Tecnologia RPR: SDH e suas contribuições

Jader Pires da Silva,

Prof. MSc. Bruno de Oliveira Monteiro

*Abstract*— This paper proposes a bibliographical study of the performance of NG-SDH networks in the mapping of Ethernet traffic with RPR. A thorough review of NG-SDH technology and its protocols (GFP, VCAT and LCAS), as well as Ethernet and SDH technologies will be provided. As the RPR technology is used to improve data handling SDH rings and form of encapsulation. The dissertation is organized into three chapters which are made a presentation and discussion on SDH technology, which is now commonly used in the transmission of high speed existing in Brazil and presented NG-SDH technology, describing the protocols that are part of this new generation SDH networks and their characteristics.

Modelo

**Keyword: GFP (Generic Frame Procedure), NG-SDH SDH, Ethernet), LCAS (Link Capacity Adjustment Scheme), VCAT (Virtual Concatenation).**

*Resumo*— Neste trabalho é proposto um estudo bibliográfico do desempenho das redes NG-SDH no mapeamento de tráfego *Ethernet com RPR*. Uma revisão completa da tecnologia NG-SDH e de seus protocolos (GFP, VCat e LCAS), bem como, das tecnologias *Ethernet* e SDH será fornecida. Como a tecnologia RPR é utilizada para melhorar a manipulação dos dados nos anéis SDH e sua forma de encapsulamento.A dissertação está organizada em três capítulos onde são feitos uma apresentação e discussão sobre a tecnologia SDH, que hoje é usualmente utilizada na rede de transporte de alta velocidade existente no Brasil e apresentada a tecnologia NG-SDH, descrevendo os protocolos que fazem parte desta nova geração de redes SDH e suas características.

**Palavra Chave: GFP (*Generic Frame Procedure*), NG-SDH SDH, Ethernet), LCAS (*Link Capacity Adjustment Scheme*), VCat (Concatenação Virtual).**

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia SDH (Syncronous Digital Hierarchy) centra-se na camada física (definida pelo modelo OSI) servindo de suporte ao envio de informação através do meio físico. O meio físico escolhido para as redes SDH é composto por fibras ópticas, formando uma arquitectura de área metropolitana em anel. A tecnologia SDH surgiu para substituir a tecnologia PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) com o intuito de garantir o envio de grandes quantidades de tráfego de voz e permitindo ainda a interoperabilidade entre equipamentos de diferentes fornecedores. 6

Analogamente à tecnologia SDH desenvolvida na Europa surgiu também a tecnologia SONET que usa os mesmos conceitos de rede na América. A norma que define o SDH foi desenvolvida pelo International Telecommunication Union (ITU), G.707 [13] e mais tarde a extensão G.708.

A camada SDH fornece ligações de comutações de circuito extremo-a-extremo sendo capaz de multiplexar quer ligações de baixo débito (ex.: 155Mbit/s) como também de alto débito (ex.: 10Gbit/s, 40 Gbit/s). A tecnologia SDH possui um mecanismo de ponteiros muito eficiente que auxilia todo o sincronismo existente entre os diferentes nós da rede reduzindo também a necessidade de recurso a buferização exaustiva no desenvolvimento dos equipamentos. Permite também extrair fluxos de ritmos mais baixos a partir de fluxos de ritmos mais elevados.

As redes SDH garantem uma disponibilidade entre os 99,99% e 99,999% o que equivale a uma indisponibilidade de uma hora por ano. 6

A informação em SDH é estruturada por tramas, que podem conter outros blocos de informação dentro (contentores virtuais). A estrutura de uma trama STM-1 é composta por 270 linhas e 9 colunas. Possui um overhead de 9 bytes e um payload de 261 bytes por linha. Cada trama STM-1 tem um tempo de propagação de 125μs, logo o débito é de 270x9x8/125 = 155,52Mbit/s. No caso de uma trama STM-4 termos uma trama com 270x4 = 1080 linhas e 9 colunas em que o tempo de propagação é também de 125μs o que resulta num débito de 622,08Mbit/s. 9

1. HISTÓRICO DA SDH

Na última década, o tráfego de dados experimentou um crescimento vertiginoso, principalmente devido a popularização da Internet. Tecnologias como ADSL (*Asymmetric* *Digital Subscriber Line*) e ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) emergiram nas redes de acesso e de *backbone* das operadoras, respectivamente. Estas tecnologias foram tipicamente transportadas sobre as redes síncronas já existentes, tal como as redes SDH. Por outro lado, as redes locais *Ethernet*, que há bastante tempo já estavam difundidas nas LANs, apareceram como uma importante opção nas redes metropolitanas de comutação de pacotes, principalmente com o advento do *Gigabit Ethernet*. De fato, existem, atualmente, mais de 300 milhões de placas *Ethernet* no mundo, sendo que a maioria, transporta tráfego IP (*Internet Protocol*) sobre *Ethernet*. Para transportar eficientemente o tráfego *Ethernet*, as redes SDH sofreram uma evolução, que culminou com o surgimento das redes NG-SDH. A seguir apresentam-se as tecnologias que fazem parte deste trabalho, introduzindo-se os aspectos motivadores para o seu desenvolvimento.

O desempenho do transporte de tráfego *Ethernet* sobre NG-SDH tem sido alvo constante de estudos, tanto pela comunidade acadêmica, quanto pela indústria. 5

O SDH *Virtual Concatenation Technique Used in Ethernet Data Transport*, publicado por Guowei Shi, Qing Wang, Zhao Liu e Lieguang Zeng. Mostra a eficiência de mapeamento do quadro Ethernet sobre o SDH quando o mesmo é mapeado utilizando a técnica de Concatenação Virtual. Utilizando esta técnica é possível se melhorar a eficiência de uso da largura de banda disponível.

O *Data Transport Applications Using* GFP, publicado por Mike Scholten, Zhenyu Zhu, Enrique Hernandez-Valencia e John Hawkins. Nesse artigo tem-se a apresentação de um padrão genérico de encapsulamento, o GFP (*Generic* *Framing Procedure*), mostrando o mecanismo utilizado pelo protocolo GFP para encapsular os dados.

O *Generic Framing Procedure* (GFP): *The Catalyst for Efficient Data Over Transport*, publicado por Paul Bonenfant e Antônio Rodriguez. Mostra ofuncionamento das tecnologias GFP, VCat e LCAS, apresentando a união das tecnologias como sendo um grande estimulante para o transporte de dados sobreSDH.

