

Uma Arquitetura para Provisionamento e Gerência de Serviços em Redes Ópticas*

Fábio L. Verdi¹, Maurício F. Magalhães (orientador)¹,
Edmundo R. M. Madeira (co-orientador)²

¹Departamento de Engenharia Elétrica e Automação Industrial (DCA)
Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação (FEEC)
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
13083-970, Campinas-SP, Brasil.
Email: {verdi,mauricio}@dca.fee.unicamp.br

²Instituto de Computação (IC)
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
13084-971, Campinas-SP, Brasil.
Email: edmundo@ic.unicamp.br

Resumo. *Esta tese apresenta uma arquitetura para provisionamento e gerência de serviços entre domínios ópticos. A arquitetura apresentada nesta tese oferece uma camada de serviços que facilita a interação entre diferentes domínios administrativos. Todas as interações para troca de informações de roteamento e estabelecimento de conexões são feitas na camada de serviços. Internamente a cada domínio, os caminhos de luz são estabelecidos usando tecnologias locais tais como a arquitetura GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching) ou ASON (Automatic Switched Optical Network). Porém, o provisionamento de serviços entre domínios é realizado não pelo plano de controle, mas sim pelo plano de serviços implementado com a tecnologia Web Services. Os resultados apresentados indicam que o provisionamento de serviços realizado através da camada de serviços facilita e flexibiliza as interações entre domínios oferecendo aos provedores um novo mecanismo para suporte a estas interações.*

1. Introdução

A automação proposta pelas arquiteturas *Generalized Multiprotocol Label Switching* (GMPLS) [Mannie 2004] e *Automatically Switched Optical Network* (ASON) [ASON 2001] é, sem dúvida, algo essencial para as empresas provedoras de serviços (*Internet Service Providers - ISPs*). Tal automação permite que o estabelecimento de conexões seja feito de forma rápida evitando, desta maneira, a intervenção humana e permitindo a oferta de novos serviços que atenda a demanda dos clientes. Porém, a grande dificuldade atual relacionada ao estabelecimento de conexões ocorre quando tais conexões precisam atravessar vários domínios administrativos diferentes. Enquanto as arquiteturas GMPLS e ASON apresentam soluções bem definidas e amplamente discutidas para serem usadas localmente por um domínio, as interações inter-domínios ainda se encontram em um estado bastante inicial de padronização. Definir soluções para provisionamento de serviços intra-domínios é tecnicamente mais fácil. O estabelecimento de conexões locais em um domínio pode ser feito utilizando soluções locais, proprietárias ou padronizadas.

*Estará disponível em <http://www.dca.fee.unicamp.br/~verdi/pub/tese.pdf>.

Localmente, cada administrador pode estabelecer conexões de forma manual ou da forma mais automatizada possível utilizando, por exemplo, GMPLS ou ASON. Porém, o estabelecimento de conexões que atravessam vários domínios não somente envolve aspectos técnicos mas, também, aspectos de negócios que caracterizam os vários tipos de relacionamentos existentes entre os domínios.

Esta tese é uma alternativa em relação à forma como o estabelecimento de serviços entre domínios vem sendo proposta. Enquanto os órgãos de padronização apostam em extensões nos protocolos atuais para suportar o estabelecimento de conexões ópticas entre domínios, entendemos que tais extensões não serão colocadas em prática a curto ou talvez a médio prazo. Tais extensões visam principalmente suportar o estabelecimento de serviços (tipicamente conexões) levando-se em consideração aspectos de QoS (*Quality Of Service*). O principal problema neste tipo de cenário está relacionado com as extensões que precisam ser feitas ao protocolo de roteamento entre domínios, especificamente o BGP (*Border Gateway Protocol*) [Rekhter and Li 2006], cuja funcionalidade principal é a divulgação de alcançabilidade entre prefixos de rede.

Neste sentido, este trabalho propõe a criação de uma camada de serviços onde cada domínio possa oferecer serviços específicos para entidades externas (clientes e outros domínios) sem depender das extensões necessárias aos protocolos usados no plano de controle. Desenvolvemos uma arquitetura para provisionamento e gerência de serviços entre domínios ópticos de forma que cada domínio é visto como um conjunto de serviços que podem ser invocados para realizarem tarefas relacionadas ao estabelecimento de conexões entre domínios.

