outro lado, a implementação dessas facilidades exige taxas de transmissão de dados que, para um único PMU, são da ordem da taxa de transmissão utilizada para toda uma remota de supervisão e controle dos antigos sistemas SCADA, utilizados até então. Para reduzir os requisitos de banda de comunicação pode-se utilizar um equipamento concentrador de PMU, conhecido por Phasor Data Concentrator – PDC. Esse dispositivo pode agregar as informações de diversos PMU, chegando a requerer, entretanto, uma taxa de transmissão da ordem de 75 kilobits/s, para cada conjunto de 5 PMU agregados (2) .

Utilizando a atual configuração do sistema de telecomunicações e a disposição geográfica das instalações, verificou-se se os requisitos de banda de comunicação são suficientes para garantir o transporte das informações geradas por uma rede de PMU e PDC. Considerou-se que, em média existem 5 bays por subestação e que cada bay é monitorado por um PMU exclusivo. Cada PMU responde pela aquisição de 10 fasores, a uma taxa de aquisição de 30 amostras por segundo.. Considerou-se, também, que os PMU enviam suas informações para um PDC localizado no centro de controle regional, e, daí, as informações convergem para o centro geral de controle. Para estimar os requisitos de largura de banda, utilizaram-se as estimativas apresentada na tabela 1 da referência (2) , considerando que as medidas são, sempre, em ponto flutuante. Foram admitidas algumas extrapolações nos valores registrados na referência citada, necessárias para adequação ao número de fasores alocados por PMU.

Os resultados das estimativas de largura de banda estão registradas a seguir:

- a) PMU com aquisição de 10 fasores => 40 kbps;
- b) PDC agregando 5 PMU com 10 fasores => 150 kbps;
- c) PDC agregando 20 PDC com 5 PMU – 10 fasores => 500 kbps.

No estudo realizado o tráfego de dados do PMU de aquisição (letra a) não traz preocupação, pois foi considerado como restrito a uma rede local – LAN da instalação. O tráfegos entre PDC, entretanto terão de trafegar através da WAN e, aí sim, poderiam trazer algum problema.

Supondo que cada centro regional de operação responde por 20 instalações, chega-se aos seguintes resultados para a largura de banda em cada uma das situações listadas a seguir:

- a) Tráfego entre uma instalação e o respectivo centro regional de operação => 150 kbps
- b) Tráfego entre um centro regional de operação e o centro geral => 500 kbps
- c) Tráfego total convergindo para o centro geral de operação => 2,5 Mbps

Após essas estimativas fica evidente que, admitindo-se apenas as novas aplicações de PMU, existe disponibilidade suficiente de banda do sistema de transmissão da Chesf para acomodar toda a demanda.

Algumas das aplicações com PMU, entretanto, além da largura de banda podem exigir requisitos que, se não considerados, poderão inviabilizar uma implantação com o desempenho desejado, como o tempo de retardo. Os PDC, concentradores destas informações, irão agregar estes pacotes de vários pontos da rede para gerar as medições adequadas e as relações de ângulo para apresentação das informações em tempo real. Em algumas aplicações em tempo real, a depender do intervalo de tempo necessário para o processamento, o atraso dos pacotes e a variação do atraso podem tornar o processo crítico. Nestes casos, esse parâmetro será mais importante do que a banda disponível, já que se verificou que esse último não vem se caracterizando como um problema na rede de telecomunicações da Chesf.

Nos projetos das redes Wide Area Measurement - WAM, os aspectos mais importantes que têm sido levados em consideração no canal de comunicação de dados entre PMU e PDC são disponibilidade, confiabilidade e largura de banda. No entanto, o atraso dos pacotes na transmissão de dados entre o ponto de coleta e o ponto de agregação de informações é um fator que também deveria ser considerado com cuidado na fase de projeto desses sistemas.

