

Proposta de Extensão da Arquitetura PCE Utilizando Parâmetros de QoT para Redes Ópticas com GMPLS

Ricardo G. Tombi, Regina M. Silveira

Larc – Laboratório de Arquitetura e Redes de Computadores
PCS – Departamento de Eng. de Computação e Sistemas Digitais – Escola Politécnica
Universidade de São Paulo – São Paulo – SP - Brasil

ricardo.tombi@poli.usp.br, regina@larc.usp.br

Resumo: Este artigo apresenta conceitos de QoT (*Quality of Transmission*) e como o mesmo pode prejudicar uma transmissão óptica, bem como sua relação com o QoS (*Quality of Service*) necessário para determinadas aplicações. Uma proposta de extensão para a arquitetura PCE (*Path Computation Element*), que pode ser utilizada no cenário GMPLS para computar rotas, é apresentada com o objetivo de tratar parâmetros de QoT no cálculo destas rotas, para atender exigências específicas de QoS das aplicações solicitantes. Finalmente, uma análise é apresentada com relação ao tráfego gerado por este mecanismo, comparando a sua forma original com a extensão proposta.

1. Introdução

O século 21 se iniciou demonstrando ser o começo da era da informação, e a partir de então verifica-se que o volume de dados que é gerado e transmitido através de meios eletrônicos é muito grande, e que o mesmo possui um comportamento crescente para o futuro [Khosrowpour 2000]. Este comportamento se deve a alguns fatores, e entre eles pode-se destacar a disponibilidade cada vez maior dos recursos relacionados às tecnologias de comunicação eletrônica e a diversidade de aplicações disponíveis, que são cada vez mais elaboradas e sofisticadas [Durrezi 2003].

Tendo como foco os recursos requeridos nas redes, esta explosão do uso da informação traz novos desafios para o dimensionamento dos mesmos, especialmente quando se trata de comunicação multimídia, onde uma variedade de tráfego com características distintas, como os tráfegos de dados, voz, voz interativa, vídeo e vídeo em tempo real, podem coexistir em uma mesma rede [Mestric et. al. 2005].

Este dimensionamento de recursos, que deve ser equacionado devido ao surgimento de requisitos específicos para cada tipo de tráfego, deve levar em consideração aspectos de largura de banda disponível e parâmetros como baixo atraso de transmissão, variação mínima deste atraso, baixa taxa de erro e alta disponibilidade. Desta forma, um nível de qualidade de serviço (QoS) deve ser aplicado adequadamente a fim de atender os requisitos particulares de cada tipo de tráfego [Oodan et. al. 2003].

De acordo com o cenário apresentado verifica-se a necessidade de redes cada vez melhores, desempenhando suas funções de forma eficiente e otimizada, e que sejam implementadas para garantir que as características citadas possam ser atendidas.

Atualmente as redes podem ser divididas em dois grandes domínios, sendo eles o eletrônico e o óptico. Estes domínios estão frequentemente interconectados, onde as

redes ópticas oferecem serviços de transporte para as redes de pacotes, nas quais se localizam as aplicações e usuários finais. Importante notar que as redes ópticas vêm evoluindo de forma constante, possibilitando o transporte de dados de alta velocidade e grande disponibilidade de banda para as camadas superiores, através de tecnologias como o DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) [Goralski 2001].

A integração mencionada entre estes dois domínios é objeto de estudo por organismos como IETF (*Internet Engineering Task Force*), IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), ITU-T (*International Telecommunications Union – Telecommunications Standardization Sector*), com o objetivo de alcançar eficiência na operação e otimização dos recursos destas redes. Entretanto, percebe-se que há uma lacuna importante nas padronizações e trabalhos publicados sobre a integração destas redes, onde os mesmos focam características como a largura de banda disponível, capacidade de comutação dos elementos da rede, disponibilidade de comprimento de onda, ou *lambda*, para possibilitar a transmissão, entre outros. Porém, questões muito relevantes relacionadas à qualidade de transmissão do sinal óptico, QoT, diretamente ligada à qualidade de serviço QoS requerida pelas aplicações, não são tratadas de forma abrangente. Assume-se implicitamente a hipótese de que a infra-estrutura das redes ópticas possuem capacidade necessária para realizar as transmissões com qualidade. Nota-se na prática, que esta hipótese assumida não pode ser considerada como verdadeira devido a diversos fatores, os quais são apresentados na próxima seção.