A arquitetura desenvolvida neste trabalho facilita a forma como os domínios integram uma vez que cada domínio expõe suas capacidades na forma de interfaces. Uma consequência imediata desta solução é o rápido desenvolvimento de serviços sem precisar esperar pela definição de padrões que especifiquem como as interações entre domínios deveriam ocorrer. A arquitetura apresentada nesta tese vai ao encontro de uma tendência atual que se caracteriza por abstrair os detalhes de como os serviços são oferecidos.

Nesta tese identificamos alguns dos serviços que são necessários para o fornecimento de conexões e VPNs entre domínios ópticos. Além disso, empregamos um conceito conhecido como topologia virtual (*Virtual Topology* - VT) que abstrai os detalhes físicos internos de cada domínio óptico. Cada domínio óptico define sua VT conforme as capacidades físicas locais seguindo políticas de relacionamento com seus pares. Uma VT pode representar o interesse momentâneo do domínio óptico em atrair conexões. A idéia principal da VT é criar na camada de serviços um modelo de oferta e procura por conexões que atendam os requisitos pelo menor preço. O conceito de VT foi implementado através do serviço de divulgação (*Advertising Service* - AS). Tal serviço, além de divulgar as topologias virtuais, também distribui as informações de correlação de portas das VPNs.

A implementação da arquitetura foi realizada usando *Web Services*, uma tecnologia atual e que vem sendo utilizada como uma forma de instanciar a arquitetura *Service Oriented Architecture* (SOA). O modelo SOA caracteriza-se principalmente pela interação entre serviços através do fraco acoplamento e age como um facilitador para a definição dos serviços e interações de negócios entre os domínios. Nesta tese, todos os serviços que fazem parte da camada de serviços foram implementados como *Web Servi-*

ces. Além dos módulos que compõem a camada de serviços, definimos também módulos responsáveis pela gerência local em cada domínio. Basicamente foram definidos módulos para controle de admissão, aplicação de políticas, controle de falhas locais e gerência de recursos.

Este texto está organizado da seguinte forma: a próxima seção apresenta o mecanismo de topologias virtuais. Na Seção 3, apresentamos a arquitetura para o provisionamento de serviços entre domínios. Apresentamos os módulos internos da arquitetura e os módulos que compõem a camada de serviços. Na Seção 4 concluímos este trabalho discutindo as contribuições desta tese.

2. O Mecanismo de Topologias Virtuais

O conceito de topologia virtual (*Virtual Topology - VT*) permite abstrair os detalhes físicos da rede óptica internos a um determinado domínio. Uma VT é formada por enlaces virtuais que representam as conexões ópticas dentro de um domínio e possuem características específicas de proteção, largura de banda, preço, etc. Tais conexões ópticas são conhecidas como *Forwarding Adjacencies* (FAs) [Farrel et al. 2005]. A maneira como tais conexões são estabelecidas é uma decisão local. Este mecanismo é uma das vantagens iniciais do conceito de VT: manter a independência de cada domínio e a não divulgação dos detalhes internos ao domínio.

Neste trabalho definimos duas formas para a obtenção da topologia virtual [Verdi et al. 2006c]. A primeira considera grupos de domínios organizados na forma de condomínios. Dentro de cada condomínio a divulgação das topologias virtuais ocorre seguindo um modelo de negócios onde cada domínio divulga a VT para todos os outros domínios dentro do mesmo condomínio. Chamamos este modelo de modelo *Push*. No modelo *Push* as relações BGP são enfraquecidas. A divulgação de uma VT significa que o domínio aceita receber conexões sobre uma topologia diferente daquela divulgada pelo BGP. O modelo *Push* considera que as relações entre domínios são mais confiáveis semelhantemente ao modelo de pares (*peering*) atualmente usado pelo BGP. O modelo de pares considera um acordo entre domínios pelo qual tráfegos dos próprios domínios e de seus clientes são transferidos sem custo para os domínios envolvidos.

O conceito de condomínios vem sendo analisado principalmente pelo grupo da rede CANARIE no Canadá [CANARIE Project 2006]. Tal grupo considera a formação de condomínios de escolas, universidades, municípios, bairros, etc. Alguns exemplos de organização relacionados com condomínios podem ser encontrados em [CivicNet 2001, Stokab 2006].

O outro modelo para obtenção de VTs considera a hierarquia atual da Internet organizada na forma de *Autonomous Systems* (ASes). Neste caso, as VTs não são divulgadas pelos domínios, mas são obtidas sob demanda seguindo rotas BGP específicas escolhidas pelo domínio que deseja estabelecer uma conexão entre domínios. Chamamos de modelo *Pull* ou *on-demand*. O modelo *Pull* usa as tabelas BGP para obter possíveis rotas para um determinado destino. Quando um domínio deseja estabelecer uma conexão entre domínios, primeiramente ele obtém as rotas locais divulgadas pelo BGP que alcancem um destino desejado. Com estas rotas, o domínio local obtém as VTs apenas dos domínios que compõem as rotas BGP e então calcula um caminho até o destino. A Figura 1 ilustra o cenário *Pull*.