Além da questão de variação de atraso considerando um mesmo ponto da rede, devemos levar em consideração que também, a heterogeneidade do atraso para nós da rede localizados em áreas geográficas diferentes. É sabido que a distância entre os pontos e o número de saltos entre os elementos roteadores de pacotes impactam em um maior tempo de atraso. Nós localizados em pontos distintos da rede terão distâncias e percorrerão um número de elementos distintos, o que causará tempos de chegada distintos em um ponto central de agregação.

A título de ilustração os tempos de retardo típicos entre o COS, localizado no Recife, e vários pontos da atual rede da Chesf são mostrados na Figura 2, que também oferece a visão da distribuição geográfica dessas instalações. Os tempos de retardo foram obtidos através do comando PING. A heterogeneidade desses atrasos pode impactar no desempenho de uma aplicação de medição de fasorial.

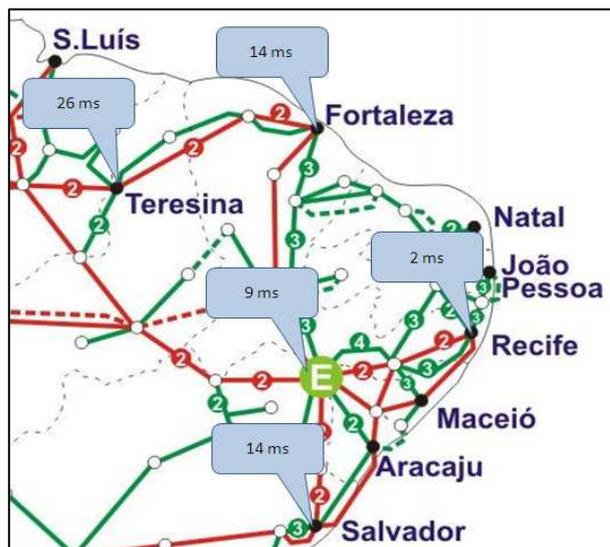


FIGURA. 2 - Tempos de atraso em relação à estação do COS em Recife.

Outro parâmetro que pode impactar o tempo de propagação do pacote na rede é o tamanho do pacote pela rede, conforme pode ser observado na Tabela 1. O padrão IEEE C37.118 define, no seu item 6, os parâmetros do quadro para transmissão de mensagens entre os elementos da rede de sincrofasores (1)

TABELA 1 – TEMPOS DE RETARDO EM FUNÇÃO DO TAMANHO DO PACOTE

Tamanho do Pacote	Retardo médio (ms)
100 bytes	32
500 bytes	34
1000 bytes	46

Os tempos necessários para o roteamento na ocorrência de indisponibilidades de tráfego pelo caminho principal, verificadas ao longo das rotas são mais um fator a ser ponderado, que dependendo do protocolo utilizado e do tamanho da rede, os tempos de convergência podem atingir a ordem de algumas dezenas de segundos. Apesar dessas considerações, este item não é tão preocupante, pelo fato de que, em uma rede em condições normais de operação, o protocolo de roteamento não deverá estar atuando freqüentemente. Além disso, a tendência de utilização de redes Metro Ethernet entre localidades próximas, hoje atendidas por uma WAN, permitirá, quando configuradas em anel, obter tempos de convergência bem mais rápidos, da ordem de 50 ms.

Ainda sim, uma rede corporativa ainda precisará conectar com pontos geograficamente distantes via rede WAN e isso implicará em tempos de atrasos razoavelmente distintos, tornando obrigatório considerar esses fatores, no desenvolvimento do projeto de uma aplicação dos sistemas de sincrofasores.

Alguns problemas não percebidos a princípio, tais como: o tempo de retardo, a diferença no tempo de propagação dos pacotes através da rede e o tamanho dos pacotes, podem ser determinantes para um mau desempenho de algumas aplicações com sincrofasores. Portanto, esses aspectos devem ser considerados durante o projeto do sistema e o desenvolvimento das aplicações.

Em particular, a adoção do padrão IEEE 1588 *Power Profile* e *Telecom Profile* e NTP, para garantir a sincronização de todas as instalações interconectadas em rede e, assim, a simultaneidade de medição, deve ser um ponto obrigatório para resolver esses problemas, e que está sendo considerado no Plano Diretor, conforme Figura 3.

