



**XXI SNPTTE
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

IMPLANTAÇÃO DE CARRIER ETHERNET SOBRE UM BACKBONE ÓPTICO

**Cristiano H. Ferraz (*)
NETCON Ltda.**

**Eduardo Langrafe
NETCON Ltda.**

**Eduardo V. Lopes
NETCON Ltda.**

RESUMO

Os serviços de comunicações unificadas (UC), de videoconferência, de controle e automação do sistema eletroenergético, de proteção elétrica, de medição e controle, de videomonitoramento e os demais serviços são implementados como serviços baseados em IP. As interfaces de comunicação dos elementos de rede migram para o padrão Ethernet.

As redes WAN tradicionais não estão preparadas para manejar os grandes volumes de dados decorrentes da migração dos novos serviços para IP. É necessário planejar a evolução das redes de transmissão e transporte das Empresas de Energia Elétrica para suportar e operar com uma nova arquitetura mais simples e plana da rede de dados.

PALAVRAS-CHAVE

Carrier Ethernet, OTN, WAN, IEC 61850, NG-SDH

1.0 - INTRODUÇÃO

Os sistemas de telecomunicações tradicionais eram adequados para transportar sinais da hierarquia digital plesiócrons (PDH) – sinais E0, de 64 kbit/s e E1, de 2 Mbit/s – e os sinais de controle e teleproteção específicos do setor elétrico. Para os sinais de teleproteção, usavam-se também (geralmente de forma redundante) os sistemas de ondas portadoras (OPLAT) de baixa capacidade. As redes de dados para funções corporativas e operativas eram constituídas de alguns roteadores de grande porte nos pontos centrais e roteadores de acesso distribuídos nos *sites* (usinas, subestações e prédios administrativos). O tráfego IP sobre Ethernet era transportado encapsulado em sinais TDM (sendo que a hierarquia digital síncrona de nova geração, ou NG-SDH, permitia o mapeamento direto do tráfego Ethernet em tributários virtuais concatenados de capacidade flexível).

Contudo, o aumento explosivo do tráfego (provocado pelo uso crescente do vídeo em atividades tais como suporte à operação desassistida de usinas e subestações, pela migração de todos os serviços para IP e pela adoção do padrão Ethernet em todas as interfaces, inclusive no controle do sistema eletroenergético) exige um novo planejamento das redes. Uma arquitetura de rede baseada em uma estrutura hierarquizada empregando dezenas de roteadores de nível 3 para manejar os sinais desde sua origem até seu destino na rede torna-se ineficiente. Pode-se simplificar a rede de transporte hoje estratificada para tornar-se uma rede plana, dotada principalmente de comutadores de nível 2 (*L2 switches*), os quais otimizam todo o processo de agregação, multiplexação, transporte e distribuições dos sinais Ethernet.

As redes de longa distância das Empresas de Energia Elétrica geralmente estão constituídas por cabos de fibras ópticas OPGW, complementados por radioenlaces digitais, hoje de alta capacidade. Numa rede moderna, recomenda-se o uso de sistemas de transmissão ópticos que permitam montar barramentos de acesso distribuído para sinais Ethernet que ofereçam serviços *Carrier Ethernet*. Desta maneira, pode-se prescindir dos roteadores distribuídos, mantendo a comutação em nível 3 restrita ao núcleo (*core*) da rede IP. Toda a parte de transporte, com o perfil *Carrier Ethernet*, permite uma conexão direta Ethernet (em nível 2, portanto) entre os dispositivos remotos e os roteadores de núcleo (*core routers*). Com isso fica eliminada a complexidade das redes tradicionais e os retardos aleatórios, que podem chegar a ser prejudiciais para os serviços em tempo real (voz e vídeo) e para o transporte do sincronismo entre *sites* da rede.