Neste trabalho será abordado, na Seção 2, os principais problemas que podem ocorrer no domínio óptico e como os mesmos podem prejudicar a qualidade de uma transmissão, QoT, e conseqüentemente prejudicar os requisitos de qualidade de serviço, QoS, requeridos pelas aplicações. A Seção 3 apresenta um mecanismo, padronizado recentemente, denominado PCE (*Path Computation Element*), que pode ser utilizado para o roteamento das redes integradas, como na arquitetura GMPLS, e uma proposta de melhoria para este mecanismo, no sentido de habilitar o mesmo a lidar com parâmetros específicos de QoT, relacionados com as necessidades específicas de QoS das aplicações. A Seção 4 apresenta uma análise do impacto causado pelo tráfego gerado por este mecanismo nos enlaces de uma rede. A Seção 5 apresenta as conclusões finais.

2. Particularidades do domínio óptico e a relação entre QoT e QoS

Apesar da evolução das tecnologias que viabilizam a operação das redes ópticas, como as fibras ópticas, os transmissores e receptores, os amplificadores ópticos, os roteadores e *switches* ópticos, entre outros, ainda existe uma série de fatores que prejudicam a transmissão, degradando a qualidade do sinal óptico. Os principais fatores são descritos a seguir, e podem ser verificados com detalhes em [Ramaswami and Sivarajan 2002]:

- **Atenuação:** causada basicamente pela absorção e espalhamento da luz, e por macro e micro curvaturas na fibra;
- **Dispersão:** intermodal, cromática e dispersão por modo de polarização ou PMD (*Phase Modulation Dispersion*);
- **Efeitos não-lineares:** Raman, Brillouin, auto-modulação de fase, modulação de fase cruzada, mistura de quatro ondas.

Alguns destes fenômenos, como a distorção e os efeitos não-lineares, sofrem a influência de fatores como o aumento na velocidade de transmissão, o comprimento dos

enlaces, a quantidade de canais trafegando em uma mesma fibra em sistemas DWDM, a temperatura, entre outros. Espera-se que as atividades de planejamento das redes ópticas sejam competentes para equacionar e prover as soluções necessárias para os problemas físicos que podem ocorrer em uma transmissão óptica, no sentido de oferecer uma topologia de rede adequada e funcional. Este planejamento deve lidar com todas as situações de degradação óptica no sentido de oferecer uma QoT adequada, para que todos os enlaces possam realmente ser utilizados, caso sejam selecionados pelo mecanismo de roteamento, sem problemas de degradação de sinal, que podem resultar em aumento das taxas de erro e até da impossibilidade em utilizar certo caminho.

Apesar desta situação ser válida para a implantação de novas redes, verifica-se outro cenário quando se trata das redes já existentes, devido a fatores como:

- O envelhecimento dos elementos da rede onde as características iniciais dos mesmos modificam-se ao longo de sua vida útil;
- A interferência do ambiente como temperatura e a acomodação dos cabos de fibra, entre outros;
- A modificação nas taxas de transmissão e na quantidade de canais transmitidos em uma mesma fibra, podendo causar vários efeitos indesejados para a transmissão;
- O aumento das dimensões da rede com o aumento dos domínios de transparência;
- A conexão de redes distintas, onde, em uma parte da rede, certa característica pode ser mais importante que em outra parte, sendo assim tratadas de forma diferenciada.