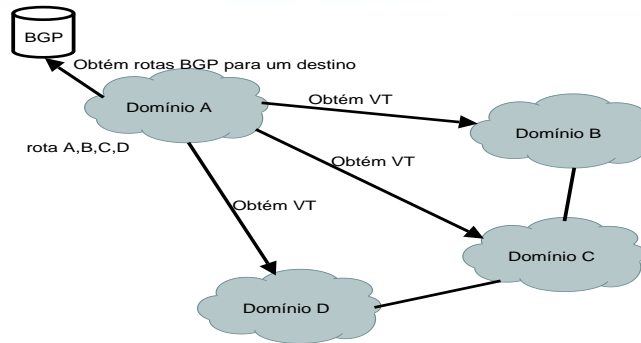


Figura 1. Obtendo VTs (Modelo Pull).

Suponha que o domínio A deseje estabelecer uma conexão com o domínio D. Para isto, o domínio A obtém das tabelas BGP locais as rotas que alcancem D. A quantidade de rotas a ser obtida depende da quantidade de provedores aos quais o domínio A está conectado (*Multi-homing*). Neste exemplo, o domínio A possui apenas o domínio B como provedor e, portanto, apenas uma rota para D é obtida. Após obter esta rota, o domínio A deve perguntar para cada domínio da rota a VT para o próximo domínio em direção ao destino. No exemplo da Figura 1, o domínio A obtém do domínio B a VT que conecta o domínio B com o domínio C para chegar em D. Esta operação é feita para cada domínio na rota obtida.

Se, através das rotas BGP locais nenhum caminho que atenda os requisitos de QoS é encontrado, o domínio local pode “subir” um nível na hierarquia de ASes e obter as rotas BGP não divulgadas pelos seus provedores.

3. Arquitetura para Provisionamento e Gerência de Serviços entre Domínios

A Figura 2 mostra a arquitetura completa com os módulos internos (fazendo parte da camada de integração) e com os módulos que representam a camada de serviços. Os módulos da camada de integração são responsáveis pelo controle de admissão, gerência e configuração em cada domínio. O *Admission Control* (AC) é encarregado de receber e admitir as requisições para o estabelecimento e remoção de conexões fim-a-fim e encaminhá-las aos outros módulos do sistema para que sejam processadas. O *Policy Manager* (PM), também conhecido como PDP (*Policy Decision Point*), é o responsável por aplicar políticas que foram definidas para o domínio que está sendo gerenciado [Carvalho et al. 2005, Verdi et al. 2007a]. O *Fault Manager* (FM) recebe as notificações de falhas enviadas pelo plano de controle e mantém a gerência atualizada sobre as alterações ocorridas no estado da rede, as quais foram desencadeadas pela ocorrência de uma falha. O *Resource Manager* (RM) é responsável por gerenciar todos os recursos da rede de transporte como por exemplo, pontos de *grooming*, caminhos de luz estabelecidos, VPNs ativas, topologias virtuais, etc. O *Membership Manager* (MM) é o módulo que gerencia as informações sobre quais membros pertencem a cada VPN.

A camada de serviços realiza as tarefas relacionadas ao provisionamento de conexões e VPNs entre domínios ópticos. É formada por seis serviços. O *Advertising Service* (AS) é responsável por implementar o conceito de topologia virtual (VT) apresentado na Seção 2. O AS é responsável por duas tarefas. A primeira tarefa se refere à divulgação e obtenção das VTs. Tanto o modelo *Push* como o modelo *Pull* são suportados pelo AS.