O *Transparent Generic Framing Procedure* (GFP): *A Protocol for Efficient Transport of Block-Coded Data through SONET/SDH Networks*, publicadopor Steven S. Gorshe e Trevor Wilson. Apresenta o GFP-T (modo transparente)como sendo uma extensão do GFP, porém desenvolvido para prover uma baixalatência para aplicações de alta velocidade. Nesse artigo são descritas asconsiderações técnicas e aplicações para o GFP-T. 6

A topologia em anel é muito utilizada em redes metropolitanas (*Metropolitan Area Networks* - MANs). Exemplo disso são as redes SONET/SDH (*Synchronous Optical Networks*), que trabalham com circuitos dedicados garantindo largura de banda, atraso evariação de atraso, além de recuperação rápida (< 50 ms) e transparente em caso defalhas. Pórem são muito robustos e não escaláveis.

As redes Ethernet são escaláveis e flexíveis. Entretanto, não permitem a recuperação automática do enlace (por exigirem reconstrução da árvore do algoritmo *Spanning Tree*) e nem laços fechados. Também não permitem um sistema de distribuição justa delargura de banda (*fairness*) e priorização de tráfego, pois não garantem banda, atraso evariação de atraso, tal qual SONET.

O RPR utiliza os benefícios dessas duas tecnologias, é um protocolo de camada “1,5” (nem físico e nem de enlace). Veja figura abaixo:

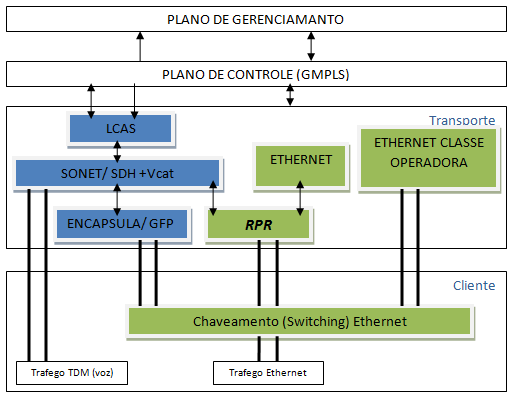


Figura 1. Protocolo RPR.

Os trabalhos para a padronização da Hierarquia Digital Síncrona – SDH tiveram início no XVIII Grupo de Estudos do CCITT (*International Telegrafh and Telefhone Consultative* *Committee)*, atualmente ITU-T *(International Telecommunication Union*), em junho de 1986. Estes estudos tinham por objetivo criar um padrão mundial para os sistemas de transmissão síncrona, que proporcionassem às operadoras uma rede mais flexível e econômica, como solução para as necessidade do mercado com relação a uma rede faixa larga. Outros requisitos eram a disponibilidade de uma gerência tipo TMN (*Telecommunications Management Network*), com arquiteturas de rede diversificada e mista, capacidade de conviver com todos os mais importantes sinais digitais e com os novos que iriam aparecer. 9

Em novembro de 1988, foram aprovados as primeiras recomendações da SDH, que são: G.707, G.708 e G.709. Essas recomendações definem as taxas de transmissão, o formato do sinal, as estruturas de multiplexação e o mapeamento de tributários para a Interface Nó de Rede (NNI – *Network-to- Network Interface*). A NNI forma um conjunto de padronizações necessárias à interligação dos elementos de rede da SDH.

O ITU-T definiu, além das recomendações que controlam a NNI, uma série de recomendações destinadas a sistemas de transmissão digitais SDH.

Segundo Tronco (2006), os atuais sistemas de telecomunicações são construídos de uma combinação composta de diversas tecnologias de rede, aplicações e sistemas de gerência resultando num sistema de alta complexidade. Em decorrência desta diversidade tecnológica, operações como aprovisionamento, supervisão e treinamento tem seu custo consideravelmente elevado. 6

As redes de nova geração trazem consigo o intuito de simplificar este processo através de uma nova arquitetura baseada somente em redes IP e tecnologia óptica.

Visando a preservação dos investimentos esta nova tecnologia também pode se conectar aos sistemas legados.

O conceito de *Next Generation Network* (NGN) traz ao meio das telecomunicações a ideia de convergência das redes para uma plataforma única, onde ocorre uma separação do *hardware* e do *software*.

Tal processo se assemelha ao ocorrido na indústria de computadores pessoais, o usuário pode escolher o *hardware* de um determinado fabricante e o *software* de outro, tecnicamente o sistema deve trabalhar em harmonia e a redução de custos aliado a grande variedade de aplicativos, são as vantagens obtidas. 13

De volta ao ambiente de telecom isto significa uma arquitetura capaz de agregar diversos fabricantes e disponibilizar os mais variados tipos de serviços aos seus clientes.

O primeiro passo para a instalação de uma plataforma NGN é a implantação da infraestrutura de redes, que pode ser dividida em várias etapas: implantação da rede de núcleo (*backbone*), da rede metropolitana e da rede de acesso. 16

A Figura abaixo, demonstra as tecnologias mais implementadas, atualmente nessa infraestrutura e como estão distribuídas neste contexto.



Figura 2. Tecnologias mais inovadoras. 3

É a próxima geração da tecnologia SDH que já é utilizada nos backbones para o tráfego da rede de alta velocidade, porém, com protocolos para adaptação de tecnologias cuja estrutura de carga útil seja constante. 5

*A. Características*

A seguir são apresentadas as principais características da SDH, que mostram o grande avanço que esta tecnologia trouxe para as redes de transporte ópticas. Porém, antes de se realizar uma comparação com a PDH, deve-se lembrar de que os problemas que a PDH enfrentava à época de seu desenvolvimento, bem como, a própria filosofia do projeto de redes, foi alterada, privilegiando redes flexíveis e com uma gerência fortemente instalada.

A padronização total também aparece como um dos grandes objetivos da SDH, permitindo um ambiente multifornecedor. Para atingir este objetivo, o ITU-T busca uma padronização completa da SDH, que envolve taxas de *bit*, estrutura de quadro e de multiplexação, interfaces de tributários, interfaces de linha, mecanismos de proteção, funcionalidades dos equipamentos de transmissão e gerência da rede. 10

Outra característica importante, podendo ser considerada um aspecto de padronização, é que na SDH um menor número de equipamentos estarão disponíveis, uma vez que em um único equipamento é possível, por exemplo, ter funções de multiplexação, funções de derivação/inserção e *cross* conexão e funções de terminação de linha óptica.

A estrutura do quadro SDH possui características que facilitam o acesso, derivação e inserção de tributários.