Ressalta-se que o objetivo do planejamento é atender às necessidades dos equipamentos da rede de telecomunicações da Chesf e por isso planejou-se apenas um distribuidor de relógio por *site*; entretanto, caso se opte por utilizar os sinais dos distribuidores de relógio de cada *site* para os equipamentos **secundários** das LANs de cada *site*, será preciso atender ao modelo descrito pelos autores da norma IEEE C37.238 *PTP Power Profile*, segundo o qual as subestações com duas ou mais seções de LAN requerem um segundo relógio de subestação como *backup*. (Esse modelo visa a garantir a confiabilidade da infraestrutura da LAN local, e não apenas a confiabilidade do relógio da subestação.)

3.2 Teleproteção

Nesta seção alertamos para a possibilidade do uso da transmissão da proteção diretamente pelo equipamento WDM evitando dispositivos intermediários quando uso deste sistema no *backbone*, menor latência e assim garantindo maior disponibilidade.

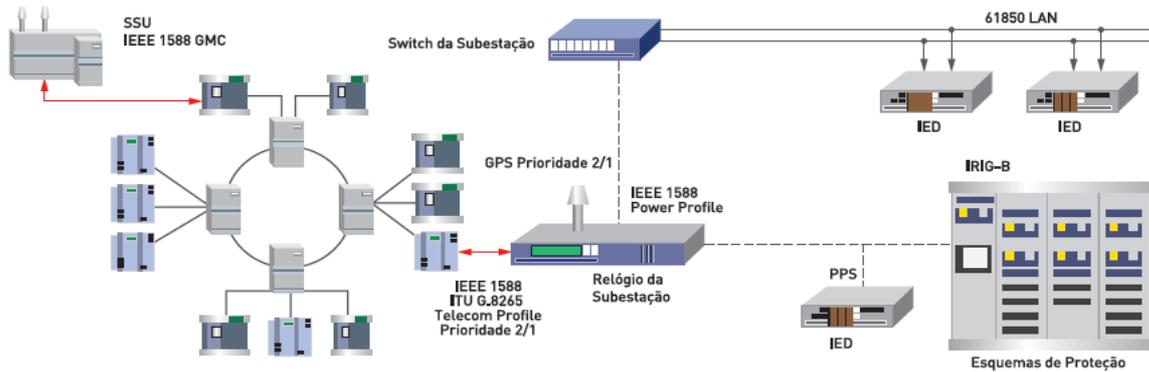


FIGURA 3.- Topologia da nova Rede de Sincronismo

3.3 Dispositivos distribuídos nos Pátios das Subestações

O setor de planejamento considerou no desenvolvimento do Plano Diretor de Telecomunicações – Horizonte 2018 uma Rede sem Fio (*Wireless*) para atendimento as comunicações administrativas e operativas, incluindo o pátio das Subestações e perímetro das Usinas, de acordo com todos os requisitos de segurança e compatibilidade eletromagnética necessários ao perfeito funcionamento da rede levando em consideração o ambiente hostil.

A Figura 4 apresenta a rede atualmente em implantação e que poderá atender aos dispositivos remotos.

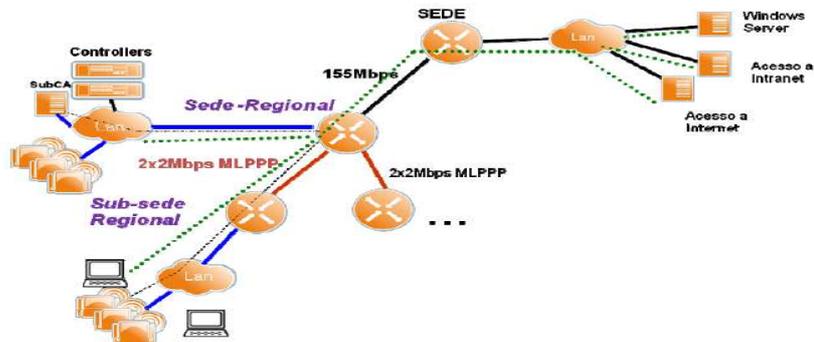


FIGURA 4 - Topologia da Rede Wireless

Esta rede proporcionará comunicação de dados às equipes de manutenção no ambiente operacional da Chesf.