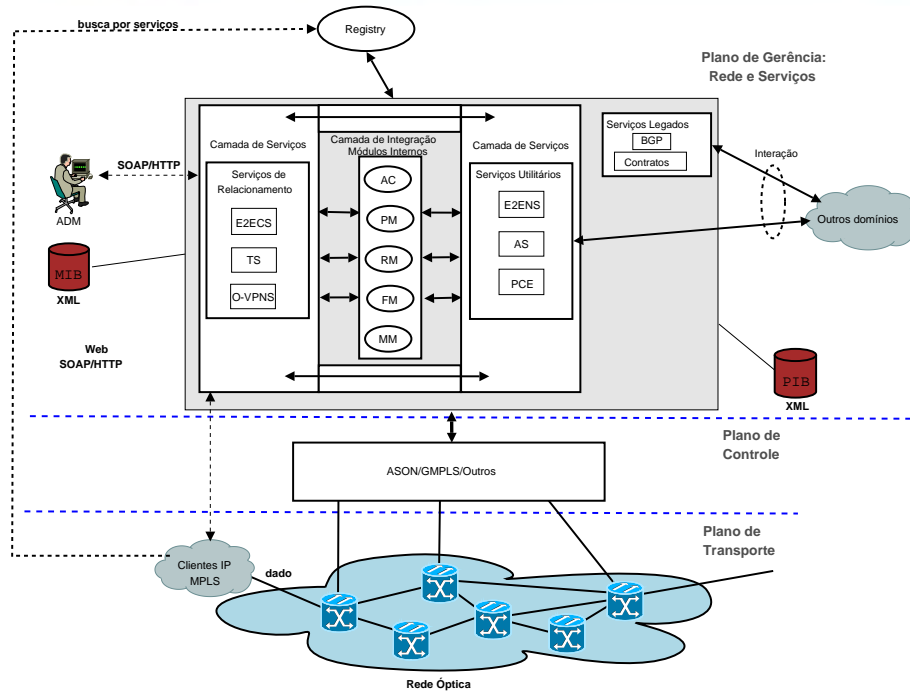


Figura 2. Arquitetura para o provisionamento de serviços entre domínios.

A segunda tarefa do AS se refere à divulgação dos membros de cada VPN entre domínios. O AS divulga as tabelas que correlacionam quais portas pertencem a quais VPNs ópticas. Estas tabelas são então armazenadas no *Membership Manager* que fará a verificação de portas durante o pedido de estabelecimento de uma VPN entre domínios. O *End-to-End Negotiation Service* (E2ENS) é responsável pela negociação de conexões entre domínios. Para este trabalho foi adotado o modelo em estrela de duas fases para o protocolo de negociação. No modelo em estrela, o domínio que deseja estabelecer uma conexão entre domínios negocia com todos os domínios que fazem parte da rota em direção ao destino. O *End-to-End Connection Service* (E2ECS) oferece acesso às funcionalidades para o provisionamento e gerência de conexões e VPNs ópticas. O *Path Computation Element* (PCE) Service é responsável pelo cálculo de rotas entre domínios. Após montar uma topologia virtual única com todas as VTs recebidas, o PCE aplica um algoritmo de roteamento sobre esta topologia. O *Trading Service* (TS) permite que os recursos de uma VPN sejam reservados antes de sua ativação. Consideramos que os recursos ópticos podem ser reservados e depois ativados para uso. A reserva garante que os recursos não serão usados por outras VPNs e passam a ser exclusivos de quem os reservou. O *Optical-VPN Service* (O-VPNS) é responsável pela ativação da VPN. Ao ativar a VPN, o sistema de cobrança é então disparado para iniciar a tarifação do serviço. O *Registry* age como um sistema de registro e busca de serviços. Finalmente, o módulo “serviços legados” permite que contratos previamente estabelecidos entre os domínios sejam considerados durante o provisionamento de serviços. Tipicamente, condições e regras de roteamento entre os domínios são controladas por este módulo.

A Figura 3 ilustra os passos necessários para o estabelecimento de uma conexão entre domínios.

Primeiramente, o cliente obtém o serviço desejado do registro (passo 1). Após

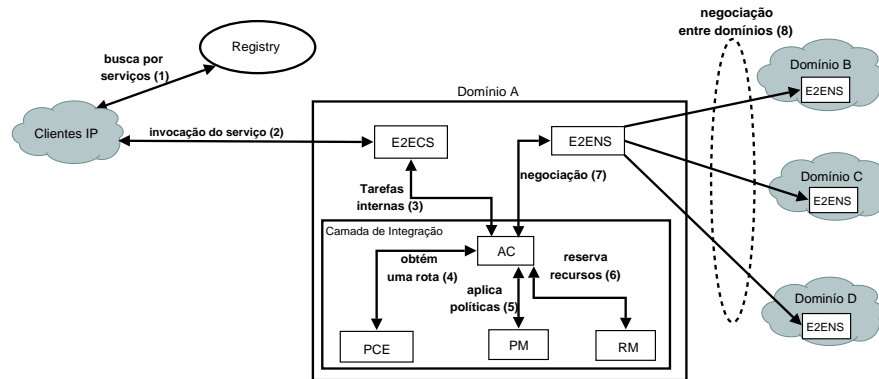


Figura 3. Passos para estabelecer uma conexão entre domínios.