Devido a estes fatores de QoT, nota-se que nem todos os caminhos entre dois pontos de uma rede podem garantir capacidade suficiente para suportar os requisitos mínimos de QoS exigidos por determinadas aplicações. Nota-se que somente a garantia de conectividade entre dois nós que desejam se comunicar, através de determinados enlaces com a capacidade de banda requerida, e os comprimentos de onda disponíveis ao longo desta rota, podem não ser suficientes para garantir o sucesso da transmissão. Em um determinado caminho selecionado podem existir enlaces com parâmetros como o atraso, ou a taxa de erros, inaceitáveis para certas aplicações, ou até mesmo podem apresentar uma qualidade de transmissão do sinal óptico degradada, devido a diversos fatores já descritos neste trabalho, de forma que mesmo uma simples transmissão, sem requisitos especiais, pode não ser possível.

Conforme mencionado, existem aplicações que exigem determinados requisitos mínimos para operar de forma satisfatória, enquanto outras são menos exigentes para tais requisitos. Pode-se citar o caso de aplicações comuns, amplamente utilizadas, como serviços de comércio e banco eletrônico, correio eletrônico, transferência de arquivos, e aplicações mais específicas como telemedicina, ensino à distância e teleconferência.

Grande parte das aplicações, por exemplo, necessitam de taxas de erro entre 10^{-9} e 10^{-15} , tipicamente 10^{-12} [Ramaswami and Sivarajan 2002], porém, podem existir casos extremos, que exigem como requisito mínimo, com relação à taxa de erros, valores mais agressivos, como é o caso do padrão *Open Base Station Architecture Initiative* (OBSAI), que necessita de um valor de BER melhor que 10^{-15} [Subbiah 2006].

Desta forma, percebe-se que um mecanismo de roteamento que não leva em consideração a QoT necessária, com determinados parâmetros mínimos de qualidade do sinal, não é capaz de entregar rotas com a capacidade suficiente de recursos para certas

aplicações, e deste modo, estas aplicações podem desempenhar um mau funcionamento, ou até mesmo não funcionar.

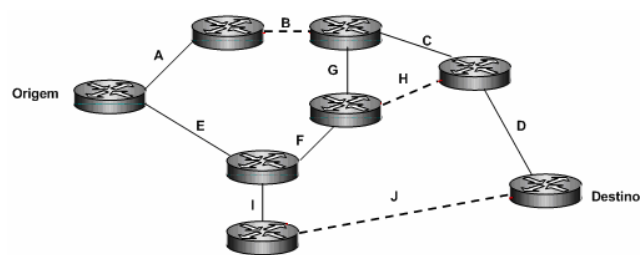


Figura 1 - Alternativas de caminhos entre dois nós

Supondo, no cenário ilustrado pela figura 1, que o parâmetro mais importante de QoT, necessário para o sucesso da transmissão é o BER, e que os enlaces B, H e J degradam o sinal óptico devido às características de suas fibras e dispositivos de transmissão, e portanto não conseguem oferecer uma qualidade mínima aceitável. Desta forma a rota a ser escolhida neste caso é aquela que apresenta a maior quantidade de saltos, através dos enlaces E-F-G-C-D. Se este parâmetro de qualidade não fosse considerado, outra rota mais curta provavelmente seria escolhida, como a rota E-I-J, porém a transmissão seria prejudicada devido à falta de qualidade oferecida pela infraestrutura desta rede, especificamente pelo enlace J.

A seguir, na tabela 1, são apresentadas as características de determinadas aplicações com relação às suas exigências para determinados parâmetros de rede.

Tabela 1. Requisitos das aplicações com relação a QoS

Requisitos	Aplicação					
	Dados	Dados Gráficos	Voz	Voz Interativa	Video	Video em Tempo Real
Largura de Banda	PE	E	E	E	ME	ME
Atraso	PE	PE	ME	ME	E	ME
Variação do Atraso	PE	PE	ME	ME	E	ME
Taxa de Erros	E	ME	PE	PE	E/(PE)	ME/(E)

Legenda: PE - Pouco Exigente; E - Exigente; ME - Muito Exigente.