Este trabalho descreve o estudo que conduz à escolha das tecnologias mais adequadas para o *backbone* e para o acesso de uma empresa de geração e transmissão de energia elétrica. Estudam-se as tecnologias disponíveis para a exploração da fibra e dos radioenlaces, bem como as vantagens e desvantagens relativas a cada tecnologia. Comparam-se as diversas tecnologias para a rede de transmissão e discute-se a opção pela OTN (*Optical Transport Network*) segundo o padrão G.709 Rev. 3 (de 2009) e de rádios STM-4, e apresentam-se critérios para a seleção das fibras para os novos cabos de OPGW de distância muito longa, com a escolha de fibras de baixa atenuação. Comparam-se as diversas opções de implantação de WAN, resultando na escolha de uma arquitetura plana baseada em comutadores de nível 2 distribuídos que conectam os sites em uma rede que oferece garantia de QoS, de fácil provisionamento, a um grupo de *switch/routers* L2/L3 de *core*, arquitetura essa que suporta de maneira ótima os novos serviços em tempo real que demandam banda e qualidade de serviço garantidas e permite uma grande flexibilidade na localização dos servidores da rede, tudo isso a um custo atraente.

Finalmente, descreve-se um projeto resultante da rede de nova geração para atender à demanda planejada para a próxima década.

2.0 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS DO PROJETO DE REDE DE TRANSPORTE E DE DADOS DE UMA EMPRESA DO SETOR ELÉTRICO

As redes SDH foram desenvolvidas no final da década de 1980 e introduzidas ao longo das duas décadas seguintes para facilitar a realização de redes de transporte flexíveis sobre um meio de transmissão de alta capacidade. O meio de transmissão preferencial eram as fibras ópticas monomodo, mas a tecnologia SDH também é aplicável a enlaces de microondas de alta capacidade.

O objetivo básico da rede SDH é o transporte de tributários síncronos baseados na hierarquia de 2 Mbit/s. Entretanto, os desenvolvimentos das redes e serviços baseados em IP na década de 1990 criou a necessidade do transporte de quantidades cada vez maiores de tráfego de interconexão encapsulado em Ethernet. Para facilitar o acesso aos serviços de transporte, era natural que a SDH devesse evoluir para incluir de forma nativa o suporte a tráfego Ethernet e uma maior granularidade para o provisionamento de conexões com a capacidade mais adequada a cada interconexão. Essa evolução levou ao desenvolvimento da NG-SDH, ou SDH de nova geração, com características que tornaram a SDH uma solução adequada para o transporte de tráfego Ethernet. A NG SDH realiza o encapsulamento de *frames* Ethernet mediante o procedimento GFP (*Generic Framing Procedure*) em conjuntos de tributários TDM da SDH concatenados para constituir uma conexão ponto-a-ponto com a capacidade mais adequada para cada interconexão, desde $n \times VC-12$ (equivalente a $n \times 2,24$ Mbit/s) até $n \times VC-4$ (equivalente a $n \times 150$ Mbit/s). O procedimento de LCAS (*Link Capacity Aggregation Scheme*) da NG-SDH permite uma mudança da capacidade provisionada para as conexões sem a interrupção do tráfego, e enseja o aproveitamento (quando o sistema encontra-se normal, isto é, sem estado de falha) da capacidade ociosa existente em conexões pré-configuradas para a proteção das conexões principais.

Entretanto, a granularidade da SDH revelou-se excessiva para o tráfego presente no *backbone* de alta capacidade, onde o interesse de tráfego entre pontos atendidos cresceu de forma acentuada durante a década de 1990. Criaram-se então, ao final da década de 1990, os padrões para a rede óptica de transporte OTN. A OTN foi originalmente criada para atuar como uma espécie de envoltório digital para o transporte de sinais SDH de alta capacidade (a partir de STM-16, ou 2,5 Gbit/s) sobre enlaces de fibras ópticas de longa distância.

2.1 Vantagens da OTN

As OTNs apresentam algumas características importantes para seu uso em *backbones* de longa distância. Em primeiro lugar, constituem uma rede plesiócrona, isto é, seus elementos de rede não requerem ser sincronizados, embora permitam a passagem de sinais síncronos sem afetar seus relógios. Em segundo lugar, permitem o uso direto de técnicas de DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*), pois contêm todas as funções de OAM (*Operation, Administration and Maintenance*) necessárias à operação de tais redes, inclusive definindo um canal óptico de supervisão (OSC, *Optical Supervisory Channel*) para acompanhar um grupo de canais entre elementos de rede DWDM. Em terceiro lugar, permitem a utilização de redes ópticas passivas existentes ou novas planejadas com balanços de dispersão e de potência exequíveis para a transmissão de sinais DWDM de velocidades binárias muito altas. Para esta última função, as OTNs permitem implementar métodos de correção de erros mediante

redundância digital e FEC (*Forward Error Correction*), que permite o correto funcionamento da transmissão em condições de relação sinal a ruído piores (altas velocidades binárias apresentam menor potência efetiva para cada pulso do sinal, e sistemas DWDM estão sujeitos a limitações da potência total transmitida e a efeitos de distorções lineares e não-lineares no caminho de transmissão).

