

# IP/WDM – A União de Tecnologias Robustas na Era da Convergência

S. M. Rezende†, R. C. Betini†, N. K. Camiña‡

†Computer Science Department, PUC PR, Rua Imaculada Conceição, 1155, Curitiba - Brasil  
[betini@ppgia.pucpr.br](mailto:betini@ppgia.pucpr.br),

‡Electrical Engineering Department, PUC PR, Rua Imaculada Conceição, 1155, Curitiba - Brasil  
[nelcy@ppgia.pucpr.br](mailto:nelcy@ppgia.pucpr.br)

## Abstract

The following discussion provides some background on why wavelength division multiplexing (WDM) is an important innovation in optical networks and what benefits it can provide. We begin with a high-level view of the segments of the network and forces that are driving the revolution in fiber optical networks. We then examine the differences between traditional network technologies and the evolution need to employ the Internet Protocol (IP) over WDM.

## 1. Introdução

Promessas para um futuro não muito distantes são muitas: transmissões de arquivos multimídia, videoconferência, telemedicina, aprendizado a distância, alta disponibilidade para e-business, etc.; provocando uma necessidade, cada vez mais crítica por largura de banda no backbone de rede.

Rever a infra-estrutura de rede, de forma a capacitá-la com maior largura de banda para atender um amplo conjunto de serviços, onde se incluem aplicações mais robustas com tempo de tráfego reduzido é a premissa básica para atender este ciclo de demanda e preparar-se para o próximo.

O modelo atual de rede é composto por quatro camadas: IP, ATM, SDH e DWDM. Esta arquitetura possui uma série de superposições funcionais entre suas camadas, emprega funcionalidades obsoletas, além de comprometer a velocidade e escalabilidade da rede. Estas características tornam ineficiente a arquitetura atual de redes ópticas para atender às demandas do novo século.

Com a Internet, o comportamento do usuário deixou de ser passivo, uma vez oferecida uma nova possibilidade de serviço, com certeza o usuário vai querer utilizá-la, caracterizando o crescimento da demanda causada pela invasão do IP nas arquiteturas de Internet da rede pública e o aumento do acesso ocasionado pelos impulsos dos sistemas de redes ópticas WDM, do centro para o fio da rede pública.

As recentes demandas por capacidade de transmissão têm impulsionado o emprego do sistema de transmissão com multiplexação em comprimento de onda (WDM), estendendo-se o uso do WDM às redes de acesso.

A tecnologia WDM se propõe a atender esta demanda por largura de banda, e nossa proposta,

neste artigo, coloca em evidência a necessidade de eliminar a sobreposição de protocolos de transporte e aplicação, nas camadas superiores, analisando o emprego de uma arquitetura de rede baseada apenas no Protocolo Internet (IP) sobre WDM, de forma a implementar uma rede limpa, onde possam ser atendidos os requisitos dos atuais e futuros serviços.

A integração entre as tecnologias IP e WDM permitiria distribuir uma rede integrada de gerenciamento através da rede IP e das camadas da rede óptica.

A adequação do core é fundamental, e deve ser baseada em estratégias otimizadas para dados, flexibilidade e uma camada de rede que possa distribuir, a um custo eficiente, serviços IP.

Para aplicar esta arquitetura, a visão IP de redes ópticas precisa estar intrinsecamente baseada em transporte de serviços de dados.

## 2. Evolução dos Sistemas de Rede

Até o momento, WDM vem sendo empregada em comunicações ponto-a-ponto, utilizando SONET/SDH como interface com protocolos de camadas superiores, como por exemplo ATM. Pesquisas têm sido realizadas com propósito de eliminar estas camadas e executar IP diretamente sobre WDM.

Esta combinação (IP/WDM) procura aliar a habilidade do IP às características de banda oferecidas por WDM, gerando um backbone de rede que possa atender um amplo conjunto de serviços, com requisitos diferenciados.

Favorável a implementação IP/WDM, podemos observar a migração de ATM para a tecnologia Ethernet, justificada pelos custos, banda disponível, facilidades de LANs virtuais, transparência entre a conexão desktop ao backbone e servidores corporativos, disponibilidade de interfaces, QoS, balanceamento de carga para gerenciar a rede e priorizar aplicações mais críticas. A possibilidade de utilizar QoS, um ponto a favor do Gigabit Ethernet, anteriormente disponível para sistemas ATM, hierarquizando as aplicações críticas e garantindo a implementação de voz, favorece esta migração.