Fonte: Gabos, D.; Carvalho, T.C.; Bastos, V. "Curso Tecnologias Convergentes". Larc/PCS/EPUSP, 2004

3. Arquitetura PCE no ambiente GMPLS e uma proposta de extensão das suas funcionalidades para lidar com questões de QoT em benefício do QoS

A arquitetura PCE tem a função de atuar em redes integradas, como as redes GMPLS, conforme apresentado na figura 2, provendo um mecanismo de computação de rotas, através de um elemento chamado PCE (*Path Computation Element*). Este elemento possui uma base de dados com as informações dos enlaces da rede, podendo ser de redes ópticas ou de pacotes, obtidas através de um protocolo de roteamento interno, ou configuração manual, e faz o cálculo das rotas através de um algoritmo como o CSPF. Os requisitantes, chamados PCCs (*Path Computation Client*), podem realizar solicitações de rotas ao PCE através de um protocolo específico, o *PCE Protocol*, informando certos parâmetros necessários para a transmissão, como largura de banda, por exemplo [Farrel et. al. 2006].

Os principais benefícios alcançados com a implantação desta arquitetura podem ser apontados como a diminuição da alta utilização de processamento em determinados roteadores da rede, a melhor visibilidade da rede que o PCE possui para computar as

rotas, e o mais importante, que é a sua capacidade de lidar com parâmetros específicos de engenharia de tráfego entre domínios ou camadas de rede distintos, preenchendo a lacuna deixada por outros protocolos de roteamento como o BGP, citado na padronização GMPLS como um possível candidato para esta função, porém ainda sem extensões definidas para lidar com parâmetros específicos das redes ópticas.

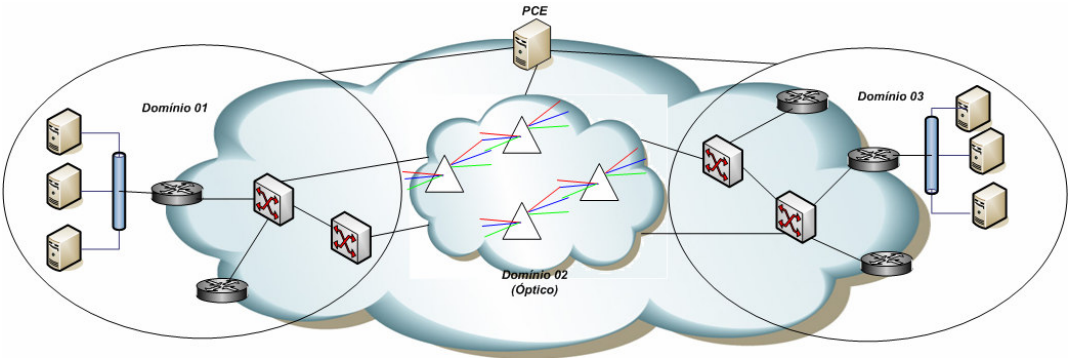


Figura 2 – Arquitetura PCE

Entretanto, a padronização desta arquitetura não leva em consideração parâmetros de QoT na mensagem que os requisitantes utilizam para solicitar rotas. Desta forma, este trabalho apresenta uma proposta de extensão da mensagem de requisição de rotas, chamada PCReq, do protocolo *PCE Protocol*, possibilitando que os PCCs solicitantes incluam requisitos de QoT, baseados nas suas necessidades de QoS. Sendo assim, o QoS continua a existir nas camadas superiores, e o QoT entra no cenário como forma de subsídio de informações importantes de parâmetros da camada física para auxiliar no atendimento do QoS.