Essas características fizeram com que a OTN se tornasse o padrão de preferência para utilização em redes ópticas com enlaces longos, com DWDM e velocidades binárias altas. Entretanto, os sinais transportados nas redes OTN continuavam a ser sinais SDH durante a maior parte da década de 2000. As OTNs não possuíam granularidade baixa, isto é, adequação ao transporte direto de tributários de menor capacidade, para atender diretamente aos clientes de interconexão, e estes, portanto, continuavam a utilizar a SDH (agora também sobre a OTN) para suas necessidades de interconexão.

Durante a década passada, o uso intenso do vídeo e o aumento expressivo do tráfego IP aumentou a demanda por conexões que transportassem tráfego Ethernet de alta capacidade entre localidades distantes. A SDH, embora com o advento da NG-SDH suportasse Ethernet em modo nativo e permitisse flexibilidade na capacidade das conexões, tornou-se desnecessariamente complexa quando o caso era transportar tráfego Ethernet de velocidade binária muito alta (conexões a partir de Gigabit Ethernet). A solução encontrada foi criar novos padrões para que as novas redes OTN oferecessem esse transporte sem a necessidade de passar pela SDH. Ao longo da década de 2000, e particularmente a partir de 2009, com o novo ciclo de atualizações da OTN, esta rede agora oferece a possibilidade de operar com Ethernet (e outras interfaces de pacotes, tais como *Fiber Channel*) em modo nativo, e oferece conexões desde ODU-0, com capacidade de 1,25 Gbit/s (capaz de transportar sinais Gigabit Ethernet de forma transparente). Alguns fabricantes oferecem inclusive uma granularidade ainda maior embutida nos elementos de rede OTN e criam um formato de tributário baixo da OTN, uma espécie de ODU muito pequena ainda não padronizada, capaz de transportar um VC-4 (150 Mbit/s) sem recorrer à SDH.

2.2 Suporte ao tráfego TDM e manutenção de uma rede SDH

Naturalmente, as OTNs não constituem uma solução global para todas as necessidades de transporte. Embora sejam extremamente adequadas para transportar sinais Ethernet a partir de GE (Gigabit Ethernet) e sinais SDH a partir de STM-16, não podem transportar diretamente tráfego legado de velocidades menores. Para tanto, é necessário recorrer a uma de duas modalidades de transporte:

- a. Uso da SDH para ocupar parte da banda da rede OTN;
- b. Uso de dispositivos de rede Ethernet ou IP (PTN, *Packet Transport Network*) que possuam a função de emulação de circuitos (*Circuit Emulation*) e permitam transportar tributários síncronos mapeados sobre Ethernet diretamente ou sobre IP e Ethernet.

Qualquer uma das duas opções soluciona o problema do transporte de sinais E1 ou tributários do SDH (contêineres virtuais VC-12, VC-3 e VC-4). Entretanto, a emulação de circuitos ainda não está amplamente difundida em dispositivos de pacotes. Quando existe uma quantidade importante de tráfego síncrono legado, é justificável a utilização de redes SDH superpostas às redes OTN.

Outro fator que favorece a manutenção das redes SDH superpostas à OTN, particularmente no ambiente de empresas elétricas, é o fato de que uma tecnologia adicional oferece uma redundância em termos de equipamentos e tecnologias para o transporte de sinais críticos, tais como sinais de proteção e controle do sistema eletroenergético. Tais sinais podem ser mapeados em conexões alternativas nos equipamentos Ethernet e SDH. Neste caso, os sinais isócronos são mapeados nos dispositivos de rede Ethernet mediante emulação de circuitos; e o tráfego de pacotes Ethernet é mapeado na SDH usando as funções NG-SDH.