Para a formação do quadro SDH a multiplexação se dá através do entrelaçamento de *bytes* (na PDH é feito á nível de *bit*), facilitando o uso da tecnologia de microprocessadores e a integração das diversas funções dos equipamentos em circuitos integrados dedicados.

O entrelaçamento á nível de *byte* e a duração do quadro SDH, para qualquer nível hierárquico, é fixa em 125 μs, facilitando o acesso a canais de 64 Kbits/s. 14

A localização e acesso aos tributários se dão através do processamento de ponteiros, presentes em todos os quadros SDH, que indicam a posição de início de um tributário dentro do quadro. A facilidade de acesso aos tributários é semelhante em qualquer nível hierárquico, podendo ser controlada, inclusive, através de gerência remota.

Na SDH cerca de 5% da capacidade de transporte do quadro é destinada para o transporte de *bytes* que irão auxiliar a gerência da rede. Com o modelamento em camadas, a rede SDH é segmentada em diversas camadas, sendo que cada uma possui seus próprios *bytes* de *overhead*.

Devido à padronização total, equipamentos de vários fabricantes estarão disponíveis, tornando o mercado mais competitivo e os preços mais atraentes.

A SDH foi projetada para que suportasse a transmissão de alguns sinais existentes nas redes de comunicações atuais. Entre eles, podem-se citar alguns sinais que já possuem o mapeamento definido: 2, 34, 140 Mbits/s. DS1/DS2/DS3 (EUA). ATM. 7

Um quadro qualquer dentro do fluxo de *bits* pode ser representado por um mapa bidimensional.

Este mapa possui N linhas e M colunas de caixas. Cada caixa representa um único *byte* dentro do sinal síncrono. Um *byte* de enquadramento aparece no topo esquerdo do mapa. Este *byte* atua como um marcador, permitindo que qualquer *byte* no quadro seja facilmente localizado.

Os *bits* do quadro são transmitidos em sequência, iniciando com a 1a linha da esquerda para a direita. Após a transmissão do último *byte* do quadro (*byte* localizado na linha N / coluna M), a sequência inteira se repete, iniciando com o *byte* de enquadramento do quadro seguinte.

Na SDH é definida uma estrutura básica de transporte de informação denominada Módulo de Transporte Síncrono – 1 / STM-1 (*Synchronous Transport Module* – 1) com taxa de 155,520 Mbits/s.

Esta estrutura define o primeiro nível da hierarquia. As taxas de *bit* dos níveis superiores são múltiplos inteiros do STM-1.

A estrutura básica do quadro do STM-1, representada na Figura III-2, consiste de 9 linhas de 270 colunas de *bytes*, lidos da esquerda para a direita e de cima para baixo. Esse quadro possui as seguintes características: Comprimento total: 2430 *bytes*; Duração: 125μs (freqüência de repetição: 8 kHz); Taxa de *bit*: 155,520 Mbits/s.

Na SDH os quadros se repetem a uma taxa de 8.000 quadros/s. Logo, um *byte* dentro de um quadro, representa uma largura de faixa de 64 Kbits/s, que é a taxa de umcanal de voz PCM (Modulação por Código de Pulso).

A estrutura de quadro do STM-1 possui três áreas principais, que são: SOH *–* O s*ection overhead* está localizado nas linhas 1 a 3 e 5 a 9 das colunas 1 a 9; Ponteiro – O ponteiro está localizado na linha 4 e colunas 1 a 9;*Payload –* Onde será efetivamente carregada a carga útil. Ocupa as linhas 1 a 9 das colunas 10 a 270.

O *Section Overhead* ocupa as primeiras 9 colunas do quadro, num total de 81 *bytes*.

As 261 colunas restantes, num total de 2.349 *bytes*, são alocadas para o *payload*. Isto provê uma capacidade de 150,34 Mbits/s na estrutura do STM-1 para transporte de sinais tributários. 9

*B– Multiplexação na descrição das estruturas de transporte de informação da SDH*

A SDH define estruturas de transportes apropriadas para cada tipo de sinal, assim como outras estruturas que serão responsáveis pelo encaminhamento do sinal pela rede. As estruturas são: C (*Container*)– Os *Containers* são estruturas de informação que alojam os sinais a serem transportados pela SDH. Existe um *Container* apropriado para cada “*payload*” a ser transportado. Os *containers* podem ser divididos em:

*Container* de Ordem Inferior – Para a estrutura de multiplexação que o Brasil adotou existem dois tipos de *containers* de Ordem Inferior. O C-12 projetado para o sinal de 2 Mbits/s e o C-3 para o sinal de 34 Mbits/s.

*Container* de Ordem Superior – Existe apenas o C-4 projetado para o sinal de 140 Mbits/s.

VC (*Virtual Container*)– O VC é uma estrutura de transporte constituída por um campo de carga útil e por um campo de informação de cabeçalho (POH). Os VCs podem ser de dois tipos:

VC de Ordem Inferior – O VC-m (m = 12,3) é formado por um único *container* de Ordem Inferior C-m (m = 12,3), associado a um POH apropriado.

VC de Ordem Superior – O VC-n (n = 4) é formado por um único *container* de Ordem Superior C-4, associado a um POH apropriado.

TU (*Tributary Unit*) – O TU é uma estrutura de transporte constituída por um VC de Ordem Inferior e por um ponteiro de TU, que indica o início do quadro do VC de Ordem Inferior dentro do VC de Ordem Superior. São elas:

TU-12 – Possui 144 *bytes* permitindo a acomodação de quatro quadros de um mesmo tributário de 2,048 Mbits/s, ou seja, quatro conjuntos de 36 *bytes*, o que resulta em uma capacidade de 2,304 Mbits/s para o sinal tributário.

TU-3 – Possui 774 *bytes* para um taxa de 49,54 Mbps. Acomoda sinais de 34 Mbits/s ou sinais DS-3. A capacidade de multiplexagem é de 03 TU-3s em um VC-4. É organizado em uma estrutura de 125 μs.

TUG (*Tributary Unit Group*)– O TUG é composto de um ou mais TUs ocupando posições definidas dentro de um VC de Ordem Superior. Um TUG-2 pode ser formado por 3 TU- 12s. Um TUG-3 pode ser formado por 7 TUG-2s ou por um TU-3.

AU (*Administrative Unit*)*–* É uma estrutura de transporte constituída por um VC de Ordem Superior e por um ponteiro que indica o início do VC dentro da estrutura de transporte superior, o quadro STM-N. O AU-4 consiste de um VC-4 acrescido um ponteiro de AU, que indica a diferença de fase entre o VC-4 e o quadro STM-N.