A mensagem PCReq, definida em [Vasseur and Le Roux 2007] é constituída por um cabeçalho geral, objetos e sub-objetos, com seus respectivos cabeçalhos, para cumprir as funções especificadas no documento citado. A extensão proposta inclui a inserção de um objeto adicional, chamado *Quality*, cujo tamanho foi definido de forma a obedecer à padronização do *PCE Protocol* e minimizar bits de representação [Tombi e Silveira 2007]. Este objeto, observado na figura 3, é utilizado para informar determinados parâmetros de QoT, conforme definido a seguir.

Cabeçalho do Objeto	32 bits
Objeto Quality	32 bits

Figura 3 – Objeto Quality

A extensão poderia ser proposta de forma que pudesse abranger todas as características que prejudicam uma transmissão óptica, porém é necessário levar em consideração dois aspectos importantes que limitam esta abordagem, sendo eles:

- A tradução dos requisitos das aplicações em detalhes das características físicas do sistema de transmissão utilizado, ou seja, a utilização de uma abordagem simples que permite a tradução dos requisitos da tabela 1 para as configurações disponíveis apresentadas na figura 4.
- A compatibilidade desta extensão com a realidade sobre a forma de disseminação para a base de dados do PCE, e a computação das informações mais importantes e que representem alternativas viáveis, ou seja, que não representem configurações

impossíveis na prática. Este aspecto teve uma atenção especial, e para garantir a compatibilidade citada, foram analisados trabalhos como [Duresi 2003], [Al Zahr et al. 2005] e [Strand et. al. 2001] que propõe instrumentos para lidar com a disseminação das informações de interesse citadas a seguir.

Desta forma, a extensão é proposta para contemplar as seguintes características dos enlaces na computação das rotas:

- **Atraso e variação do atraso:** são parâmetros que podem ser mapeados diretamente da necessidade da aplicação e enviados ao PCE. Neste caso, de um lado, as aplicações possuem determinadas necessidades com relação ao atraso e à variação deste atraso, e o PCC tem a responsabilidade de enviar as requisições com estas necessidades ao PCE. Do outro lado, o PCE também deve possuir em sua base de dados, utilizando mecanismo de atualização manual ou automático, estas informações relativas aos seus enlaces, e computar as rotas de acordo com as requisições recebidas.

- **Qualidade do sinal:** este parâmetro, do lado da aplicação, irá representar a taxa de erros aceitável pela mesma. Do lado do PCE, este deve utilizar as informações mais relevantes sobre a qualidade do sinal, como o PMD e OSNR de forma direta, e de outros fatores de degradação do sinal de forma indireta, que pode ser representado pelo comprimento total de uma rota, limitado pela ação conjunta destes fatores na degradação do sinal. Trabalhos como [Duresi 2003], [Al Zahr et al. 2005] e [Strand et. al. 2001] sugerem como estes valores podem ser obtidos e disseminados.

- **Confiabilidade:** este parâmetro permite a solicitação de rotas mais confiáveis no sentido de probabilidade de falhas. O PCE deve obter, através de registros do sistema, a informação sobre a quantidade de falhas ocorridas nos enlaces ao longo do tempo, e as aplicações poderão, dependendo da sua criticidade, solicitar os enlaces mais confiáveis.

- **Custos econômicos:** este parâmetro indica o tipo de enlace preferencial a ser utilizado pela aplicação com relação ao seu valor econômico. O PCE deverá escolher o caminho através de enlaces mais baratos ou mais caros, dependendo da criticidade da aplicação. O valor dos enlaces pode ser ligado diretamente à sua capacidade de transmissão.

Estas duas últimas características não são parte de uma necessidade de QoS, como aquelas apontadas na tabela 1, porém são incluídas nesta proposta como uma forma de política de direcionamento para influenciar a escolha de determinada rota.