2.3 WAN colapsada

A disponibilidade de alta capacidade em todos os pontos da rede, como já se comentou, é necessária para suportar a migração dos serviços a IP. O tráfego de vídeo, principalmente, consome muita banda. Não se trata apenas das comunicações pessoais (com videochamadas) e videoconferências. Nas empresas elétricas, o videomonitoramento, tradicionalmente utilizado para segurança patrimonial, passa a constituir uma ferramenta imprescindível para a operação remota do sistema, ao permitir a inspeção visual dos dispositivos de controle do sistema (tais como chaves seccionadoras) e confirmar visualmente seu estado após uma atuação.

Nos sistemas de videomonitoramento, a segurança impõe a gravação distribuída e redundante das imagens. Não é suficiente o armazenamento local. A estratégia adequada emprega gravadores de vídeo distribuídos na rede (NVR, *Network Video Recorders*). A visualização das imagens em tempo diferido requer o acesso aos NVRs distribuídos, enquanto que a visualização em tempo real requer acesso às câmaras e conversores que fornecem imagens móveis, muitas vezes em alta definição, em formato IP. Todo este tráfego de vídeo soma-se ao tráfego IP das demais aplicações operativas e corporativas, inclusive comunicações pessoais e videoconferências.

Em um sistema de transporte de dados com alta disponibilidade, a simplicidade e a robustez da arquitetura são essenciais. Para reduzir a complexidade do sistema, e ao mesmo tempo aumentar sua confiabilidade e sua

segurança, simplificar a operação e melhorar a QoS (qualidade de serviço), é possível mudar a arquitetura tradicional da WAN, deixando de empregar um grande número de roteadores remotos e criar, em seu lugar, redes LAN virtuais *network-wide* para o suporte aos novos serviços.

Tais LANs colapsadas empregam o conceito de *Ethernet bridging*, que constitui o fundamento do conjunto de serviços definidos como de *Carrier Ethernet*.

A idéia por trás dessa arquitetura é a de confinar a maior parte do tráfego em LANs distribuídas, o que permite um acesso direto dos clientes aos servidores remotos sem utilizar funções de roteamento. No núcleo da rede, os roteadores de *core*, em configuração redundante, cuidam da interconexão entre terminais localizados em LANs diferentes. Embora os *switches* principais dos *sites* possam ser dotados de funções de camada 2 e de camada 3, é conveniente restringir suas funções a funções de camada 2, deixando a camada 3 para ser tratada nos roteadores de núcleo.

Por exemplo, no caso de videomonitoramento, as imagens poderão ser armazenadas em NVRs locais e em NVRs remotos localizados em outros sites que pertençam à mesma LAN virtual. Neste caso, o tráfego de imagens armazenadas não precisará ser roteado, e será apenas comutado em nível 2. A mesma observação aplica-se aos demais tráfegos previstos em toda a rede.

Por segurança, cada *site* deve estar conectado a um barramento distribuído *Carrier Ethernet* que termina em dois locais onde existem roteadores de *core*. Também os próprios roteadores de *core* devem constituir-se em pares redundantes para aumentar sua disponibilidade. Desta maneira, eliminam-se pontos únicos de falha e imprime-se à rede uma pilha de camadas de segurança:

- a. Segurança da transmissão (comutação de proteção na camada física, óptica ou de rádio);
- b. Segurança de transporte (configuração de trajetos alternativos com compartilhamento de tráfego e/ou comutação automática do trajeto) – aplicável tanto ao transporte SDH quanto ao transporte *Carrier Ethernet*, que hoje já possui OAM e pode implementar APS (comutação automática de proteção);
- c. Segurança de serviço (presença de roteadores alternativos em redundância geográfica em cada LAN distribuída;
- d. Segurança de roteamento em nível 2 e em nível 3 (mecanismos de reconfiguração rápida de rotas tanto na camada Ethernet quanto na camada IP).

3.0 - PROJETO DA REDE DE TRANSPORTE

Com base nas considerações feitas no item anterior, o projeto da evolução da rede de transporte envolve as escolhas descritas a seguir.