AUG (*Administrative Units Group*) – É uma estrutura de informação constituída por uma ou mais AUs e constitui o “*payload*” do STM-N. Um AUG pode ser formado por três AU- 3s (não existe esta formação na hierarquia SDH utilizada no Brasil) ou uma AU-4. 16

*C Estrutura de Multiplexação da SDH*

A estrutura foi padronizada pelo ITU-T e foi projetada de forma a ser possível transportar os sinais da hierarquia PDH que possuem maior importância em todo o mundo. 6

Menor número de equipamentos envolvidos; Maior flexibilidade de oferta de taxas; Gerenciamento dinâmico de banda e Convivência com rede atual. 5

# Tecnologia Normalizada – IEEE 802.17

O Resilient Packet Ring-(RPR*)* oferece duas grandes vantagens que antes eram exclusivas do SONET, que são o suporte eficiente à topologia em anel e a recuperação rápida em caso de rompimento físico de fibras óticas ou falhas em links de dados [RESILIENT PACKET RING ALLIANCE]. Além disso, procura efetivar um controle de congestionamento e justiça na utilização da largura de banda. 9

A utilização da topologia em anel nas redes metropolitanas tem larga utilização devido à possibilidade de recuperação à falhas. A topologia em anel é muito utilizada nas redes SONET/SDH, porém possui a desvantagem conhecida de desperdiçar banda em seus canais de largura fixa, ineficiência na utilização de tráfego multicast (já que reserva um canal fixo para cada ponto) e na utilização de um anel duplo para a redundância e recuperação de falhas, desperdiça 50% da banda disponível.

Em um cenário de topologia em anel utilizando a tecnologia Ethernet, comparado ao SONET/SDH, utiliza melhor a largura de banda. Porém é lento na recuperação de falhas, já que utiliza o protocolo *spanning tree* para esta recuperação, comparado a outras técnicas existentes. 12

O RPR, aprovado como Standard (802.17) pelo IEEE em meados de 2004, é um protocolo MAC que opera na camada 2. Preservando a independência das camadas, podem operar sobre o SONET, Ethernet ou DWDM, tecnologias de camada física. O MAC RPR é baseado na arquitetura *Add-Drop Muxes* (ADM), em comparação à arquitetura de comutação do Ethernet.

No RPR os dispositivos programam a noção de “caminho de trânsito”, em que cada nó deixa passar o tráfego não direcionado a ele, não havendo necessidade de recebê-lo, enfileirá-lo e agendar sua transmissão. Basicamente a entidade MAC existente em cada nó executa três funções. “*Add*”, para inserir o tráfego destinado a outro nó, “*Drop*”, para receber e retirar o tráfego assinado ao nó (no caso de uma transmissão *multicast* ele não retira o tráfego do anel) e “*Pass*”, para encaminhar o tráfego em trânsito de um nó para outro. 9

O caminho de trânsito efetivamente se transforma em parte do meio de transmissão e faz com que o anel RPR se comporte como um único e contínuo meio compartilhado por todos os nós do anel, o que facilita a utilização e altas taxas de transmissão. 6

O RPR possui um grau de resiliência natural, por ser um protocolo de pacotes dentro de uma topologia em anel. Mensagens de proteção são trocadas entre estações para informar o estado do anel. Estão definidos mecanismos de redirecionamento e de cobertura. Todas as estações em um anel devem usar o mesmo mecanismo de proteção. 9



Figura 3 – A proteção do RPR 30

O IEEE 802.17 é o padrão que introduz uma nova arquitetura de rede com topologia em anel, denominada RPR (Resilient Packet Ring), destinada a redes metropolitanas e de longa distância. Este artigo apresenta uma visão geral do funcionamento e características desta nova tecnologia, tais como a arquitetura, reuso espacial, descoberta de topologia, resiliência e nível físico utilizado.

São apresentadas as idéias básicas, com vistas a ilustrar o potencial de uso de Gigabit Ethernet (GE) e 10 GE sobre RPR, com ênfase no suporte físico provido por estas duas tecnologias. 11

A topologia em anel é muito utilizada em redes metropolitanas (*Metropolitan Area Networks* - MANs). Exemplo disso são as redes SONET/SDH (*Synchronous Optical Networks*), que trabalham com circuitos dedicados garantindo largura de banda, atraso evariação de atraso, além de recuperação rápida (<50 ms) e transparente em caso de falhas.

Utilizar um anel duplo, onde um deles atua exclusivamente como *backup* do ativo e permanece inativo até uma ocorrência de falha no primário, torna ineficiente o uso da banda [Davik et al. 2004]. Outro exemplo são as MANs Gigabit Ethernet (GE) em anel, que oferecem baixo custo, facilidade de gerenciamento e simplicidade de integração com os equipamentos existentes. Entretanto, não permitem a recuperação automática do enlace (por exigirem reconstrução da árvore do algoritmo *Spanning Tree*) e nem laços fechados. 11

Também não permitem um sistema de distribuição justa de largura de banda (*fairness*) e priorização de tráfego, pois não garantem banda, atraso e variação de atraso, tal qual SONET [Gambiroza et al. 2004].

Neste contexto, foi desenvolvida a tecnologia *Resilient Packet Ring* (RPR) [IEEE 802.17 2004], que busca agregar as melhores características e resolver alguns problemas das redes em anel existentes.

As redes RPR são otimizadas para transmitir pacotes em anel e para otimizar o uso da banda através de reuso espacial. Elas suportam a transmissão de dados em *unicast*, *multicast* e *broadcast* e garantem a banda, atraso e variação de atraso através da definição de classes de dados. Além disso, distribuem justamente a banda não alocada, descobrem automaticamente a topologia e recuperam-se rapidamente em caso de falhas.