3.4 Meteorologia

A Chesf está participando de projeto ANEEL em conjunto com a Universidade Federal de Santa Catarina para Aquisição de Dados Meteorológicos em Linhas de Transmissão. Este projeto tem por objetivo executar um mapeamento de algumas regiões brasileiras de modo a obter dados climáticos atualizados para uso em cálculos de Ampacidade Estatística de Linhas de Transmissão

Para este projeto a Chesf cedeu algumas de suas linhas de transmissão para a instalação conjunta de sete estações meteorológicas compactas, conforme Figura 5, para a medição dos dados, tais como: velocidade de vento, direção de vento, temperatura ambiente, radiação solar, entre outros. A massa de dados obtidos por cada estação instalada será enviada para a base da Universidade, por meio de "canais" de transmissão utilizando a infra-estrutura das estações Rádio-Base com a subestação próxima e acesso à rede corporativa da Chesf,

Chamamos atenção para o fato que soluções de equipamentos rádio em cima da torre com alimentação solar e bateria estão projetadas e testadas neste piloto, sendo sua aplicação podendo ser estendida de imediato para o sistema de comunicações ao longo da linha de transmissão sem maiores problemas.

3.5 Telefonia Satelital

O serviço de telefonia satelital pode ser utilizado, em complementação ao sistema de telefonia celular, para comunicações das equipes de manutenção de linhas de transmissão, em áreas sem cobertura de sistemas de telefonia celular ou do sistema operativo da empresa.



FIGURA 5 – Configuração típica de uma estação de aquisição

Os sistemas satelitais fornecem meios de comunicação confiáveis, pois virtualmente são imunes a desastres naturais, tais como tempestades, tornados, tsunamis e terremotos, que podem danificar redes de telecomunicações terrestres, no entanto na região Nordeste, área de atuação da Chesf, o sistema não proporciona a disponibilidade requerida pelo Sistema Elétrico. Na Tabela 2 segue uma estimativa de custo com a contratação de telefonia satelital para atendimento as equipes de manutenção, para compararmos com os benefícios de uma rede própria.

TABELA 2 – Simulação dos custos para contratação dos serviços satelital

Descrição	Quantidade	Preço Unitário	Período (meses)	Preço Total
Assinatura Mensal	90	US\$ 249,99	96	US\$ 2.159.913,60
Aparelho Telefônico	114	US\$ 1.800,00	-	US\$ 205.200,00
TOTAL	-	-	-	US\$ 2.365.113,60

3.6 Comunicação ao longo das Linhas de Transmissão

Os serviços contratados de telefonia celular e satelital exibem algumas limitações, e não estão disponíveis ao longo de todos os milhares de quilômetros das linhas de transmissão da rede elétrica. Desta forma, as redes comerciais que poderiam complementar a malha de comunicação das equipes de manutenção das linhas de transmissão, não o fazem de forma eficaz e têm invariavelmente prejudicado o desenvolvimento das atividades de inspeções e de intervenções de manutenção, não só da Chesf, como também de outras empresas transmissoras de energia, subsidiárias ou não da Eletrobrás. Como alternativa para este atendimento temos os sistemas tradicionais VHF ou UHF móvel que podem ser implantados ao longo das linhas, porém fornecendo apenas canais para fonia.

Com base neste cenário e na extrema importância da comunicação entre as equipes decidiu-se por estudar uma solução que permitisse tirar proveito dos sistemas de acesso de banda larga sem fio de longo alcance, que empregam faixas de frequência licenciadas ou não, e com capacidade de entroncamento das fibras ópticas existentes nos cabos OPGW (Optical Ground Wire) das linhas de transmissão ou por meio de backhaul via rádio.

O objetivo primordial deste projeto é então desenvolver um PILOTO de um sistema inédito no mercado, capaz de permitir de forma prática, flexível, confiável e de custo justificado, comunicações móveis corporativas tipo *Triple-Play* (voz, dados e imagens) utilizando comunicação WiMax (802.16) e WiFi (802.11) (simultaneamente) para atendimento a esta necessidade, conforme pode ser visualizado na Figura 6..

O sistema de comunicação funcionará com o uso da tecnologia WiMax, estabelecendo um link de comunicação de longa distancia até o lugar onde a equipe de manutenção esta trabalhando.

Neste caso, em razão da característica de interfaceamento entre a rede óptica e de radiofrequência, o equipamento locado na torre será aqui chamado de **EIRO** (Equipamento de Interface Radio - Óptica). O EIRO será instalado junto a caixa de emenda modificada do cabo OPGW de forma permanentemente nos pontos de acesso à rede óptica de acordo com o estudo de prospecção, onde será conhecida por PONTO DE SERVIÇO (PS). Uma vez que o alcance do transmissor WiMax contido no EIRO é de aproximadamente 20 ~ 30Km, então, a distância coberta por dois EIROs consecutivos é de não menos que 40 ~ 60km. O EIRO será alimentado por conjunto de baterias recarregáveis por energia solar, conforme protótipo do projeto de aquisição de dados meteorológicos.

Através de um arranjo composto de equipamentos comerciais, no PS, **somente a portadora óptica de serviço** terá uma fração da potência retirada, e convertida para onda de rádio-frequência. Através de antenas instaladas no PS, será feito o acesso sem-fio com a região onde a equipe de manutenção se encontra, e usará padrão WiMax. A portadora óptica de serviço operará com padrão Ethernet. Na região onde a equipe de manutenção está trabalhando, um segundo equipamento captará e converterá o padrão WiMax para WiFi, proporcionando uma "mini-ERB portátil". Através dessa rede WiFi a equipe de manutenção se comunicará entre si (LAN), e com o centro de controle (WAN). Uma vez que este equipamento fará a conversão entre os padrões WiMax e WiFi, chamaremos este equipamento de **ECP** - (Equipamento de Conversão entre Padrões). Os EIROs são o ponto central de desenvolvimento do projeto, pois fazem a conversão de portadoras ópticas em torno de 1550 nm (Banca C) para as portadoras de rádio em torno de 5.8 GHz, segundo o padrão 802.16 (WiMax), e vice-versa, em 34Mbps.

Como parte da rede *backbone* é óptica e a rede de conexão com as equipes de manutenção deve ser *wireless*, uma das opções será por uma variação do uso da tecnologia RoF (*Radio-over-Fiber*) onde modulações digitais na portadora óptica em torno de 1550 nm são diretamente (analogicamente) convertidas para modulações digitais na portadora de rádio em 5,8 GHz e vice-versa. O sistema é conhecido e aplicado para a telefonia celular, embora seja inédito para o acesso *Triple-Play* portátil sem-fio sobre o padrão 802.16 (WiMax) que aqui estamos propondo.

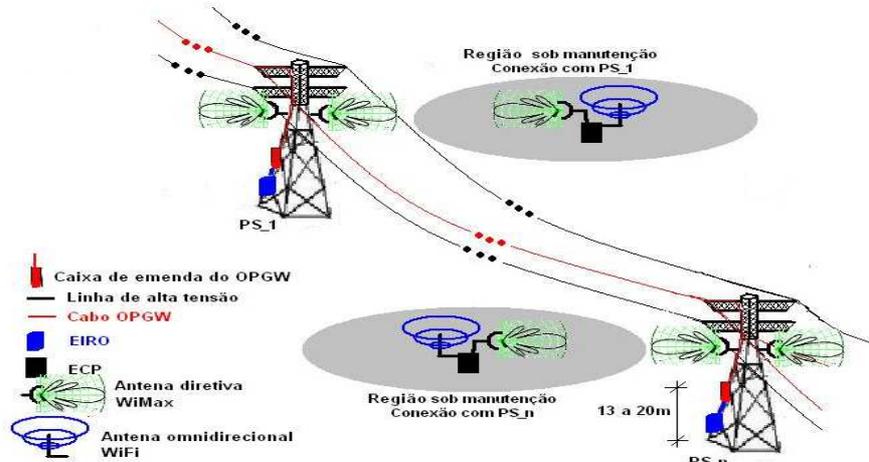


FIGURA 6 – Arquitetura do Sistema de Comunicação *Triple-Play* às Equipes de Manutenção de Linhas

Esta solução idealizada está em fase final de estudo e implantação imediata de “piloto” previsto para testes de homologação em julho para verificar a viabilidade técnica e econômica do projeto. Considerando que o projeto é viável considerando os custos da Telefonia Satelital e os requisitos técnicos exigidos, podemos usar frequência não licenciada ou viabilizar junto a ANATEL a liberação de faixa de frequência para uso das empresas do Setor Elétrico.

4.0 - CONCLUSÃO

Neste trabalho foram abordadas algumas aplicações operacionais que devem ser suportadas pelo sistema de telecomunicações das empresas de energia, garantindo banda, disponibilidade, acessibilidade e segurança. Foi verificado o atendimento dos requisitos, tanto para o atual sistema, que será utilizado no início da implantação dos PMU, quanto para o novo sistema de telecomunicações projetado que, baseado na tecnologia OTN deverá atender todas as demandas de serviços da Chesf durante a próxima década, incluindo a possível adoção generalizada de PMU, conforme análise realizada.

Alertamos para a necessidade de dados ao longo das linhas de transmissão para medição de grandezas elétricas, meteorológicas, e de materiais para avaliação técnica das condições físicas e operacionais dos componentes elétricos e do sistema de transmissão.

O sistema de telefonia celular e satelital devem ser vistos como sistema de comunicação complementar para suporte de comunicação as equipes de manutenção de linhas e para tanto alternativas de comunicação devem ser projetadas para não termos maiores impactos na Parcela Variável por indisponibilidade. Desta forma a análise de viabilidade econômica não deve só levar em consideração o custo da solução projetada com o custo do uso de Telefonia Satelital, por exemplo, mas sim os benefícios da solução e também uma possível multa devido a falta de comunicação com a equipe de manutenção de linha, retardando o “reparo”. Como consequência, as condições para aplicabilidade comercial desta solução podem proporcionar resultados de grandes benefícios para a Chesf, assim como para as outras empresas transmissoras que lidam com o mesmo nível de dificuldade operacional.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) IEEE, “IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems, IEEE Std C37.118”. IEEE, 22 March 2006, NY: New York.
- (2) MARTIN, K. E.; CARROLL, J. R. “Phasing in the technology”, *IEEE Power & Energy*. Vol. 6, number 5, pp. 24-33, September/October 2008.
- (3) MORAES, M.R.; HU, Y., “Desafios na utilização de PMUs para proteção e controle de sistemas de potência” in *STPC – Seminário Técnico de Proteção e Controle*, Recife, outubro de 2010.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Rodrigo Leal de Siqueira nasceu em Recife em 1977, graduado em Engenharia Eletrônica pela UFPE em 2000. Mestre em Engenharia Elétrica, com ênfase em Telecomunicações, em 2004 pela mesma instituição. Concluiu o MBA em Gerência de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas em 2009 e é Engenheiro da Divisão de Engenharia e Expansão do Sistema de Telecomunicações da CHESF, desde 2006. Durante o período de 2000 a 2006 foi Gerente de Projetos na área de Telecomunicações em uma empresa de Consultoria. Publicou artigo técnico no IEEE Vehicular Technology Conference 2006 em Melbourne na Austrália no Simpósio Brasileiro de Telecomunicações em 2005 no Rio de Janeiro, e em Seminários Nacionais e Internacionais de Telecomunicações.