A escolha do padrão para o sistema de transmissão óptico de alta capacidade na rede OPGW recai sobre o padrão OTN. O primeiro nível hierárquico da OTN constitui-se de trajetos ópticos OTN-1 (a 2,6 Gbit/s), contendo um tributário ODU-1 ou dois tributários ODU-0 (ou 16 tributários ODU-xx de 155 Mbit/s, possibilidade cuja padronização está prevista para o futuro e que alguns fabricantes já oferecem em forma proprietária). A grande vantagem dos trajetos de OTN-1 é que podem ser transmitidos em canais ópticos sem maiores cuidados com o balanço de potência e de dispersão cromática, além de serem pouco afetados pela PMD (dispersão de modo de polarização). Entretanto, a capacidade das portadoras ópticas limitada a 2,5 Gbit/s úteis faz pressupor que seria necessário exercer um critério restritivo no planejamento do tráfego para evitar que as aplicações ficassem limitadas pela rede de transporte. Além disso, é provável que em algum momento no horizonte próximo fosse necessário adotar técnicas de DWDM para aumentar a capacidade do sistema e assim atender a demanda crescente de banda. Uma limitação da solução baseada em trajetos OTN-1 seria que, devido à necessidade de conhecer e planejar com muito cuidado as interconexões do sistema, as interconexões de tráfego IP ficariam condicionadas pelas considerações de engenharia e teriam uma flexibilidade algo limitada caso a expansão do tráfego IP seja tão intensa como se pode antever hoje.

O segundo nível hierárquico da OTN constitui-se de trajetos ópticos OTN-2 (em princípio, a 10,4 Gbit/s), contendo um tributário ODU-2 que pode conter, por sua vez, até 4 tributários ODU-1 ou até 8 tributários ODU-0 (ou ainda até 64 tributários ODU-xx de 155 Mbit/s, caso o fabricante escolhido incorpore esta opção). A desvantagem dessa velocidade binária elevada é que exige considerações especiais no projeto óptico e tem restrições quanto à distância máxima dos mesmos sem técnicas sofisticadas e caras de amplificação e até mesmo de regeneração do sinal. É preciso estudar com cuidado as implicações da adoção desse nível de sinal na rede *backbone* da CHESF e comparar os custos dessa solução com a solução de quatro portadoras do nível OTN-1 em DWDM. Tudo indica, entretanto, que a adoção do nível OTN-2 será preferível nos troncos principais da rede.

A principal vantagem da adoção do nível OTN-2 é que permitirá o transporte do tráfego TDM legado (inclusive sua eventual expansão) em tributários SDH, os quais serão mapeados em ODU-1 ou ODU-0. Esta opção deixará livres outras ODU-0 ou ODU-1 para serem ocupadas pelo tráfego Ethernet encapsulado diretamente. O tráfego Ethernet

será transportado pelos serviços de *Carrier Ethernet* a qualquer outro ponto do *backbone*. Apenas nos casos em que a previsão de tráfego não permita vislumbrar a necessidade do transporte de sinais SDH de 2,5 Gbit/s acompanhados de sinais Ethernet de 1,25 Gbit/s e nos casos em que os limites impostos pelo balanço de potência, de distorção e de PMD torna inviável a transmissão de 10 Gbit/s sem amplificadores ou regeneradores intermediários é que deverá considerar-se a possibilidade de usar em certas seções do *backbone* portadoras em nível OTN-1, isoladas ou em conjunto mediante o emprego de DWDM.

Para a camada de configuração de trajetos TDM, é possível contar com os elementos de rede SDH que realizam trajetos a partir de 2 Mbit/s. Esses elementos devem ser NG-SDH para poder configurar trajetos que transportem tráfego Ethernet com velocidades múltiplas de VC-xx mediante concatenação virtual (com suporte a VCAT e LCAS). Dessa maneira será possível atender o mundo legado e realizar trajetos de baixa velocidade e atender de forma eficiente os pontos de baixa demanda de tráfego.

Uma visão esquemática da solução proposta pode ser vista na Figura 1.