Várias implementações deverão ser propostas para viabilizar IP/WDM, modificação de cabeçalho do IP [2], roteamento acoplado ao caminho de luz com rigorosa interconexão com roteamento IP e protocolos de gerenciamento de recursos, arquiteturas

de redes de acesso escalonáveis baseadas em roteamento de slot fotônico [3], etc.

O protocolo IP, é largamente utilizado por usuários finais, e não necessita de desenvolvimento de novos serviços baseados em IP. Para se ter uma idéia do avanço da tecnologia IP, analisemos o caso do Gigabit Ethernet, que firma-se como padrão, viabilizando sua evolução, o padrão emergente **10 Gigabit Ethernet**, compatível com toda família Ethernet, com previsão de reconhecimento pelo IEEE (The Institute of Electrical and Eletronics Engineers) até final de 2001. O 10 Gigabit Ethernet, baseado no formato IEEE 802.3, com comutação de pacotes, sem multiplexadores e compatível com equipamentos Ethernet instalados, opera em topologia em estrela, utilizando enlaces ponto-a-ponto e arquitetura de cabeamento estruturado, atingindo distância, desde 100 metros (fibra instalada), 300 metros sobre fibra multimodo, chegando a 40 quilômetros com fibra monomodo; podendo interligar-se a tecnologias complementares para fornecer integração de redes corporativas em Gigabit para estações distantes fisicamente; sendo o DWDM (Dense Wavelengt Division Multiplexing) a rede de suporte, resultando numa rede totalmente redundante no core.

O custo do ATM, não só em redes de alta velocidade, como nas corporativas, se deve à alta complexidade da tecnologia ATM, que trabalha com pacotes com tamanhos de dados fixos, permitindo ao gerenciador da rede a capacidade de prever com exatidão o tempo de tráfego – uma forma de garantir a qualidade de aplicações críticas como multimídia, principalmente em relação às aplicações de voz onde a ocorrência de atraso compromete a qualidade do serviço.

A migração de ATM para a tecnologia Ethernet, é justificada pelos custos, banda disponível, facilidades de LANs virtuais, transparência entre a conexão desktop ao backbone e servidores corporativos, disponibilidade de interfaces, QoS, balanceamento de carga para gerenciar a rede e priorizar aplicações mais críticas. A possibilidade de utilizar QoS, um ponto a favor do Gigabit Ethernet, anteriormente disponível para sistemas ATM, hierarquizando as aplicações críticas e garantindo a implementação de voz, favorece esta migração.

Em torno da demanda de mercado por tecnologias de transmissão, três delas vem se destacando: transmissão óptica, circuitos integrados de alta velocidade e microprocessadores. Estas tecnologias causaram grande impacto na concepção e utilização dos padrões SDH e ATM.

O desafio das arquiteturas de sistemas de rede têm sido criar estruturas de sinalização e princípios de rede que incrementem a performance atual e futura. Em alguns casos, a eficiência tem sido sacrificada para manter a simplicidade e uma estrutura de multiplexação escalonável.

Sistemas de transmissão mais antigos, relativamente estáticos, eram monitorados e controlados, tanto quanto possível, por sistemas de gerenciamento centralizados.

Os padrões de tráfego têm se tornado imprevisíveis, exigindo throughput dinâmico das infra-estruturas de conectividade, onde latência (baixo delay, quando o dado é introduzindo na rede e quando ele é exibido/disponível), se as redes introduzirem erros nos dados, estes são detectados e o dado deverá ser retransmitido, sob estes aspectos de tráfego imprevisível, torna-se necessário assumir que a demanda da rede será bidirecional e simétrica.

Acesso a bases de dados de áudio e vídeo traz os requisitos de tempo real para o ambiente de rede. O tráfego é um grande bloco de dados que precisa ser liberado para o usuário, de forma contínua, uma vez iniciada.

Temos um mix de rajadas de dados, alguns com requisitos de baixo delay e outros sem, além de requisitos de mídia contínuos, onde largura de banda e baixo delay são essenciais.