a busca no registro, o cliente pode invocar o E2ECS (passo 2) informando todos os parâmetros necessários para o estabelecimento da conexão. O E2ECS repassa a requisição para os módulos internos da camada de integração (passo 3). A requisição é repassada para o controle de admissão (AC) que então valida os parâmetros informados. O AC obtém uma rota entre domínios passando os nós de origem e destino para o PCE (passo 4). O PCE por sua vez monta uma topologia virtual única e encontra uma rota entre o par origem/destino. Após obter a rota, o AC invoca o gerente de políticas (PM) para que regras locais sejam aplicadas para permitir ou não o estabelecimento da conexão no domínio (passo 5). Se a conexão é permitida, o AC invoca o gerente de recursos (RM) a fim de reservar, para cada enlace virtual, um caminho de luz (passo 6). Finalmente, os passos 7 e 8 representam a negociação entre domínios. Eles somente são executados caso os passos anteriores tenham tido sucesso no domínio local. O passo 8 representa tanto a fase de reserva como a fase de confirmação do protocolo de negociação.

Mais informações sobre a arquitetura, detalhes de implementação, validação e análise de tempo estão descritos na tese e em vários artigos. Em [Verdi et al. 2006a] apresentamos resumidamente a arquitetura e seus módulos. Em [Verdi et al. 2006b] discutimos a implementação e os resultados em relação ao tempo e tamanho das mensagens para estabelecimento de conexões entre domínios ópticos. Em [Verdi et al. 2006d] e [Verdi et al. 2006e] avaliamos o uso dos *Web Services* e SOA como mecanismos facilitadores para provedores de serviços e como tais mecanismos influenciam em uma nova arquitetura para a Internet. Em [Malheiros et al. 2006] apresentamos a arquitetura para provisionamento e gerência de VPNs em um domínio. Em [Verdi et al. 2005] e [Verdi et al. 2007a] discutimos e detalhamos o uso de políticas para realização de *grooming* de tráfego IP/MPLS nos caminhos de luz das redes ópticas. O mecanismo de topologias virtuais é detalhado em [Verdi et al. 2006c]. Finalmente, a arquitetura completa para provisionamento e gerência de serviços entre domínios é apresentada em [Verdi et al. 2007b].

4. Conclusão

Nesta tese desenvolvemos uma arquitetura para provisionamento e gerência de serviços em redes ópticas que foi validada através do desenvolvimento de um protótipo. Tal protótipo foi testado e avaliado em nosso laboratório.

Em relação às principais contribuições desta tese, destacamos:

- Embora não apresentado neste texto, desenvolvemos um modelo baseado no modelo de referência TMN/FCAPS para provisionamento de serviços em redes ópticas. Instanciamos o modelo em uma arquitetura que suporta o provisionamento e gerência de serviços em um único domínio (intra-domínio) e inter-domínios;
- O plano de serviços definido para a arquitetura permite que a sinalização de conexões entre domínios seja feita sem esperar pelos longos processos de padronização de protocolos. As interações necessárias para o estabelecimento de conexões e VPNs entre domínios ocorrem no plano de serviços. Os domínios interagem para distribuir topologias virtuais e reservar recursos bastando para isso definirem as interfaces dos serviços;
- Usamos o conceito de topologias virtuais para abstração dos recursos locais em cada domínio e suporte ao provisionamento de serviços entre domínios ópticos. Recentemente, um *draft* IETF [Shiomoto et al. 2006] comenta brevemente sobre o uso de topologias virtuais através das *Forwarding Adjacencies*. É possível que tal mecanismo receba mais atenção e evolua em algum grupo de trabalho do IETF;
- A tecnologia *Web Services* foi testada em termos de consumo de tempo e tamanho das mensagens SOAP para o provisionamento dos serviços entre domínios. Concluímos que tal tecnologia é apropriada para este tipo de cenário uma vez que os tempos coletados assim como o tamanho das mensagens SOAP são pequenos considerando todo o processo para estabelecimento de uma conexão entre domínios e os atributos sendo trocados.