Neste artigo, são apresentadas as características do padrão IEEE 802.17 e a viabilidade de utilizar a tecnologia GE para implementação de anéis RPR. A seção 2 apresenta algumas características da arquitetura do padrão. Na seção 3 é descrita subcamada MAC (*Media Access Control*) e na seção 4, a camada física. Finalizando, são apresentadas algumas conclusões com respeito à utilização sobre GE. 16

*A. Características*

Uma importante característica do RPR é o controle de igualdade ou justiça (*fairness*). O protocolo de justiça RPR proporciona uma distribuição justa da largura de banda disponível para todas as estações em um anel, mesmo nos momentos em que o anel possui alto tráfego ou congestionamento [RESILIENT PACKET RING ALLIANCE]. Alguns dos objetivos do protocolo de justiça RPR:

Justiça baseada no peso da fonte transmissora. Em qualquer segmento ligado ao anel, a largura de banda disponível é alocada a cada nó na proporção ao seu peso relativo. Por exemplo, se todos os nós possuem peso similar, a largura de banda disponível será compartilhada de forma similar por todos os nós. Caso um dos nós possua um peso maior, a largura de banda alocada ao nó será proporcional ao peso do nó dividido pela soma dos pesos de todos os nós. 9

Requerimento de largura de banda. O protocolo de justiça deve ser capaz de requerer largura de banda não utilizada que é disponibilizada mas não utilizada.

Tempo de resposta rápida. Pelo fato do tráfego ser muito variável, para possibilitar a máxima utilização da largura de banda e para garantir que o protocolo seja responsável por mudanças instantâneas no tráfego, ele deve responder de forma imediata a estas mudanças.

Utilização de grandes taxas de largura de banda. O protocolo deve ser habilitado a lidar com grandes taxas de largura de banda, mesmo sob cargas próximas a 100% de utilização do anel.

Escalabilidade. O protocolo deve ser escalável e deve ser capaz de atender as taxas de largura de banda e diâmetros do anel previstos no padrão.

Nem os SONET ADM´s nem os *switches* Ethernet têm esta capacidade de gerenciamento de banda, tornando o RPR uma solução excelente para a otimização destes recursos. 6

Encontramos também nesta tecnologia vantagens na utilização do tráfego *multicast* ou *broadcast*. No RPR, em um tráfego *unicast*, o pacote recebido pode ser recebido e retirado do anel ou encaminhado a outro nó. No *broadcast* ou *multicast*, o quadro pode ser recebido e encaminhado a outro nó, possibilitando a utilização de apenas um pacote para vários ou todos os nós da rede.

TABELA I

Principais Características

|  |
| --- |
| Especifica em níveis físicos e MAC para uso em LANs, MANs e WANs. |
| Tira partido da infraestrutura instalada de anéis SONET/SDH, embora possa. ser usada com outras camadas físicas (GbE, 10GbE, WDM). |
| Beneficia dos mecanismos de protecção SONET/SDH (tempos de reconfiguração inferiores a 50 ms). |
| Capacidade do anel partilhada por tráfego dos utilizadores (pacotes). |
| Otimização da largura de banda – remoção pelo destino (*spatial reuse*). |
| *Fairness* (algoritmo distribuído). |
| Diferenciação de níveis de qualidade de serviço (prioridades**).** |
| Gestão dinâmica e distribuída da Largura de Banda (multiplexagem estatística/*oversubscription*). |

## B. Camada Física

Para que o RPR fosse rapidamente desenvolvido e utilizado, não foi criada nenhuma nova tecnologia para a camada física. Para suporte nesta camada, o padrão pode utilizar tanto SONET/SDH como GE e 10 GE, ambos com fibra óptica. Para isto, foram apenas definidas subcamadas de reconciliação, que fazem o mapeamento destas tecnologias da camada física com a de controle de acesso ao meio. 9

Como SONET/SDH são atualmente as tecnologias mais utilizadas nas redes MAN, é possível que a adoção do RPR sobre elas seja mais comum inicialmente, pois não é necessária a substituição da estrutura existente. Porém, deve-se destacar a possibilidade da utilização de RPR sobre as redes nativas GE e 10 GE (que utilizam fibra óptica), baseadas nos padrões 802.3 e 802.3ae. Para isto, são necessárias algumas exceções e mudanças em relação às especificações nativas [IEEE 802.17 2004]: Não podem ser utilizados repetidores; Quadros com tamanho mínimo de 16 e máximo de 9.216 bytes e Controle de fluxo é desabilitado. 9

*C. Arquitetura do RPR*

Veja a arquitetura RPR de acordo com a figura abaixo:

RPR (802.17). Primeiro quadro representa Data Link Layer e o debaixo Physical Layer:

Pode então ser observado que para a geração de proteção e restauração em intervalos inferiores ao milisegundo, a camada MAC é subdividida em três subcamadas:

A subcamada MAC *Client* é responsável por adaptar funções primitivas que possibilitem o interfaceamento entre a camada 3 / IP e a camada MAC *Control*. 7

A subcamada MAC *Control* implementa os protocolos e funcionalidades de controle dedicados a permitir uma divisão da capacidade disponível entre os nós.

A subcamada MAC *Ring Interface* é responsável pelo endereçamento e introdução dos pacotes na camada física.

As redes RPR são constituídas por, no máximo, 255 estações interligadas por dois anéis (*ringlets*) de fibra óptica, sendo que os dados trafegam em direções opostas em cada um. A estação transmissora decide em qual *ringlet* os dados serão transmitidos para o receptor, geralmente utilizando o menor caminho [Spadaro et al. 2004].

Se uma estação não reconhece o endereço de destino de um quadro, então ele é repassados para a estação seguinte, pois o *Time-To-Live* (TTL) limita a circulação de quadros com endereços de destino desconhecidos. 3

No RPR, os métodos de transmissão de quadros suportados são o *cut-through*, no qual eles começam a ser repassados antes de serem completamente recebidos, e o *storeand-* *forward*, que os armazena antes de repassar. Quando uma estação RPR recebe um quadro, ele é removido, diferentemente de outras redes em anel, nas quais seu conteúdo é copiado e ele percorre o anel até retornar à estação de origem. 2

Esta remoção permite que outras estações transmissoras aproveitem a banda que seria ocupada pelo quadro no caminho de volta. Esta característica é conhecida como reuso espacial. A estação 2 transmite para a estação 4 enquanto a estação 6 está transmite para a estação 9. 2

A RPR MAC suporta três classes de serviço:

High (class A): Committed Information Rate (CIR) services. Este serviço suporta garantia de banda e mantém baixo jitter e latência para aplicações de voz vídeo e emulação de circuito (CES);

Médium (class B): CIR services que possuí menor restrição ao jitter e latência. Aplicações de dados podem utilizar esta classe de serviços;

Low (Class C): Tráfego Best- effort. Os nós negociam para receber a banda disponível no anel. Usuários de mercado consumidor e Internet poderiam usar esta classe de tráfego;

Quadros de dados, *fairness*, controle e *idle* são os quatros diferentes tipos de formatos definidos pelo padrão RPR. As seguintes subseções introduzem os importantes campos desses quadros. 5

*D. Quadro de Dados*

Quadro de dados tem dois formatos, o básico e o estendido. O formato de quadro estendido é aplicado nas aplicações de pontes transparentes permitindo fácil processamento egresso e encapsulação ingressa de outros quadros de Controle de Acesso ao Meio (MAC). Usando o formato de quadro estendido também permite anéis RPR eliminar ordenação e duplicação de pacotes de pontes.