### 3. Principais Paradigmas de Rede

**3.1 Redes de circuitos:** a tecnologia de circuito é utilizada em redes de telecomunicação. Circuitos são conexões entre *endpoints* de comunicação e fornece ao usuário acesso aos recursos de rede pela duração de uma conexão. Algumas conexões são contínuas, sendo chamadas **conexões permanentes**. Outras são momentâneas ou **conexões comutadas**. Conexões permanentes são fornecidas por um circuito de transmissão dedicado e são gerenciadas através de facilidades de transporte ao invés de facilidades de comutação. Uma utilização comum de circuitos permanentes é para circuitos utilizados por empresas para interconectar seus recursos computacionais locais através de áreas dispersas. A Internet faz uso de circuitos permanentes adquirido junto a operadores de telecomunicação para interconectar seus comutadores (switches). Circuitos comutados são estabelecidos sob demanda, com base na solicitação do usuário final, sendo fornecidos através de comutadores de serviços, de acordo com a malha de rede existente; sendo a conexão estabelecida com base nos recursos disponíveis de acordo com a política de roteamento. Até pouco tempo, um circuito de telefonia era apenas um par de fios, dedicado ou conectado através de um comutador (switch). Com o advento de tecnologias digitais e TDM (Multiplexação por Divisão de Tempo), muitos circuitos passaram a compartilhar um meio de transmissão, mas ainda assim, eles continuaram sendo um recurso dedicado, uma *fatia de tempo* (time slot), uma vez que um circuito permanece sempre conectado, mesmo sem a existência de nenhum fluxo de dado trafegando por ele, além de que, caso o circuito não esteja sendo utilizado pelo usuário, nenhum outro usuário poderia utilizá-lo.

SONET e SDH são redes de circuitos, e são administrados como *circuitos permanentes de rede*. Com o advento de ATM como solução de rede que poderia suportar os mesmos tipos de aplicações, com taxa de bit flexível, além de poder suportar tráfego de pacotes, SONET e SDH foram relegados a transporte, ao invés de uma infra-estrutura de comutação de serviço.

**3.2 Redes de pacotes:** surgiram com o mundo dos computadores e utilizam tecnologias computacionais para seus computadores. Rede de pacotes contam com uma rede de circuitos para transmissão e os pacotes fornecem um meio de compartilhar a largura de banda do circuito. Colocando de outra forma, um pacote é um bloco de informação com alguma sobrecarga (overhead) de informação anexada. A sobrecarga da informação (overhead) é chamada cabeçalho (header), com o propósito de distinguir um pacote do outro, de forma que eles possam ser distribuídos para o destino correto. Outra função importante incluída no cabeçalho é um mecanismo para verificação de erros. O cabeçalho precisa ter proteção de erro, de tal forma que erros não gerem pacotes errados. O conteúdo da informação precisa ser verificado em relação a ocorrência de erro, de forma que os computadores possam ter certeza que a informação seja transmitida livre de erro. Em um evento onde erros são introduzidos na informação, o pacote pode ser retransmitido. Existem dois tipos de redes de pacotes: orientadas a conexão e não orientadas à conexão. Redes de pacotes orientadas à conexão operam de forma análoga ao serviço postal, seus pacotes são chamados de *datagramas*. Redes não orientadas à conexão oferecem um efeito melhor para distribuir pacotes. Pacotes não orientados à conexão são colocados na rede, com informações o suficiente no cabeçalho, para serem distribuídos, seja qual for o destinatário. Naturalmente, em redes de pacotes não orientadas à conexão, não é possível garantir a entrega do pacote, fazendo com que estas redes não suportem conexões de tempo real ou garantam performance ou reserva de recursos para qualquer comunicação em particular. Os computadores na rede não têm estado em relação a conexão (stateless), portanto tratam qualquer tipo de pacote. Quando os computadores se tornam sobrecarregados, os pacotes são armazenados/retidos (buffered) para posterior distribuição. Se a capacidade de retenção é excedida, os pacotes são descartados. Em redes não orientadas à conexão, não existe nenhuma garantia que todos pacotes vão trafegar pelo mesmo percurso de rede, portanto estão sujeitos a atrasos. A Internet é um exemplo de rede de pacotes não orientada à conexão, por que ela é baseada no Protocolo Internet (IP), que é um protocolo não orientado à conexão. Pacotes IP

têm um endereço de origem e destino em seus cabeçalhos, capacitando a distribuir informação para qualquer um na Internet ao redor do mundo. Redes orientadas à conexão tem similaridades com redes de circuitos, elas são como redes de circuitos nas quais uma conexão, chamada *circuito virtual*, precisa ser estabelecida antes do dado poder ser transportado. Nós de redes estão preparados para suportar circuitos virtuais, reservando recursos para eles. Estes recursos incluem memória e largura de banda no link. Diferente das redes de circuitos, quando pacotes não são submetidos para a rede para algum circuito virtual, o recurso pode ser dedicado para outro circuito virtual. Isto é chamado *multiplexação estatística*. Suposições são feitas a respeito do tráfego provável para ser compartilhado por todas origens, a rede pode sobrecarregar se todas origens começarem a enviar pacotes em suas taxas máximas. Ocasionalmente acúmulo de tráfego é esperado, sendo mantido em memória, para reter pacotes, até ser possível transmiti-los. A rede armazena o estado de todas conexões ativas. Quando todos recursos estão comprometidos, a rede pode negar uma solicitação para estabelecer nova conexão de circuito virtual. Cabeçalhos de pacotes de redes orientadas à conexão podem ser mais curtos que os de redes não orientadas à conexão, porque a porção de endereçamento do cabeçalho é necessária somente para distinguir cada circuito virtual estabelecido sobre um link comum e portas de comutação.