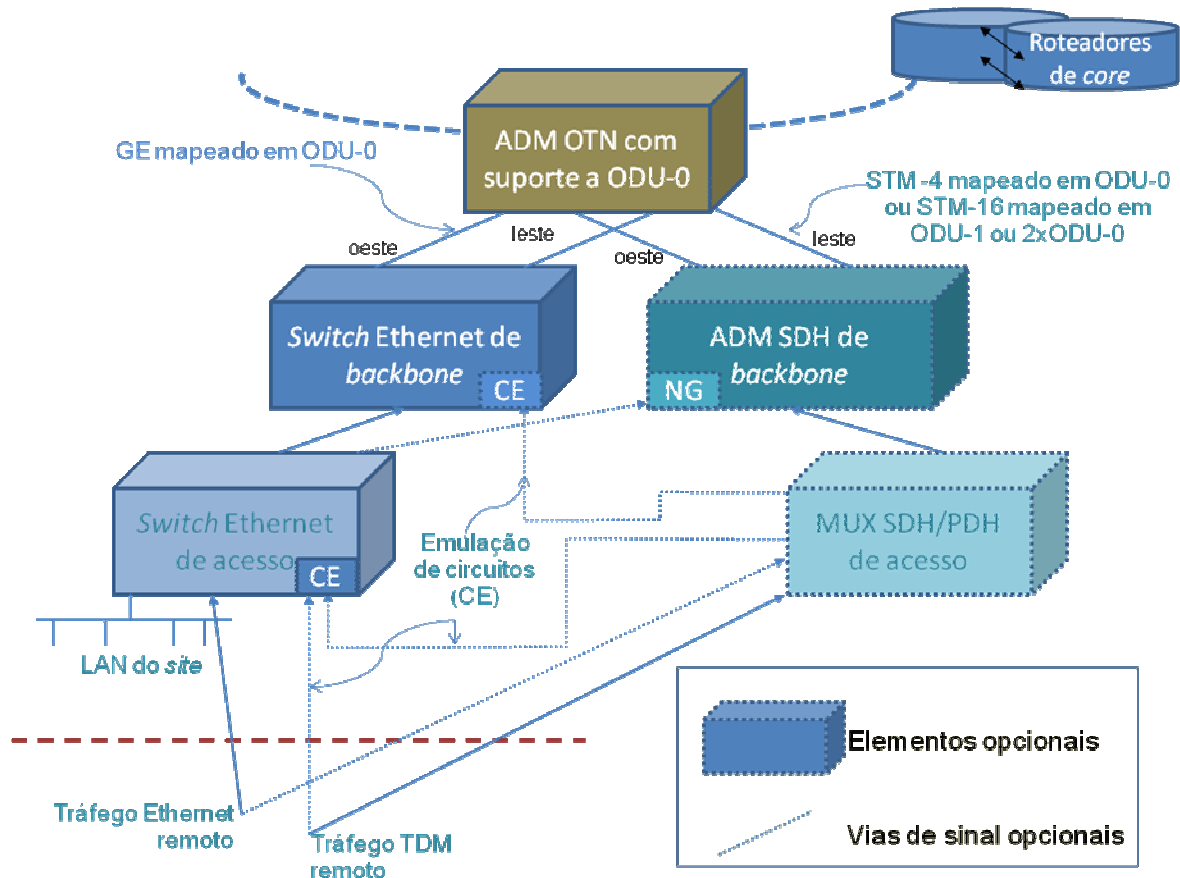


FIGURA 1 – Arquitetura recomendada para a rede de transporte.

3.1 Serviços Carrier Ethernet

A partir do desenvolvimento das redes *switched Ethernet*, incorporando os conceitos de *Ethernet bridging* que englobam a operação de redes *switched Ethernet* privativas virtuais mediante a constituição de VLANs, iniciou-se um movimento no sentido da expansão dos limites de aplicação da tecnologia *Ethernet*.

As redes assim expandidas passaram a denominar-se redes *Metro Ethernet* (MEN). Dada a importância atribuída a tal concepção, o IEEE, o IETF e o ITU-T passaram a emitir padrões especificamente a ela voltados.

Como coroamento dessa nova percepção das redes *Ethernet*, foi criado, em 2001, o *Metro Ethernet Forum* (MEF). O MEF, constituído por fabricantes de sistemas, operadoras de serviços e demais entidades interessadas, objetiva alavancar e direcionar o processo de introdução das redes *Metro Ethernet*. O MEF vem emitindo padrões (*technical specifications*) designados, por exemplo, por MEF 1, MEF 2 e assim sucessivamente, tendo emitido, por último, em 2009, o padrão MEF 22.

Mais recentemente, em face da constatação do fato de que a expansão das redes *switched Ethernet* pode alcançar o ambiente de longa distância (das WANs), passou-se a utilizar a expressão *Carrier Ethernet* em substituição a

Metro Ethernet. O fórum manteve a denominação *Metro Ethernet Forum*, mas a denominação *Carrier Ethernet* é atualmente a utilizada.