O 16º byte do quadro “fairness” prover a anunciada taxa justa e a fonte do quadro “fairness”. A informação é usada no algoritmo “fairness” do RPR.

Um quadro de controle é similar ao quadro de dados, mas é diferenciado por um designado valor do campo “ft” e se o campo de tipo de controle específica o tipo de informação distribuída. Há diferentes tipos de quadros de controle no RPR, por exemplo, proteção de informação e topologia, e OAM. 6

Quadros “idles” são utilizados na ordem para compensar a taxa de más combinações entre as estações vizinhas.6

Tráfego de Dados e Controle

As redes RPR são constituídas por, no máximo, 255 estações interligadas por dois anéis (*ringlets*) de fibra óptica;

A estação transmissora decide em qual *ringlet* os dados serão transmitidos para o receptor (geralmente utiliza o menor caminho);

Se uma estação não reconhece o endereço de destino de um quadro, então ele é repassado para a estação seguinte; Quando uma estação RPR recebe um quadro, ele é removido, diferentemente de outras redes em anel, nas quais seu conteúdo é copiado e ele percorre o anel até retornar à estação de origem. (Reuso Espacial). 6

Exemplo de como é feito o reuso espacial do Anel RPR:



Figura 5. Reuso espacial em anéis. 6

Através dessa figura podemos ter uma noção de como é feito o reuso espacial nas redes utilizando RPR. Em outras redes em anel, o quadro só é descartado quando chega a sua fonte de origem. Isso implica em dizer que os outros nós não podem mandar quadros na rede, dessa forma consumindo mais banda. Em redes utilizando RPR o quadro que chega no seu destino, é descartado e os outros nós podem transmitir quadros no anel.

A figura acima mostra como ocorre o reuso espacial em redes RPR. O nó 2 transmiti seu quadro para o nó 4 e ao mesmo tempo o nó 5 transmite a informação para o nó 9 sem haver colisões. 6

*E. Reconfiguração*

A resiliência do RPR está baseada no mecanismo de proteção que, segundo o padrão, é rápido, robusto, flexível e eficiente. O anel duplo provê um caminho alternativo no caso de colapso de um enlace ou de uma estação, e os métodos de resposta a falhas incluem *steering* e *wrapping.* 5

Os quadros que o RPR transmite em modo *strict* devem chegar na mesma ordem em que foram enviados. Para manter a entrega ordenada após uma falha, todas as estações devem parar de transmitir pacotes e descartar os que estejam em trânsito, até que a nova imagem da topologia estabilize e esteja consistente novamente.

O tempo entre a detecção da falha e a estabilização é chamado tempo de restauração do anel ou tempo

de convergência do algoritmo. Antes deste tempo, que o RPR estabelece como sendo inferior a 50 ms1, a estação não pode fazer *steering* de novos quadros**.**

O *steering* é obrigatório, e no caso de falhas, redireciona o tráfego protegido pelo laço ainda conectado ao destino. O *steering* pode ser utilizado para otimizar o ringlet a longo prazo.

O *wrapping* é opcional, e redireciona o tráfego protegido pelo *ringlet* oposto em caso de falhas, fechando o laço no ponto de ruptura. O *wrapping* pode ser usado como uma medida imediata, para minimizar a perda de pacotes.

No RPR o nó S cria um único pacote e o envia através do anel, todo nó ao qual o pacote é destinado recebe e passa adiante.

A descoberta de topologia determina a conectividade e o ordenamento das estações emtorno do anel [Davik et al. 2004]. De acordo com o padrão [IEEE 802.17 2004], a descobertaocorre na inicialização, quando entra uma nova estação no anel, periodicamentee quando é detectada uma falha em um enlace (ou estação).

O protocolo de descobertarecolhe informações sobre as estações e as armazena na base de dados de cada estação. 5

Quando o sistema inicializa, cada estação envia um quadro de controle, a mensagem de descoberta de topologia, que contém inicialmente só o seu próprio estado. Estas mensagens são enviadas por todo o anel em ambos os *ringlets*, com um TTL inicial de 255, que é decrementado antes de serem repassadas nas demais estações.

Quando uma nova estação é inserida, ou quando uma detecta falha no enlace, ou quando ela recebe uma mensagem de topologia inconsistente com sua imagem, ela imediatamente envia uma mensagem de descoberta. 6

A base de dados inclui a ordem das estações e o estado da proteção, isto é, enlaces conectados e seu estado: *fail*, *degrade* ou *idle*.

A estabilização da informação de topologia ocorre quando a imagem não muda dentro de um certo intervalo de tempo. Mesmo estáveis e consistentes, as estações de tempos em tempos transmitem mensagens de descoberta de topologia, provendo robustez à operação do anel. A base de dados tem outros dois usos: o MAC a usa para encontrar o caminho mais curto quando um cliente envia um quadro sem especificar o *ringlet* a ser usado, e também para calcular o *Frame* *Round Trip Time* (FRTT) no modo conservativo do algoritmo *fairness*.

O mecanismo de descoberta de topologia e o de proteção compartilham recursos de controle de mensagens.

*F. Mecanismo de Proteção*

A resiliência do RPR está baseada no mecanismo de proteção que, segundo o padrão, é rápido, robusto, flexível e eficiente. O anel duplo provê um caminho alternativo no caso de colapso de um enlace ou de uma estação, e os métodos de resposta a falhas incluem *steering*, *wrapping* e *passthrough*. O *steering* é obrigatório, e no caso de falhas, redireciona o tráfego protegido pelo laço ainda conectado ao destino. 14

O *wrapping* é opcional, e redireciona o tráfego protegido pelo *ringlet* oposto em caso de falhas, fechando o laço no ponto de ruptura. O *passthrough* é opcional e torna uma estação que tenha se auto-detectado internamente falha num repetidor transparente, isto é, numa simples fila FIFO. O *wrapping* pode ser usado como uma medida imediata, para minimizar a perda de pacotes, enquanto que o *steering* pode ser usado para otimizar o *ringlet* a longo prazo.

Quadros não marcado elegível para *wrapping* são sempre descartados num *wrap point*.

Os quadros que o RPR transmite em modo *strict* devem chegar na mesma ordem em que foram enviados. Para manter a entrega ordenada após uma falha, todas as estações devem parar de transmitir pacotes e descartar os que estejam em trânsito, até que a nova imagem da topologia estabilize e esteja consistente novamente. O tempo entre a detecção da falha e a estabilização é chamado tempo de restauração do anel ou tempo de convergênciado algoritmo. Antes deste tempo, que o RPR estabelece como sendo inferior a 50 ms1, a estação não pode fazer *steering* de novos quadros. Para minimizar o descarte de pacotes, é definido um modo opcional de transmissão de pacotes, o relaxado. Neste modo, pacotes que chegam fora de ordem são tolerados, podem ser enviados logo após uma falha e antes da consistência e não são descartados das filas de transmissão. 12

# NG-SDH

A NG-SDH utiliza novos protocolos como GFP (Generic FramingProcedure – Procedimento Genérico de Enquadramento), VCat (Virtual Concatenation – Concatenação Virtual) e o LCAS (Link Capacity   
Adjustment Scheme – Esquema de Ajuste de Capacidade do Enlace) . 6

O GFP (Generic Framing Procedure)é um mecanismo “genérico” desenvolvido especialmente para adaptar de forma eficiente diversos tipos de serviços em um canal de transmissão bit-síncrono ou octeto síncrono (SDH, OTN). Trata=se de uma tecnologia padronizada na recomendação G.7041 do ITU-T. 9

Como ele é possível adaptar tráfego de camadas 1 (Fiber Channer, GE) e 2 (PPP/IP/MPLS, Ethernet, RPR). Possui um algoritmo simples e estável, com correção de cabeçalho. Compatível com qualquer serviço de   
nível superior e com qualquer tecnologia de rede. 6

De fácil expansão (eficiente desde 10M até 10G e já está aprovado para 40G). Não requer novos equipamentos no backbone (somente nas pontas). 9

O VCat (Virtual Concatenation)é a Concatenação Virtual que está padronizada pela ITU-T G.707 para containers SDH e pela ANSI T.105 para containers SONET;   
 A concatenação virtual define um processo de multiplexação invertida, onde a banda contígua é quebrada em VCs individuais de baixa ordem ou de alta ordem. 10

A concatenação virtual de VCs consiste em agrupar a capacidade de transmissão de diversos VCs de um determinado tipo, para se obter um canal de maior capacidade. Assim por exemplo, dois VC-s, sendo   
representada por VC-3-2v, onde cada um com capacidade de 48.383Kbit/s, podem ser concatenados, resultado num canal com capacidade de 96.763 Kbit/s.   
 Oferece a granularidade do VC-n; Pode-se concaternar VCs de Baixa Ordem (64x) e Alta Ordem (256x). 10

*A. LCAS (Link Capacity Adjustment Scheme)*

Padronizado pela ITU-T G.7042. É uma forma de se ajustar a capacidade / largura de banda dinamicamente e sem interromper o serviço. Extensão para “Virtual Concatenation”, transmitido pelos bytes H4 e K4 (POH). Transparente no “Core” da rede. 9

Protocolo LCAS atua nos NE das pontas (edge NEs) em uma forma de “handshaking” ponta-a-ponta e em tempo real.

É possível concluir que o protocolo LCAS quando ativado, garante uma proteção de via do sinal, se este estiver dividido em caminhos distintos. O aumento ou diminuição de um VC do VCG (Grupo de Virtual Containers) não interfere no serviço, nem ocorre perda de quadros. Ou seja, não há necessidade de parar o serviço para efetuar a alteração na largura de banda do cliente, demonstrando a eficiência do protocolo LCAS. 9

# Conclusões

O protocolo RPR (Resilient Packet Ring – Anel de Pacotes Resilientes) foi desenvolvido no intuito de melhorar o desempenho e a recuperação no caso de queda dos enlaces nos anéis ópticos das redes metropolitanas. Sua adoção ainda não é muito grande devido ao custo dos switches e roteadores implementando esse protocolo.

A grande vantagem é poder ser utilizado com a camada física SONET/SDH e a ETHERNET sem qualquer alteração adicional, ambas muito utilizadas em redes metropolitanas.

Apesar dos fortes avanços da tecnologia IP sobre as redes de transporte das operadoras incumbents, os sistemas legados de comunicação ainda estão fortemente presentes nas topologias das redes, e os serviços TDM são freqüentemente fornecidos com SLAs (Service Level Agreements) que exigem o uso de filosofias de proteção em anel para recuperação do tráfego em tempos menores que 50 milesegundos. Já para o tráfego de dados puro, redes Metro Ethernet têm sido implantadas, mas ainda podem trazer latências para recuperar o tráfego perdido superiores aos 50ms requeridos, o que pode causar transtornos às operadoras.

No caso das redes SDH, o baixíssimo tempo de recuperação do tráfego oferece uma segurança que poucas operadoras no mundo estariam dispostas a abrir mão. Por outro lado, com ao advento do tráfego IP, passaram a ser consideradas “gastadoras” de banda uma vez que mantêm metade da banda em espera (standby line) até que haja uma falha, e essa banda seja utilizada durante uma operação de proteção (ring protection). Adicionalmente, com a evolução dos serviços demandados e o uso cada vez maior do protocolo IP na rede de transporte, a falta de multiplexação estatística das redes SDH tradicionais tornou-se um problema para as operadoras que passaram a demandar um tratamento diferenciado do tráfego de dados.

Com o uso do RPR, as redes SDH passam a ter uma dinâmica muito mais eficaz, na medida em que o planejador pode separar uma parte importante da banda disponível e tratá-la como uma rede de dados pura, com proteção RPR, e destinar o restante da disponibilidade para o tráfego TDM, utilizando a proteção SDH, ambas com latência menor que 50 milissegundos na recuperação do tráfego em caso de falha.

A principal justificativa para o aumento do interesse pela tecnologia RPR é que esta pode ser a melhor maneira de ter os anéis metropolitanos em um ambiente multiserviços. Melhor do que o SDH como um mero transporte de tráfego Ethernet, ou mesmo do que uma rede Metro Ethernet como transporte puramente de dados.  
 De fato, as redes RPR sobre SDH combinam a segurança e a disponibilidade das redes SDH com a simplicidade e a capacidade de tratar o tráfego IP multiserviços com alta eficiência e um patamar importante de garantia de QoS. Isso resulta em enorme redução de capex e opex das operadoras, e ainda oferece oportunidades de melhorias das receitas do ponto de vista de serviços. A inserção do RPR na rede SDH-NG abre, ainda, oportunidades de oferta de novos serviços, e implementações de serviços Ethernet em Gigabit e 10-Gigabit. Assim, podemos concluir que essas novas redes dão às operadoras uma base sólida para migrar para os novos serviços de dados, enquanto continuam aptas a oferecer e atender clientes que demandam serviços TDM.

As redes RPR sobre SDH despertam o interesse de operadoras por sua capacidade de maximizar o uso da banda total (somada entre todos os elementos de um anel) através do re-uso espacial (spacial reuse) e da multiplexação estatística. Ganhos do re-uso espacial, que incluem o uso da capacidade de proteção, dependem do padrão de tráfego, mas poderiam chegar a algo em torno de até 8 vezes mais do que uma rede SDH tradicional com tráfego distribuído.

Isso quer dizer que um anel RPR (porção da rede RPRoSDH dedicada ao tráfego de dados) poderá utilizar ao redor de 95% de sua capacidade de tráfego, mantendo todos os SLAs, e suportando todas as combinações de Committed Information Rate (CIR) e tráfego best effort. Adicione-se a essa capacidade do anel RPR a segurança do anel SDH, as ferramentas de gerenciamento do compartilhamento de tráfego TDM e IP, e um sistema de provisionamento descentralizado e automático, e será fácil de entender as grandes vantagens que essas redes trazem para as operadoras.

Em suma, RPR sobre SDH é uma tecnologia de transporte muito versátil que vem reforçar e prover a qualidade requerida para os novos serviços baseados em IP, mantendo as vantagens ainda necessárias das redes tradicionais TDM. Trata-se de uma solução poderosa e eficaz no desenvolvimento das redes metropolitanas de nova geração.

Referências

1. BASTOS FILHO, C. J. A. Amplificadores ópticos para sistemas de comunicação multicanais de alta capacidade. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco, 2005.
2. BOAVIDA, J. M. B. de M., Modelação e caracterização de um diodo laser de retroação distribuída (DFB). Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica). Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa,2009.
3. MONTEIRO. B.O, Estudo e análise experimental do mapeamento de Tráfego Ethernet sobre SDH. 2006. Disponível em: <http://www.ulbra.inf.br/joomla/images/documentos/TCCs/2011_01/PROJETO_RC_TiagoBilhalva.pdf>. Acesso em 10 jan. 2012
4. CAMPOS, A.L.G. Fibra óptica uma realidade reconhecida e aprovada. Disponível em: <http://www.rnp.br/newsgen/0203/fibras_opticas.html>. Acesso em: 16 jan.2012.
5. CASTELLANI, C. E. S.; CANI, S. P. N.; PONTES, M. J.; SEGATTO, M. E. V.An álise de desempenho de sistemas ópticos com amplificador de Raman. Disponível em: <http://recitec.cefetes.br/artigo/documentos/>. Acesso em 10 jan. 2012.
6. Corrigent Systems: IEEE 802.17 – Resilient Packet Rings - Part 2 of 4 - The PHY, Protection and Transit Paths. Spadaro, S., Sole-Pareta, J., Careglio, D., and Szymanski, K. W. A. (2004). Positioning of the RPR standard in contemporary operator environments. *IEEE Network*, 18(2):35– 40.
7. Davik, F., Yilmaz, M., Gjessing, S., and Uzun, N. (2004). IEEE 802.17 Resilient Packet Ring Tutorial. *IEEE Communications Magazine*, 42(3):112–118.
8. Fibras Ópticas. Disponível em: <http://penta.ufrgs.br/redes.94-2/nunes/fibras.html>. Acesso em 20 abr. 2012.
9. Fibra óptica. Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Fibra\_%C3%B3ptica. Acesso em 23 mar.2011.
10. Gambiroza, V., Yuan, P., and Knightly, E. (2004). IEEE 802.17 Media Access Protocolfor High-Speed Metropolitan-Area Resilient Packet Rings.IEEE 802.17 (2004). IEEE Std 802.17 – 2004, IEEE Standard for Information technology- Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 17: Resilient packet ring (RPR) access method and physical layer specifications. O’Connor, M. and Bruckman, L. (2002).
11. GIOZZA, W.F.; CONFORTI, E.; WALDMAN, H. Fibras ópticas: tecnologia e projeto de sistemas. São Paulo: Makron Books, 1991.
12. KEISER, G., Optical fiber communications. 3rd. Ed. New York: McGraw-Hill, 2000.
13. NIPPON ELECTRIC CORPORATION. Laser diode. Disponível em: <http://category.alldatasheet.com/index.jsp?ssearchword=laser%20diode>. Acesso em: 10 jan. 2011.
14. PEREIRA, A.L.C. Amplificador Óptico e Semicondutor. São Paulo, Instituto Nacional de Telecomunicações.2011.
15. RIBEIRO, J. A. J. Comunicações ópticas. São Paulo: Érica, 2003.
16. Sistemas de Comunicação. Disponível em: [http://professores.unisanta.br/isfarias/Materia/Sistemas%20de%20Comunicacao%2I/fibra%20optica.pdf](http://professores.unisanta.br/isfarias/Materia/Sistemas%20de%20Comunicacao%252I/fibra%20optica.pdf). Acesso em 17 jul. 2012..
17. Vantagens da Fibra Óptica. Disponível em: http://www.brasilescola.com/fisica/fibra-optica.htm. Acesso em 18 jul.20112.

**Jader Pires da Silva** nasceu em Osasco, SP, em 22 de junho de 1981. Possui os títulos: Técnico em Eletrônica com ênfase em Telecomunicações (Colégio Chip, 2000), Analista de Sistemas (Uniban, 2008).

Atuando desde 2002 com gerenciamento de projetos de telecomunicações, em Instituição de prestação de serviços Internet, TV á cabo e Telefonia.

**Bruno de Oliveira Monteiro** Possui graduação em Elétrica modalidade eletrônica pela Fundação Instituto Nacional de Telecomunicações (2000) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Fundação Instituto Nacional de Telecomunicações (2006).

Atualmente atua como coordenador do Nesp – Núcleo de Estágio e Serviços Profissionais do Inatel - Instituto Nacional de Telecomunicações, conselheiro do CREA-MG representando o Inatel e coordenador da Fetin – Feira tecnológica do Inatel. , atuando principalmente nos seguintes temas: exposição, projetos, inovação, tecnológicos e NG-SDH.