A união da tecnologia *Web Services* com redes ópticas teve origem em dois projetos. Um deles, no contexto do projeto GIGA, tinha como objetivo criar um plano de controle baseado no GMPLS para provisionamento de conexões ópticas em um domínio. O outro projeto tinha como objetivo usar *Web Services* para a gerência de novas tecnologias de redes. Esta tese agrega as propostas que foram desenvolvidas nos dois projetos e apresenta um modelo e uma arquitetura que consideram o provisionamento e a gerência de serviços intra e entre domínios ópticos.

A arquitetura proposta nesta tese pode ser usada tanto para o provisionamento de conexões simples como para o estabelecimento de serviços mais sofisticados como o serviço de VPN entre domínios. Até onde sabemos, esta é a primeira arquitetura que considera o provisionamento de serviços intra e inter-domínios ópticos.

Referências

- ASON (2001). ITU-T: Architecture for the Automatically Switched Optical Network (ASON), G.8080/Y.1304.
- CANARIE Project (2006). <http://www.canarie.ca/>.
- Carvalho, C., Verdi, F. L., Madeira, E., and Magalhães, M. (2005). Policy-based Fault Management for Integrating IP over Optical Networks. *The 5th IEEE International Workshop on IP Operations & Management (IPOM'05)*, LNCS-Springer-Verlag. Barcelona, Spain, 3751:88–97.
- CivicNet (2001). Chicago CivicNet: Request For Information Chicago CivicNet.
- Farrel, A., Vasseur, J.-F., and Ayyangar, A. (2005). A Framework for Inter-Domain MPLS Traffic Engineering. *IETF draft, work in progress*.

- Malheiros, N., Verdi, F. L., Madeira, E., and Magalhães, M. (2006). A Management Architecture for Layer 1 VPN Services. *IEEE International Conference on Broadband Communications, Networks and Systems (Broadnets'06), San Jose, USA*.
- Mannie, E. (2004). Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture. *IETF RFC 3945*.
- Rekhter, Y. and Li, T. (2006). A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4). *IETF RFC 4271*.
- Shiomoto, K., Papadimitriou, D., Roux, J.-L., Vigoureux, M., and Brungard, D. (2006). Requirements for GMPLS-based multi-region and multi-layer networks (MRN/MLN). *IETF draft, work in progress*.
- Stokab (2006). Stockholm Municipal Network Stokab: <http://www.stokab.se>.
- Verdi, F. L., Carvalho, C., Madeira, E., and Magalhães, M. (2005). Policy-based Grooming in Optical Networks. *4th IEEE Latin American Network Operations and Management Symposium (LANOMS 2005), Porto Alegre, Brasil*, pages 125–136. Prêmio de Menção Honrosa.
- Verdi, F. L., Carvalho, C., Madeira, E., and Magalhães, M. (2007a). Policy-based Grooming in Optical Networks. *Journal of Network and Systems Management (JNSM), Springer. Aceito para publicação, 2007. Versão estendida do artigo publicado no LANOMS 2005*.
- Verdi, F. L., de Lacerda, F., Duarte, R., Madeira, E., Cardozo, E., and Magalhães, M. (2006a). Provisioning and Management of Inter-Domain Connections in Optical Networks: A Service Oriented Architecture-based Approach. *IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium (NOMS'06), Vancouver, Canada*.
- Verdi, F. L., Madeira, E., and Magalhães, M. (2006b). On the Performance of Interdomain Provisioning of Connections in Optical Networks using Web Services. *IEEE International Symposium on Computers and Communications (ISCC'06), Sardinia, Italy*, pages 955–960.
- Verdi, F. L., Madeira, E., and Magalhães, M. (2006c). The Virtual Topology Service: A Mechanism for QoS-enabled Interdomain Routing. *The 6th IEEE International Workshop on IP Operations & Management (IPOM'06), LNCS-Springer-Verlag, Dublin, Ireland*, 4268:205–217.
- Verdi, F. L., Madeira, E., and Magalhães, M. (2006d). Web Services and SOA as Facilitators for ISPs. *International Conference on Telecommunications (ICT'06), Madeira Island, Portugal*.
- Verdi, F. L., Madeira, E., and Magalhães, M. (2006e). Web Services for the New Internet: Discussion and Evaluation of the Provisioning of Interdomain Services. *IEEE International Telecommunications Symposium (ITS'06), Fortaleza, Brasil*.
- Verdi, F. L., Madeira, E., Magalhães, M., Cardozo, E., and Welin, A. (2007b). A Service Oriented Architecture-based Approach for Interdomain Optical Network Services. *Journal of Network and Systems Management (JNSM), Springer. Aceito para publicação, Junho 2007*, 15(2).