A concepção inicial das redes *switched Ethernet*, se bem que atendesse ao ambiente corporativo, mostrou-se insuficientemente apropriada para a concepção *Carrier Ethernet*. O foco principal da emissão de novos padrões pelo MEF e órgãos de padronização é o de definir especificações *carrier class* para as redes *Carrier Ethernet*, nos mais diversos aspectos. Ressaltam-se as questões voltadas para a qualidade operacional das redes (resiliência, atendimento a tráfego isócrono, etc.) e para OAM (*Operations and Management*).

Os quadros MAC providos das redes dos usuários são conduzidos pelo serviço de transporte no *backbone* de forma tal que essa rede passa a se envolver com o processamento da camada MAC desses quadros. Esse envolvimento engloba, inclusive, a participação da rede *Carrier Ethernet* nas VLANs constituídas pelos usuários.

Os serviços de transporte definidos para *Carrier Ethernet* baseiam-se em um modelo em camadas. A camada mais baixa chama-se *TRAN Layer* (camada de serviços de transporte), e está encarregada do transporte das PDUs de serviço Ethernet. Pode estar formada por redes baseadas nos padrões IEEE 802.1, SDH ou MPLS, por exemplo; podem também estar baseadas em uma rede de transporte formada por comutadores de camada 2.

A camada intermediária é a camada de serviços Ethernet, denominada *ETH Layer*. Esta camada é responsável pela conectividade dos serviços MAC e pela transmissão dos quadros MAC desses serviços, bem como por todos os aspectos referentes aos fluxos, quadros de dados e OAM&P (operação, administração, manutenção e provisionamento).

Finalmente, acima dessas duas camadas encontra-se a camada de serviços de aplicação, denominada *APP Layer*.

No projeto da rede de transporte de empresas de energia elétrica, a rede *backbone* provê os serviços de conectividade Ethernet aos usuários, constituídos dos *switches* de acesso e respectivos serviços ingressados nos mesmos. Os serviços de conectividade baseiam-se no conceito de EVCs (*Ethernet Virtual Connection*). As EVCs conectam e associam dois ou mais pontos de acesso ao serviço. As EVCs podem ser de três tipos: ponto-a-ponto, ponto-a-multiponto e multiponto-com-raiz. Várias EVCs podem ser juntadas ou multiplexadas em cada ponto de acesso. Os serviços utilizam para sua constituição EVCs que, de acordo com o serviço, são de qualquer um dos três tipos. Os serviços também podem ser de três tipos: *E-Line*, *E-LAN* e *E-Tree*. Segundo o caso, configuram-se esses serviços para cada grupo de usuários ou de serviços usuários. Os três tipos de serviços estão previstos para serem suportados pelas redes *backbone* propostas.

Um detalhamento maior dos serviços *Carrier Ethernet*, de suas aplicações, arquitetura e operação fogem ao escopo deste trabalho. Na bibliografia sugerem-se leituras complementares que podem ajudar a precisar melhor o tema.

É importante ressaltar que a rede *Carrier Ethernet* proposta será suportada em toda sua funcionalidade pelos *switches* Ethernet associados ao *backbone* baseado em OTN ou até mesmo SDH, onde a OTN (ou a SDH) proverão a conectividade entre os *switches* de *backbone* os quais, por sua vez, proverão os serviços.

3.2 Arquitetura da rede

A rede proposta está constituída por *switches* de *backbone* interligados mediante enlaces GE transportados pela OTN (mapeados em ODU-0) ou pela SDH (em contêineres virtuais VC-4 concatenados para prover uma capacidade de VC-4 até VC-4-4c, segundo o tráfego previsto). Os *switches* são interconectados em uma configuração de barramento de acesso distribuído, barramento este que estará terminado em dois roteadores de *core*, roteadores esses que também têm a capacidade de comutar em nível 2 para o caso de ter que ampliar a VLAN além do âmbito de cada barramento em particular. (Um dos roteadores será o principal, e o outro servirá de *backup* para o caso de falha do principal; ambos estarão constantemente sincronizados.)

A estratégia utilizada será realizar VLANs com QoS assegurada (garantia de banda e prioridade de passagem segundo necessite cada serviço associado à VLAN) e procurar confinar e isolar o tráfego de cada serviço na respectiva VLAN. Por exemplo, no caso de videomonitoramento a idéia seria dispor os NVRs utilizados por cada *site* não apenas na mesma VLAN, mas também no próprio barramento de transporte que atende a esse *site*. Essa configuração permite tanto que os servidores comuns estejam localizados nos pontos de confluência dos barramentos quanto nos demais *sites* que pertencem ao mesmo barramento onde também se encontram seus clientes.

Para completar a segurança e a conectividade da rede, os roteadores de *core* deverão estar conectados entre si mediante serviços *Carrier Ethernet* também, em configuração de anel ou de malha. Também poderá haver encaminhamento das VLANs que suportam os serviços mais críticos a localidades com roteadores de *core* alternativos.

4.0 - CONCLUSÃO

Neste trabalho descreveu-se a estratégia de projeto de uma rede de transporte moderna, adequada às exigências do tráfego intenso de dados, voz, comunicações pessoais e imagens móveis das empresas de energia elétrica de grande porte. Abordou-se a tecnologia OTN, escolhida como preferencial para o *backbone* óptico, complementada pela NG-SDH. Foi detalhada a estratégia de suporte aos serviços definidos pelo MEF (*Metro Ethernet Forum*) como *Carrier Ethernet*, suportado por switches de camada 2 ao longo dos anéis e barramentos constituídos pela OTN e pela NG-SDH. Foram também apresentados o conceito e as vantagens de projetar uma rede WAN plana com garantia de banda e qualidade de serviço (QoS), onde os servidores e clientes estão primordialmente localizados na mesma LAN distribuída, o que evita ter que planejar e operar uma rede complexa e hierarquizada de roteadores. Finalmente, foi discutida a estratégia de segurança, confiabilidade e resiliência dos serviços mediante a disponibilização de possibilidades múltiplas de encaminhamento de tráfego nos vários níveis da rede.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Ethernet e Carrier Ethernet, Antonio José F. Enne e Cristiano Henrique Ferraz, livro a ser publicado brevemente;
- (2) Padrões do IEEE da série 802.1 e 802.3 (lista completa disponível com os autores);
- (3) Padrões do ITU-T G.709 e demais padrões referentes à OTN (versão 2009), à SDH de nova geração (NG-SDH) e ao suporte à Ethernet nessas redes (lista completa disponível com os autores);
- (4) Padrões IEC TC 57 (lista completa disponível com os autores);
- (5) Padrões do MEF referentes a Carrier Ethernet (lista completa disponível com os autores);
- (6) TCP/IP sobre MPLS, Antonio José F. Enne, Ciência Moderna, 2008;
- (7) *White papers* e *datasheets* de fabricantes referentes à OTN e *switches* L2/L3 (NSN, Siemens, ALU, Ciena, HuaWei, Ericsson, Tellabs, ECI e outros)
- (8) ODU0 and ODUFlex – a Future-Proof Solution for OTN Client Mapping, white paper da empresa Tpack;

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Cristiano Ferraz, Engenheiro de Telecomunicações, formado pela Universidade Federal Fluminense (UFF) em 1978. Consultor do ITU-T e de empresas públicas e privadas em tecnologia de telecomunicações. Trabalhou na Wandel & Goltermann GmbH & Co. (Suíça), Acterna e JDSU. Atua como docente no MBA de TV Digital e Convergência da UFF e de Telecomunicações no Instituto IDD. Atualmente faz parte do quadro de consultores da Netcon Ltda.

Eduardo Langrafe, Engenheiro de Computação, formado pela Universidade paulista em 1999. Trabalhou no dimensionamento e desenvolvimento de negócios referentes à redes ópticas submarinas na NEC Corp (Tóquio) e no desenvolvimento de soluções de redes de dados e voz, incluindo dimensionamento, implementação e suporte à operação de redes em ambientes corporativos e empresas e operadoras de telecomunicações. Atualmente faz parte do quadro de consultores da Netcon Ltda.

Eduardo V Lopes, Engenheiro Eletrônico, formado pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) em 1979. Obteve título de MSc em Digital Signal Processing pelo Imperial College of Science, Technology and Medicine da University of London em 1994. Durante sua vida profissional trabalhou na Siemens S.A., Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Themag Engenharia Ltda. e CHESF. Desde 1999 é Diretor da NETCON Ltda., onde desenvolve atividades de consultoria na área de telecomunicações.