Os parâmetros descritos são incorporados ao protocolo existente através do objeto *Quality* definido anteriormente. As combinações dos bits deste objeto oferecem alternativas distintas, disponíveis ao PCC, para que o mesmo possa requisitar rotas baseadas na qualidade dos enlaces. O PCE, ao receber a mensagem PCReq com este objeto, deverá identificar os requisitos exigidos e computar a melhor rota baseada nos mesmos. O PCC se baseia na tabela 1 para classificar as necessidades que devem ser atendidas de acordo com a seguinte lógica adotada. As aplicações que possuem os parâmetros classificados como Exigentes e Muito Exigentes deverão obter sempre os caminhos que apresentarem os melhores valores disponíveis para estes parâmetros, e as aplicações que possuem os parâmetros classificados como Pouco Exigentes, poderão obter os caminhos com qualquer valor disponível. Esta indistinção entre as classificações Exigente e Muito Exigente, no momento de contabilizar a rota, funciona como um simplificador do mecanismo, porém sem que seja perdido o seu objetivo final.

Desta forma trabalha-se com o melhor valor disponível e com um valor indiferente, ou seja, que não tem importância se não for o melhor, contando que seja o suficiente para uma qualidade mínima que possibilite a transmissão. A seguir, na figura 4, são apresentadas as combinações para o objeto *Quality* lidar com parâmetros de QoT.

- Bits 0, 1 e 2 identificam o parâmetro desejado pelo PCC para a qualidade da rota a ser computada pelo PCE, com relação ao atraso, variação do atraso e taxa de erros (BER).
- Bits 3, 4 e 5 identificam a prioridade do parâmetro de qualidade, para realizar a computação da rota, no caso de dois ou mais parâmetros serem requisitados juntos.
- Bits 6 e 7 identificam a política a ser adotada para a computação da rota, e será aplicada após os enlaces com a qualidade desejada forem selecionados.
- Bit 8 identifica a prioridade no caso das duas políticas selecionadas juntas.

0	1	2	Parâmetros requisitados	3	4	5	Ordem de prioridade
0	0	0	Indiferente	0	0	0	A - V - B
1	0	0	BER	1	0	0	A - B - V
0	1	0	Atraso	0	1	0	V - A - B
1	1	0	BER & Atraso	1	1	0	V - B - A
0	0	1	Variação do atraso	0	0	1	B - A - V
1	0	1	BER & Variação do atraso	1	0	1	B - V - A
0	1	1	Atraso & Variação do atraso	0	1	1	Indiferente
1	1	1	Todos os parâmetros	1	1	1	Não utilizado

6	7	Política	8	Ordem de prioridade
0	0	Indiferente	0	Confiabilidade - Custo
0	1	Confiabilidade	1	Custo - Confiabilidade
1	0	Custo econômico		
1	1	Ambos		

A: Atraso; B: BER; V: Variação do atraso

Figura 4. Bits de parâmetros de QoT, política e prioridades

4. Análise do impacto na rede gerado pela mensagem de requisição de rotas

O software *OPNET IT Guru Academic Edition* foi utilizado para realizar os experimentos com as mensagens de requisição a fim de analisar seu comportamento. Foram utilizadas diversas taxas de requisição de rotas, e para cada uma delas o tráfego foi medido em vários enlaces, com capacidades distintas.

Taxa utilizada: 10 requisições/hora até 100 requisições/segundo

Enlaces testados: DS0, 256K, 512K, DS1, E1, DS3, OC1, OC3, 10M e 100M

Foram realizados experimentos com a mensagem de requisição PCReq no seu formato original e posteriormente com a extensão proposta. Os resultados obtidos demonstraram que para os enlaces com capacidades entre 512 Kbps e 2 Mbps o tráfego gerado esteve entre 1% e 10%. Em primeiro momento esta ocupação não deve ser relevante, porém, por se tratar de enlaces com menores capacidades, deve-se ter em consideração o perfil do tráfego dos usuários, para que na contabilização final não ocorra prejuízos para este último, principalmente com taxas de requisição mais altas. Verifica-se uma situação mais delicada com os enlaces de menor capacidade. Apesar de raros, ainda podem ser encontrados em certas redes de acesso, e também quando se utiliza sinalização *out-of-band*, onde o plano de controle é separado do plano de dados. Nestes casos a ocupação foi de aproximadamente 18% para enlaces de 256 Kbps e 73% em enlaces DS0, com a maior taxa de requisições imposta.