**3.3 Redes de células:** também chamadas de redes de pacotes rápidos, foram projetadas para suportar tanto seqüências de dados contínuas como tráfego de rajadas de pacotes. Redes de células é um tipo especial de redes de pacotes orientadas à conexão, trabalham com um protocolo tão simples que pode ser colocado no hardware, para permitir operações muito mais rápidas. O ATM é um protocolo de rede baseado em células . Suas células são pequenas e de tamanho fixo. Existe um processo de configuração de conexão antes do tráfego poder ser enviado, bem como parte deste processo pode ser uma negociação de recursos, que no caso do ATM é link e largura de banda da porta do comutador. Dependendo de como o processo de conexão é gerenciado pela operadora de rede, recursos podem ser alocados, para garantir que todos circuitos estabelecidos possam continuamente transmitir em suas taxas máximas permitidas. Neste caso, um circuito que não está sujeito às regras rígidas de taxas de bit da hierarquia TDM. Também podem ser administradas como redes que permitem multiplexação estatística, onde diferentes conexões competem por um compartilhamento de largura de banda disponível. Existe uma quantidade de classes de serviços suportadas que poderiam permitir tanto circuitos de alta

prioridade, com pacotes com ou sem tolerância de atraso coexistirem. ATM não está vinculado a qualquer meio físico de transmissão, embora tenha sido projetado com a suposição de taxas de erro muito baixas proporcionadas por fibras óticas.

#### 4. Sistemas Ópticos

Durante o desenvolvimento de comunicações de ondas de luz com fibras, desde meados da década de 70, a principal ênfase para pesquisas tem sido dispositivos com a tecnologia de ondas de luz. Fibra é um dos mais previsíveis e estáveis canais de comunicações desenvolvido. Em sistemas de ondas de luz, subsistemas de modulação e demodulação são tipicamente projetados e fabricados com baixas probabilidades de taxas de erro.

No século 21, sistemas de ondas de luz vão ser mais que links ponto-a-ponto com um ambiente altamente controlado e previsível. A utilização de EDFAs (Erbium Doped Fiber Amplifiers), com largura de banda da ordem de 20nm [1] reduz a necessidade por freqüentes regeneradores, o emprego de WDM (Wavelength Division Multiplexing) aumenta a capacidade de uma única fibra, a utilização de roteamento óptico e comutação introduz uma nova forma de construir redes ópticas e interconectar muitos tipo de redes (ópticas e não ópticas) em uma rede global, resultando um mix de redes de diferentes características e gerações, interagindo por meio de uma arquitetura aberta.

Dois parâmetros têm influenciado como novas redes de telecomunicação são construídas:

1. o custo de instalação de novas fibras ópticas é tão alto que qualquer outro método para capacitar expansão é preferido; e
2. a necessidade por capacidade de redes tem continuamente excedido a capacidade das redes atuais, pois a geração de dados e informação não pára.

Estes fatos explicam porquê WDM se torna uma alternativa para aumentar a capacidade de uma fibra óptica que já está disponível. Para realizar este incremento, dois componentes são necessários: um combinador óptico para colocar múltiplos sinais de diferentes ondas de luz em uma mesma fibra e um filtro óptico para separar os sinais.

Para um sistema WDM, a vantagem reside na sua flexibilidade para crescimento incremental e na utilização da tecnologia EDFA, a qual permite, simultaneamente, amplificar múltiplos comprimentos de onda sobre uma ampla janela e transmitir este sinal óptico multiplexado para longas distâncias, sem a necessidade de regeneração eletrônica, significando economia em equipamentos regeneradores, tempo de manutenção e operação em plantas externas, que favorece a escolha desta tecnologia.

#### 5. Integração de IP/WDM

Para alcançar uma arquitetura baseada em IP/WDM é necessário uma migração suave em relação ao cenário atual,

Os investimentos realizados em transporte de voz e outras mídias continuam empregando tecnologias como Frame Relay e ATM; tornando necessário que esta concepção (IP/WDM) suporte ou coexista na mesma fibra com outros protocolos de rede.

Atualmente a maioria das arquiteturas IP de longa distância são baseadas em SONET/SDH, encapsulando pacotes IP (ou células ATM transportando pacotes IP) em quadros SONET/SDH. Esta superposição de protocolos implica na redução da eficiência além de aumentar custos de gerenciamento e manutenção.

Uma arquitetura baseada em IP pode reduzir o número de camadas intermediárias, conforme proposto [8] IP/MPLS (Multiprotocol Label Switching) está se tornando uma forma de converter comutadores ATM em roteadores IP e encaminhar pacotes (em formato de células) utilizando *switch fabric*. Ainda que roteadores IP precisem de adequações para tratar diretamente com multiplexadores WDM e proporcionar um substituto adequado para muitas das facilidades de gerenciamento e restauração, oferecidas por SONET atualmente.

Para concretizar a arquitetura IP/WDM torna-se necessário prover uma camada óptica que providencie funcionalidades desempenhadas por outra camadas atuais (no cenário atual), como roteamento/monitoramento do canal, capacidade de detecção e correção de falhas, entre outras.

Soluções baseadas em MPLS[10] têm sido propostas para promover IP/WDM.

Proteção assegura que o serviço desejado não será, permanentemente, interrompido na ocorrência de falha de um componente. Restauração assegura que o serviço desejado retornará após a falha de um componente. O protocolo IP tem proporcionado uma forma de proteção e restauração ao permitir que pacotes ser dinamicamente reroteados quando um link ou nó de rede falha [10]. Aliado ao serviço de transporte confiável oferecido por TCP, é fácil ver como redes baseadas em TCP/IP tem alcançado a reputação por robutez.

Conforme [5][10] proteção e restauração em ambientes IP/WDM depende da existência de mecanismos IP ou alguma forma de proteção WDM.

Para redes movendo-se na direção do IP – particularmente IP/WDM, haveria a redução de custos e eliminação de redundância funcional intercamadas, além de oferecer restauração rápida.

#### 6. Conclusão

A evolução dos serviços baseados em IP e a demanda por largura de banda, de forma a atender requisitos

diversos, vem orientando pesquisas na direção de uma arquitetura que permita uma transição gradual das redes atuais, adequando-as de forma a atender ciclos diferenciados de demanda e permitindo implementar novas soluções preservando investimentos já realizados.

As recentes demandas por capacidade de transmissão têm impulsionado o emprego do sistema de transmissão com multiplexação em comprimento de onda (WDM), estendendo sua utilização às redes de acesso, envolvendo o paradigma da *última milha* – prover acesso de banda larga para serviços digitais interativos até residências e empresas, levando fibra até o desktop (FTTC –Fiber To The Curb, FTTH – Fiber To The Home) [1] – introduzir esta arquitetura depende de infra-estrutura e componentes econômicos para competir com arquiteturas existentes.

### Referências

1. Kaminow, Ivan P., Koch, Thomas L., “Optical Fiber Telecommunications IIIA”, Academic Press, 1997.
2. Betini, R.C. e Camiña N.K., “Proposta de Arquitetura Internet com QoS”, PUC-PR, 2001.
3. Chlamtac, Imrich, Elek, Viktória and others, “Scalable WDM Access Network Architecture Based on Photonic Slot Routing”, IEEE/ACM Transactions, vol. 7, no. 1, pp. 1-9, February 1999.
4. Ramaswami,Rajiv and Sasaki, Galen, “Multiwavelength Optical Networks with Limited Wavelength Conversion”, IEEE/ACM Transactions, vol. 6, no. 6, pp. 744-754, December1998.
5. Crochat, Oliver, Boudec, Jean-Yves L. B. and Gerstel, Ornan, “Protection Interoperability for WDM Optical Networks”, IEEE/ACM Transactions, vol. 8, no. 3, pp. 384-395, June 2000.
6. N. Ghani, S. Dixit and Ti Shiang Wang, “On IP-over-WDM Integration”, IEEE Communications Magazine, vol. 38, no. 3, March 2000.
7. Paul Bonenfant and A. Rodrigues-Moral, ”Optical Data Networking”, IEEE Communications Magazine, vol. 38, no. 3, March 2000.
8. Metz, Christopher, “IP over 2000: Where have we been and where are we going?”, IEEE Internet Computing, pp. 83-87, January-February 2000.
9. Introduction to DWDM for Metropolitan Networks, disponível em <http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm>.
10. Metz, Christopher, “IP Protection and Restoration”, IEEE Internet Computing, pp. 97-102, March-April 2000.