Após a análise do comportamento da mensagem estendida, verificou-se que o aumento do tamanho da mensagem de requisição abrangendo informações de QoT, não alterou de forma significativa o tráfego gerado nos enlaces testados.

5. Conclusão

Foi observado ao longo deste trabalho a necessidade do tratamento das características de qualidade de transmissão óptica, QoT, pois as mesmas influenciam diretamente na capacidade de um mecanismo de roteamento, como o PCE, em prover rotas capazes de realizar a comunicação desejada. Além disto, os requisitos de QoS das aplicações podem ser prejudicados caso os parâmetros de QoT sejam negligenciados. Foi proposta uma extensão ao mecanismo PCE para que o mesmo considere características de QoT e análises foram executadas para verificar o impacto no tráfego gerado. Não se verificou grandes prejuízos relacionados ao uso deste mecanismo com a extensão proposta.

Como sugestão para trabalhos futuros, há a necessidade de estudos adicionais sobre algoritmos utilizados para computar rotas com restrições impostas na requisição, bem como sobre mecanismos de disseminação das novas informações de QoT entre os elementos da rede responsáveis por computar as rotas. A análise do tráfego gerado foi realizada, porém a análise do desempenho QoT/QoS é tema para trabalho futuro.

6. Referências Bibliográficas

- Khosrowpour, M. (2000) “Turmoil in the Telecommunications Industry”, Challenges of Information Technology Management in the 21st Century: 2000 Information Resources Management Association International Conference, Cap 298.
- Duresi, A. (2003) “Quality Based Optical Routing Protocol”, Optical Transmission Systems and Equipment for WDM Networking II, SPIE, vol. 5247, pp. 410-420.
- Mestric, R. et. al. (2005) “Optimizing the Network Architecture for Triple Play”, Technical Paper, Alcatel.
- Oodan, A. et. al. (2003) “Telecommunications Quality of Service Management : From Legacy to Emerging Services”, The Institution of Electrical Engineers, 2003.
- Goralski, W. (2001) “Optical Networking & WDM”, Mc Graw-Hill/Osborne, cap 6.
- Ramaswami, R. and Sivarajan, N. K. (2002) “Optical Networks: A Practical Perspective”, 2ª edição, Morgan Kaufmann Publishers, cap 4.
- Subbiah, P. (2006) “Bit Error Rate (BER) for High Speed Serial Data Communication”, Technical Paper, Cypress Semicondutor, Data Communications Division.
- Farrel et. al. (2006) “A Path Computation Element (PCE)-Based Architecture”, IETF, RFC 4655, Agosto 2006.
- Vasseur, J.P. and Le Roux, J.L. (2007) “Path Computation Element (PCE) Communication Protocol (PCEP)”, IETF, draft-ietf-pce-pcep-07.txt, Setembro, 2007.
- Strand, J. et. al. (2001) “Issues for Routing in the Optical Layer”, IEEE Communications Magazine, pp. 81-87, Fevereiro, 2001.
- Al Zahr, S. et al. (2005) “Physical Layer Impairments in WDM Core Networks: a Comparison between a North-American Backbone and a Pan-European Backbone”. In: 2nd International Conference on Broadband Networks, IEEE, v. 2, p. 1258-1263.
- Tombi, R.G. e Silveira, R.M. (2007) “Proposta de Extensão do Protocolo PCE Considerando Parâmetros de QoT para Roteamento Inter-Domínios em Redes GMPLS”, Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo