

# GigaManP2P – Uma Infra-estrutura Peer-to-Peer para Gerenciamento de Redes Ópticas

Lisandro Zambenedetti Granville<sup>1</sup>, Luci Pirmez<sup>2</sup>, Elias Procópio Duarte Jr.<sup>3</sup>, José Neuman de Souza<sup>4</sup>, Rossana Maria de Castro Andrade<sup>4</sup>, Liane Margarida Rockenbach Tarouco<sup>1</sup>, Reinaldo de Barros Correia<sup>2</sup>, Alexandre Lages<sup>2</sup>

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Informática<sup>1</sup>  
Av. Bento Gonçalves, 9500 - Bloco IV - Porto Alegre, RS  
{granville, liane}@inf.ufrgs.br

Universidade Federal do Rio de Janeiro - Núcleo de Computação Eletrônica<sup>2</sup>  
Prédio do CCMN, Bloco C - Cidade Universitária, Ilha do Fundão - Rio de Janeiro, RJ  
{luci, alexandrelages}@nce.ufrj.br, reinaldo@posgrad.nce.ufrj.br

Universidade Federal do Paraná - Depto. Informática<sup>3</sup>  
Caixa Postal 19018 - Curitiba, PR  
elias@inf.ufpr.br

Universidade Federal do Ceará - Departamento de Computação<sup>4</sup>  
Campus do Pici, Bloco 910 - Fortaleza, CE  
{neuman, rossana}@lia.ufc.br

**Abstract.** *Managing long distance backbones based on high speed optical networks requires new solutions for challenging tasks. For instance, operators and users located at different administrative domains must communicate with each other in order to configure and monitor agreed quality of service levels. This paper proposes a novel peer-to-peer (P2P) management architecture for optical networks, focused initially on the new RNP Giga backbone. In the proposed architecture, peers provide, in a ubiquitous fashion, management information to modules that interface with both the optical infrastructure and the network users. This paper also presents preliminary experiments carried out in order to evaluate the processing overhead imposed by the P2P infrastructure on the SNMP-based management platform.*

**Resumo.** *O gerenciamento de backbones de longa distância constituídos por redes ópticas de alta velocidade apresenta vários novos desafios. Entre esses desafios, administradores e usuários de redes de sistemas autônomos diferentes devem interagir para configurar e monitorar níveis acordados de qualidade de serviço. Neste artigo é apresentada uma arquitetura peer-to-peer (P2P) para o gerenciamento de redes ópticas, inicialmente voltada para o novo backbone Giga da RNP. A arquitetura permite que os peers disponibilizem, de forma ubíqua, informações de gerenciamento, se comunicando de modo confiável e interagindo com módulos que fazem interface tanto com a infra-estrutura física quanto com os usuários. Experimentos preliminares são efetuados com o intuito de averiguar a sobrecarga computacional da infra-estrutura P2P adicionada à plataforma de agentes de gerência.*

## 1. Introdução

A garantia de níveis de qualidade de serviço (QoS - *Quality of Service*) em redes de computadores, em particular em redes ópticas, depende da presença de uma infraestrutura de gerenciamento precisa e eficiente. As soluções convencionais de gerenciamento não possuem, normalmente, facilidades para monitoração e configuração de dispositivos ópticos, e nem interagem com as aplicações de usuários para determinar as necessidades que as mesmas possuem em relação às facilidades de velocidade e confiabilidade oferecidas pela rede óptica. Uma infra-estrutura de gerenciamento para redes ópticas deve ser de fácil atualização e flexível o suficiente para suportar a implantação de novas funcionalidades com a devida rapidez. Assim, é possível afirmar que usuários e suas aplicações só poderão utilizar plenamente as facilidades de uma rede óptica se uma infra-estrutura de gerenciamento adequada se fizer presente.

Neste artigo introduzimos uma infra-estrutura *peer-to-peer* (P2P) para gerenciamento de redes ópticas. Tal infra-estrutura se constitui em uma solução capaz de intermediar as necessidades das aplicações de usuários (com o objetivo de fornecer uma QoS aceitável) com o conjunto de facilidades oferecidas pelas redes ópticas. Os serviços de gerenciamento são oferecidos para três tipos de clientes distintos: administradores de rede, usuários e aplicações. O acesso a tais serviços envolve uma comunicação de um desses clientes com um *peer* da rede P2P de gerenciamento.

Além disso, apresentamos neste artigo os testes realizados com o intuito de verificar, do ponto de vista de gasto de processamento, a viabilidade do uso da infra-estrutura P2P adicionada a uma plataforma de agentes de gerenciamento. Em outras palavras, será verificada a carga computacional dos *peers* de gerenciamento quando esses necessitam monitorar variáveis dos dispositivos ópticos através do protocolo SNMP (*Simple Network Management Protocol*) [Case]. Tal medida será comparada a uma segunda medida obtida através de um acesso SNMP direto ao dispositivo óptico, sem o uso da infra-estrutura P2P de gerenciamento.

Na próxima seção, este artigo apresenta uma revisão das tecnologias de gerenciamento tradicionais bem como a inadequação de algumas de suas características para o gerenciamento de redes ópticas. Na seção 2 também serão mostrados os principais conceitos associados às redes P2P que foram utilizados na definição da arquitetura proposta, que é apresentada na seção 3. A seção 4 descreve os serviços de gerenciamento que a infra-estrutura P2P oferece aos seus clientes de forma que tais clientes tenham acesso às facilidades da rede óptica de maneira coordenada. A seção 5 apresenta os testes realizados com o intuito de averiguar a carga computacional da infra-estrutura P2P. Por fim, a seção 6 apresenta as conclusões e os trabalhos futuros.

## 2. Gerenciamento de Redes Tradicional e Gerenciamento Cooperativo

O SNMP (*Simple Network Management Protocol*) [Case] é um protocolo de gerenciamento de redes amplamente aceito e utilizado há vários anos nos diferentes tipos de redes de computadores. Padronizado pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*), o SNMP acabou se tornando a solução padrão *de facto* no gerenciamento de redes TCP/IP. Entretanto, as limitações do SNMP inibem sua utilização em todos os domínios de gerenciamento. Por exemplo, devido a questões de segurança, dificilmente o protocolo é aceito como ferramenta para configuração de dispositivos.

Nos últimos anos, diversas soluções alternativas foram propostas com o intuito de complementar ou até mesmo substituir o SNMP. Agentes móveis [Berkovits], redes ativas [Psounis], gerenciamento por delegação [Goldszmidt] e Web Services [Neisse] são exemplos de investigações que receberam grande atenção do mundo acadêmico.

Nos organismos de padronização internacionais, principalmente no IETF, nota-se também um movimento intenso na definição e padronização de novas soluções de gerenciamento. O grupo de trabalho SNMPConf [MacFaden] mantém o foco, por exemplo, na investigação de adequações do SNMP para prover suporte apropriado à configuração de equipamentos. Com o mesmo objetivo de prover suporte à configuração de dispositivos, o grupo NETConf [Enns] vem definindo um novo protocolo de configuração baseado na tecnologia XML (*Extensible Markup Language*). Por fim, um consórcio formado pela Microsoft, Intel, Dell e AMD vêm recentemente tentando padronizar uma solução de gerenciamento de redes baseada em Web Services chamada de ws-management [Geller].

É interessante notar que a maioria das soluções alternativas ao SNMP se concentra apenas nas questões tecnológicas, mas pouco é observado em relação ao ambiente em que tais tecnologias irão operar. De forma geral, pode-se afirmar que as soluções de gerenciamento estabelecidas são orientadas ao gerenciamento de dispositivos, e não voltadas ao gerenciamento orientado a redes. Esse contexto atual, portanto, dificulta o gerenciamento de redes de nova geração, como as redes ópticas, uma vez que tecnologias estabelecidas, como o SNMP, estão focadas no gerenciamento de dispositivos, e não em uma visão de rede mais ampla.

Para exemplificar, considere a rede óptica do projeto Giga da RNP [Giga]. A rede é formada por dispositivos ópticos distribuídos ao longo de pontos fisicamente distantes, dispersos nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Potencialmente, ao longo da rede, domínios administrativos distintos podem ser formados, cada qual com uma administração própria que define políticas de operação locais. Usuários localizados nesses domínios distintos possivelmente necessitarão de serviços de comunicação que requerem a reserva de recursos de redes que transpassam dois ou mais desses domínios. As atuais tecnologias de gerenciamento, por outro lado, não são capazes de fornecer um gerenciamento adequado nesse cenário, pois são voltadas ao gerenciamento dos dispositivos e não ao gerenciamento baseado na rede composta por domínios administrativos distintos.

Embora o gerenciamento envolvendo domínios administrativos diferentes não seja uma necessidade recente [Levi], com a introdução de redes de alta velocidade, tal gerenciamento não pode mais ser calcado na interação direta entre operadores de redes que se comunicam, por exemplo, via telefone. Nesse sentido, é necessário que a solução de gerenciamento possa fornecer um gerenciamento cooperativo, onde os operadores em domínios diferentes interagem uns com os outros através das facilidades de gerenciamento fornecidas pela infra-estrutura de gerência. Entretanto, as atuais soluções de gerenciamento não são adequadas para fornecer tal gerenciamento cooperativo.

O gerenciamento cooperativo envolve, obviamente, a cooperação entre entidades de software de gerenciamento localizadas em domínios administrativos diferentes. Já a tecnologia *peer-to-peer* (P2P), desde a sua criação, foi voltada para a cooperação entre usuários, seja para o compartilhamento de arquivos, banda ou troca de

mensagens. A proposta deste trabalho faz uso de tecnologias P2P para gerenciamento de redes, habilitando o gerenciamento cooperativo entre domínios distintos.

Na próxima seção apresentamos a arquitetura proposta para o gerenciamento de redes ópticas através de uma infra-estrutura de gerência baseada em uma rede P2P.

### **3. Arquitetura P2P para Gerenciamento de Redes Ópticas**

Redes P2P são redes lógicas implantadas sobre uma infra-estrutura de redes físicas [Oram]. Os nodos de uma rede P2P, chamados de *peers*, são instalados em computadores de usuários e possuem ligações lógicas com outros *peers* da mesma rede. *Peers* entram e saem da rede P2P ao longo do tempo, o que acaba por tornar a topologia da rede extremamente dinâmica. Os modelos de redes P2P podem ser caracterizados de várias formas, fazendo uso de parâmetros frequentemente utilizados como, por exemplo, a presença ou não de um servidor central que concentra algumas informações da rede, tais como a lista de *peers* ativos e os recursos que cada *peer* possui (ex.: arquivos, capacidade de processamento, largura de banda, etc.).

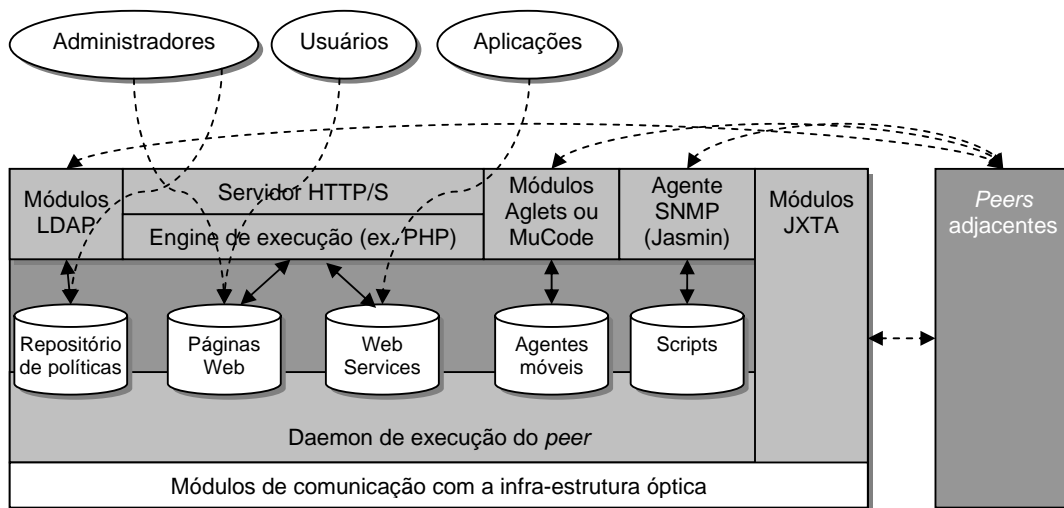
A infra-estrutura P2P de gerenciamento proposta neste artigo, conforme já mencionado na seção 1, constitui-se em uma solução de gerenciamento capaz de intermediar as necessidades das aplicações de usuários - fornecendo uma qualidade de serviço aceitável para a aplicação - com o conjunto de facilidades oferecidas pelas redes ópticas. Para alcançar tal objetivo, a infra-estrutura P2P de gerenciamento oferece serviços de gerenciamento para três tipos de clientes distintos: administradores de rede, usuários e aplicações. O acesso a tais serviços envolve uma comunicação de um desses clientes com um *peer* de gerenciamento da rede P2P.

#### **3.1. Estrutura de um *Peer* de Gerenciamento**

Ao longo da estrutura de uma rede óptica gerenciada pela solução proposta, são instalados *peers* para atender às solicitações de clientes locais. Cada *peer* de gerenciamento pode ser visto como um servidor que procura atender às necessidades de um conjunto de clientes locais. Cada *peer* da infra-estrutura fornece, além dos serviços aos seus clientes, um conjunto de serviços adicionais aos outros *peers* que permitem a colaboração entre os *peers* localizados ao longo da rede óptica gerenciada.

Para a disponibilização dos serviços de gerenciamento, cada *peer* possui uma estrutura, apresentada na Figura 1, que fornece o seguinte conjunto de interfaces de comunicação:

- Interface de comunicação entre *peers* (implementada via JXTA [Gong]);
- Interface para transferência de *scripts* (implementada via MIB Script);
- Interface para recepção de políticas (via Web Services [Curbera] e LDAP [Wahl]);
- Interface para recepção de agentes móveis (via Aglets [Oshima] ou MuCode [Picco]).



**Figura 1 - Estrutura de um *peer* de gerenciamento**

### 3.2. Comunicação entre Clientes e *Peers*

Os clientes administradores de redes acessam seus serviços de gerenciamento via páginas Web dinâmicas criadas a partir do processamento de uma *engine*, como, por exemplo, PHP [Ayala]. Tal acesso permite ao administrador criar políticas de gerenciamento armazenadas no repositório de políticas. Outras políticas também podem ser adquiridas de repositórios externos (ex.: da infra-estrutura de diretórios do GT-Diretórios ou do GT-Config [GTConfig] da RNP) através do módulo LDAP (*Lightweight Directory Access Protocol*) [Wahl]. O mesmo módulo LDAP tem a função de enviar as políticas armazenadas no repositório interno do *peer* em questão para outros *peers*.

Os clientes usuários, por sua vez, também acessam seus serviços de gerenciamento através de páginas Web. As solicitações de serviços dos usuários, administradores e aplicações são passadas ao *daemon* de execução do *peer* que valida a solicitação de acordo com o serviço solicitado e com a identificação do cliente. No caso das aplicações, existe ainda um repositório de Web Services que fornecem os mesmos serviços oferecidos aos usuários nas páginas Web.

Para o suporte a agentes móveis e *scripts* existem os módulos Aglets/MuCode [Picco] e Jasmin [Quittek], além de dois repositórios para armazenar os agentes e os *scripts*. Assim como o módulo LDAP, os módulos de agentes e *scripts* também têm a função de encaminhar informações de transferência de agentes e *scripts* a outros *peers*.

### 3.3. Comunicação entre *Peers* e Infra-estrutura Óptica

Na parte inferior da estrutura de um *peer* são encontrados os módulos de comunicação com a infra-estrutura óptica. Eles têm a responsabilidade de entrar em contato com os dispositivos para efetuar monitorações e configurações, e, principalmente, abstrair do resto da estrutura as particularidades (ex.: protocolos de configuração, formato dos documentos XML, etc.) de comunicação com os dispositivos.

As ações executadas pelos módulos de comunicação com a infra-estrutura óptica são regidas pelo *daemon* do *peer*, que tem contato com as políticas, agentes e *scripts*

internos. Além das interfaces apresentadas na Figura 1, outras interfaces podem ser instaladas através da expansão de cada *peer* pelos agentes móveis, conforme a necessidade das aplicações usuárias da rede.

#### 4. Serviços Oferecidos

A infra-estrutura P2P de gerenciamento, conforme já mencionado, oferece serviços de gerenciamento para os administradores de rede, os usuários e as aplicações. Tais serviços serão detalhados nas subseções a seguir.

##### 4.1. Serviços de Gerenciamento Disponibilizados aos Administradores

Os administradores são responsáveis por garantir o correto funcionamento de uma rede óptica, de forma a suprir as necessidades de comunicação dos usuários. Um administrador, em contato com um *peer*, tem acesso aos seguintes serviços: manipulação e uso de políticas, difusão e execução de *scripts* de gerenciamento, disseminação de agentes móveis e monitoração da conectividade da rede.

*A manipulação e o uso de políticas* permite ao administrador determinar como a infra-estrutura óptica deve responder às requisições dos usuários e das aplicações, principalmente em relação a QoS, tráfego *multicast* e segurança. Sem o uso de políticas, os recursos da infra-estrutura óptica acabariam sendo alocados de forma não coordenada. Além disso, o uso de políticas permite ao administrador abstrair as particularidades de configuração dos dispositivos ópticos, já que cada *peer* traduz as políticas expressas em alto nível em ações de configuração particulares dos dispositivos. Por exemplo, uma política para reserva de banda pode ser traduzida em linhas de executados sobre um *switch* óptico que aceita TELNET/CLI como interface de gerenciamento. Nesse contexto, um *peer*, ao traduzir uma política em ações de configuração, opera como um PDP (*Policy Decision Point*) da arquitetura PBNM (*Policy-Based Network Management*) [Strassner] do IETF.

No processo de configuração dos dispositivos, os *peers* utilizam protocolos variados, dependendo do conjunto de protocolos de configuração suportados pelo dispositivo alvo. Para lidar com essa diversidade de protocolos, um *peer* funciona, internamente, utilizando configurações de dispositivos baseadas em XML. O uso de XML como mecanismo de configuração já é suportado por diversos fornecedores, e incentivado fortemente pelo IETF através de seu grupo de trabalho NETConf [Enns]. Para dispositivos sem suporte a XML, os *peers* traduzem os documentos XML em ações do protocolo suportado pelo dispositivo (ex.: TELNET/CLI, SNMP, COPS, etc.).

*A difusão e a execução de scripts* de gerenciamento permitem ao administrador solicitar que a rede P2P execute ações na infra-estrutura óptica de forma a efetuar uma tarefa específica (ex.: criação de caminhos MPLS (*Multi-Protocol Label Switching*) com alocação de banda para uma videoconferência). O suporte a *scripts* é baseado na MIB (*Management Information Base*) Script [Souza], definida pelo IETF no contexto de gerenciamento por delegação. Cada *peer*, neste caso, possuirá um agente SNMP interno que suporta a MIB Script, de forma a permitir que *scripts* sejam enviados aos *peers* da infra-estrutura de gerenciamento.

*A disseminação de agentes móveis* é similar ao uso de *scripts*, exceto pelo fato dos agentes também serem utilizados como mecanismo de expansão dos serviços

oferecidos. Nesse sentido, pode-se dizer que a disseminação de agentes móveis é um meta-serviço, cuja função é permitir ao administrador implantar novos serviços de gerenciamento na rede P2P.

Por fim, a *monitoração da conectividade da rede* é o serviço que permite ao administrador verificar o estado corrente da infra-estrutura óptica para tomar decisões em relação à alocação de recursos aos usuários. Os protocolos utilizados na verificação do estado da rede, assim como na configuração, são aqueles suportados pelos dispositivos (ex.: ICMP, SNMP, etc.).

O acesso a esses serviços da rede P2P, por parte do administrador, é alcançado através de HTTP (*HyperText Transport Protocol*) ou HTTPS (*HTTP Secure*). Cada *peer* possui um servidor HTTP que exporta interfaces Web para interação com o administrador, de forma que o mesmo tenha acesso aos serviços. Nesse sentido, a rede P2P de gerenciamento se assemelha muito ao conceito de FreeNet [Clarke] que tem como representante mais importante o sistema BitTorrent de compartilhamento de recursos.

#### **4.2. Serviços de Gerenciamento Disponibilizados aos Usuários**

Oferecer serviços de gerenciamento aos usuários permite que tais usuários também tenham controle, ainda que restrito, sobre os recursos de rede necessários à realização de suas tarefas. A disponibilização de tais serviços diminui a necessidade de interação humana entre usuários e administradores, o que agiliza o gerenciamento. Os serviços de gerenciamento aos usuários são: solicitação de tráfego diferenciado, habilitação de transmissões *multicast*, e solicitação de notificações sobre o estado da rede.

A *solicitação de tráfego diferenciado* permite ao usuário agendar transmissões críticas e ter garantias de que a rede óptica irá respeitar os parâmetros de desempenho solicitados. Nesse caso, os *peers* da rede P2P podem ser vistos como *Bandwidth Brokers* (BB) da arquitetura de fornecimento de QoS DiffServ [Blake]. Para que as solicitações ocorram com sucesso, os *peers* precisam configurar os dispositivos ópticos de rede de modo a fornecer a diferenciação de tráfego solicitada. Entretanto, tal configuração só é realizada se a solicitação do usuário estiver de acordo com as políticas de gerenciamento definidas pelo administrador, como apresentado anteriormente.

A *habilitação de transmissão multicast* permite ao usuário informar sua necessidade para realizar transmissões *multicast* e, por fim, o serviço para *solicitação de notificações sobre o estado da rede* permite ao usuário solicitar que a infra-estrutura P2P envie notificações síncronas (ex.: janelas de pop-up) e assíncronas (ex: e-mail) sobre estados da infra-estrutura óptica. Por exemplo, o usuário poderá solicitar que uma notificação lhe seja enviada quando a banda disponível em um caminho for suficiente para comportar uma transmissão de replicação de vídeo em servidores de vídeo distribuídos.

Assim como na solicitação de tráfego diferenciado, a habilitação de *multicast* e a solicitação de notificações só terão sucesso se estiverem de acordo com as políticas de rede definidas pelo administrador. Portanto, as políticas de gerenciamento acabam regendo o comportamento dos serviços de gerenciamento disponibilizados aos usuários.

Da mesma forma que nos serviços de gerenciamento para os administradores, os serviços para os usuários também são acessíveis através de HTTP/HTTPS. Os usuários que desejam acessar um dos serviços disponíveis entram em contato com um *peer* da infra-estrutura de gerenciamento e, através de sua autenticação via interfaces Web, tem acesso aos seus serviços disponíveis.

### 4.3. Serviços de Gerenciamento Disponibilizados às Aplicações

Os mesmos serviços de gerenciamento disponibilizados aos usuários são disponibilizados também às aplicações. Entretanto, o método de acesso a esses serviços é diferente. No caso dos serviços oferecidos aos usuários, páginas Web são disponibilizadas pelos *peers*. Já no caso dos serviços oferecidos às aplicações, são Web Services que disponibilizam os serviços de gerenciamento. O uso de Web Services permite, por exemplo, que uma aplicação cliente receba notificações de ociosidade da rede para então, automaticamente, iniciar uma transferência de arquivos de vídeo.

Serviços de gerenciamento disponibilizados às aplicações são especialmente importantes para aplicações de cooperação e compartilhamento de recursos, como *grids*, onde a infra-estrutura de rede deve estar adequadamente configurada para que as transmissões entre os nodos do *grid* sejam realizadas de forma adequada. Adicionalmente, diversas outras aplicações como as aplicações de replicação de vídeo em uma malha de servidores, aplicações para colaboração, e até mesmo aplicações mais convencionais, como *backup* de uma base de dados, também se beneficiam da disponibilização de serviços de gerenciamento.

### 4.4. Serviços entre Peers

A infra-estrutura P2P monitora a situação da rede no que diz respeito ao desempenho dos serviços que estão sendo prestados às aplicações e aos usuários para indicar quando e porque os níveis desejados de QoS não estão sendo alcançados. De acordo com o serviço solicitado, os *peers* podem executar um gerenciamento pró-ativo, de forma que ações sejam desencadeadas antecipadamente, com o objetivo de se tentar evitar ou, pelo menos, minimizar as conseqüências das falhas ou degradações que venham a ocorrer. As ações são desencadeadas após análises das informações trocadas pelos *peers* da arquitetura, usando simulações rápidas, extrapolações ou técnicas de inteligência artificial, com o objetivo de prever a ocorrência de um determinado problema.

A conectividade da infra-estrutura é crítica para manter os *peers* em comunicação constante. A rede P2P estabelece conexões lógicas entre os *peers* para que estes possam executar tarefas de forma coordenada e alcançar um objetivo comum. Nesse contexto, com o intuito de garantir a alta confiabilidade e tolerância à falhas aos serviços da infra-estrutura de gerência, um mecanismo de re-roteamento é utilizado pelos *peers*. Após a descoberta de uma falha na rota em uso, é selecionado um caminho alternativo denominado *desvio*. Os desvios são selecionados a partir de critérios de conectividade [Duarte], permitindo a escolha de caminhos com mais chances de estarem funcionais na presença de falhas na rede. As aplicações de usuários, entretanto, não utilizam o mecanismo de re-roteamento diretamente, já que o mesmo é transparente para elas. O re-roteamento está disponível somente à infra-estrutura de gerenciamento. Essa infra-estrutura tem a responsabilidade de invocar e interromper o mecanismo de re-roteamento de forma coordenada em função das necessidades das aplicações, dos



usuários, e do estado da rede. Dessa forma, falhas de hardware ou degradações da QoS dos níveis superiores ficam transparentes às aplicações.

### 5. Análise da Carga Computacional de um Peer

Os *peers* da infra-estrutura de gerenciamento são implementados utilizando a solução JXTA de código aberto, da Sun. JXTA [Gong] é um *framework* para desenvolvimento de redes P2P com conjuntos de serviços de manutenção da própria rede já definidos e implementados. Dessa forma, a criação de uma rede P2P é facilitada porque os serviços básicos de interconexão, comunicação e procura entre *peers* já estão disponíveis. Sobre esses serviços, outros mais especializados podem então ser desenvolvidos, como os de gerenciamento pró-ativo e re-roteamento apresentados anteriormente. Quanto ao uso de agentes móveis, tal suporte foi obtido através da utilização das arquiteturas Aglets [Oshima] e MuCode [Picco], ambas também de código aberto. A Figura 2 apresenta a estrutura interna detalhada de um *peer* explicitando a organização em camadas dos elementos internos e suas respectivas comunicações.

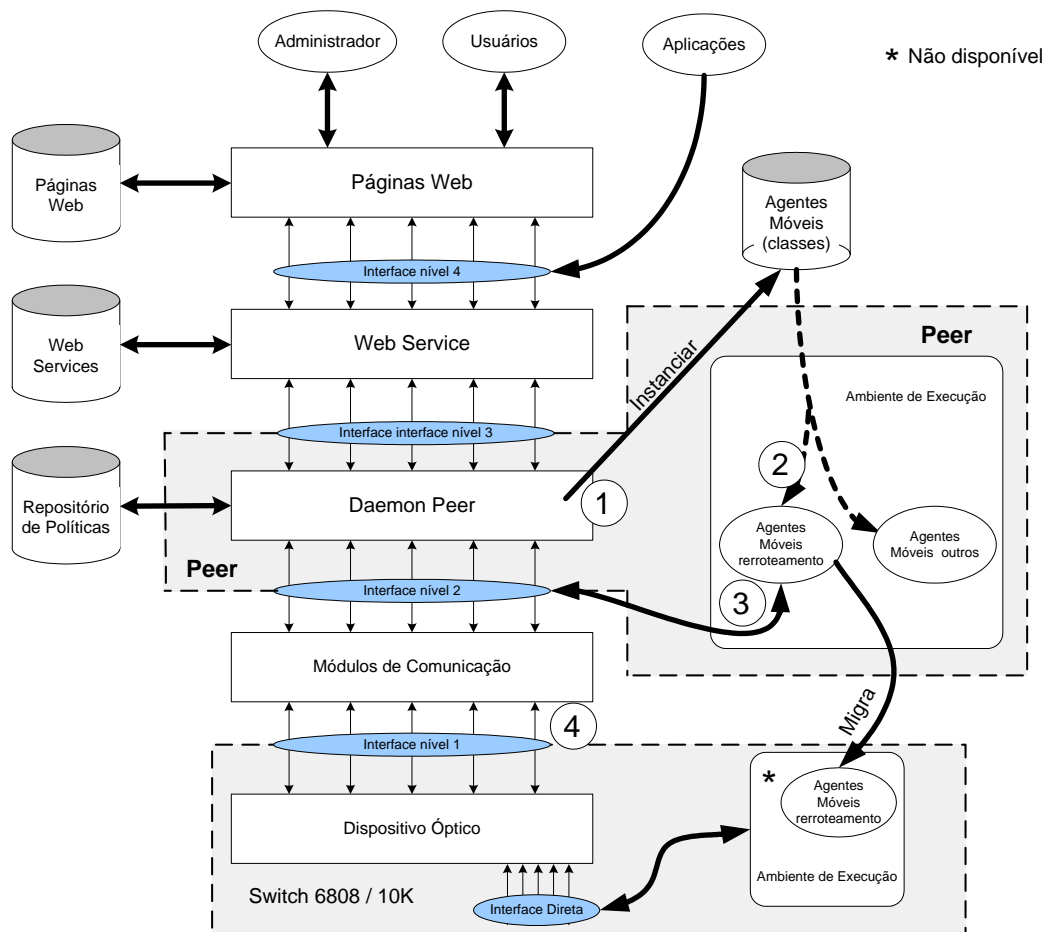


Figura 2 - Estrutura detalhada de um *peer* de gerenciamento

Nessa seção são apresentados testes realizados com o intuito de averiguar a carga computacional da infra-estrutura P2P adicionada à plataforma de agentes. Em outras palavras, será verificada a carga computacional de um *peer* de gerenciamento quando

esse necessita monitorar alguma variável de um dispositivo óptico utilizando como protocolo de consulta/gerenciamento do dispositivo o SNMP. Tal medida será então comparada a uma segunda medida, obtida através de um acesso SNMP direto ao dispositivo óptico, sem o uso da infra-estrutura P2P de gerenciamento.

### 5.1. Ambiente de Testes

Os testes realizados para averiguar a carga computacional da infra-estrutura P2P adicionada à plataforma de agentes SNMP estão descritos a seguir, baseando-se no diagrama da Figura 2. Os testes foram simulados porque os equipamentos ópticos da rede Giga não estavam ainda disponíveis na época da realização deste estudo.

O objetivo dos testes é quantificar a latência introduzida pelas diversas camadas de processamento necessárias na implementação da referida estrutura. Para a realização dos testes foram usadas duas máquinas interligadas por intermédio de uma rede Fast-Ethernet. A primeira máquina possui um processador ATHLON XP1700 instalado em uma placa mãe SOYO/512 MB, e é responsável pela execução dos componentes e agentes da arquitetura de gerenciamento P2P. A segunda máquina é composta por um processador Pentium II 350 MHz e placa mãe ASUS com memória de 256 MB. Tal máquina substitui o dispositivo switch 6808 (que futuramente será gerenciado) e nela foi instalado um agente SNMP versão 5.1.1-2 da própria distribuição Linux. O sistema operacional adotado em ambas as máquinas é o Linux distribuição Fedora 2.

Os testes foram divididos em duas etapas: (i) teste do módulo de comunicação e (ii) teste de disparo dos agentes de re-roteamento. Em ambas as etapas, foram realizadas 30 rodadas de medidas para obter intervalos de confiança aceitáveis. Os resultados desses testes são apresentados nas subseções a seguir.

### 5.2. Teste do Módulo de Comunicação

O teste do módulo de comunicação consiste na medição da latência do processamento originado quando da invocação dos métodos que constituem a interface nível 2 (Figura 2). Para tal, efetuou-se a medição do tempo transcorrido entre o momento anterior à chamada do método da interface nível 2 e o instante imediatamente anterior à invocação do método da interface nível 1 (pontos 3 e 4 da Figura 2). Os métodos utilizados nos testes executaram várias funções de gerência tais como a recuperação de objetos MIB e atualização de variáveis MIB. Os tempos de processamento foram obtidos considerando duas abordagens de implementação: (i) utilização de objetos de classes da SmpAPI fornecida pela empresa AdventNet e (ii) execução de comandos de sistema por intermédio da classe *Runtime* da própria API do Java. A Tabela 1 resume os tempos médios de processamento obtidos nas duas abordagens:

	API AdventNet				Classe Runtime			
	Get	GetNext	GetBulk	Set	Get	GetNext	GetBulk	Set
<i>Média</i>	1390.27	1390.23	1397.33	1392.87	98.5	97.8	102.17	99.67
<i>Desvio Padrão</i>	1.337	0.568	6.233	0.346	8.83	6.57	7.65	5.16
<i>Int. Conf.(95%)</i>	0.0153	0.0065	0.0714	0.0040	0.1011	0.0752	0.0876	0.0590

**Tabela 1 - Latência de processamento do Módulo de Comunicação (ms)**

Nos valores constantes na Tabela 1, estão incluídos os tempos de envio e resposta na rede de teste, que é constituída, como citado anteriormente, de uma rede Fast-Ethernet (100 Mbps) sem tráfego de fundo que interliga as duas máquinas.

Os tempos obtidos utilizando a SnmpAPI da AdventNet são relativamente elevados devido à sobrecarga de processamento adicional introduzida por esta API. Para o envio de uma mensagem SNMP ao agente, é instanciado um conjunto de classes pertencentes à API para a geração dos objetos que executam as requisições SNMP. Essa sobrecarga corresponde a 92,91% do tempo médio total (método Get) apresentado na Tabela 1, ou seja, a latência efetiva da requisição SNMP através do Java corresponde, em média, a somente 98,5 ms, incluindo os tempos de processamento nas máquinas e o RTT da rede Fast-Ethernet que totalizaram 55,0 ms. Entretanto, a sobrecarga maior utilizando a primeira abordagem ocorre durante a primeira requisição, devido aos instantiamentos das classes, conforme mencionado anteriormente. A partir da segunda requisição, devido ao efeito *cache*, alguns dos objetos já estarão carregados na memória. Sendo assim, foi realizado um teste extra para medir o tempo médio de execução de requisições SNMP nesta situação. Efetuou-se um conjunto de 30 requisições em uma mesma sessão, com alguns dos objetos da SnmpAPI já carregados na memória. Obteve-se um tempo médio de 1027,10 ms para a requisição do tipo Get, desvio padrão de 13,501 ms e um intervalo de confiança (95,0%) de 0,0941 ms.

Portanto, com o intuito de melhorar o desempenho computacional da infraestrutura P2P, constatou-se através dos testes a necessidade de se alterar tal infraestrutura. Uma maneira seria a inclusão de um novo componente, por exemplo, um agente utilitário, que visitasse todos os dispositivos gerenciados durante a carga do sistema (isto é, na inicialização), realizando as operações de criação de objetos da SnmpAPI. Esses agentes permaneceriam ativos durante todo o tempo de operação do sistema. A inclusão desse novo componente permitiria reduzir em 26,12% os tempos gastos pelos agentes para o envio de requisições SNMP.

Como pode ser observado na Tabela 1, a implementação segundo a abordagem que usa a classe Runtime do Java resultou na redução considerável da latência dessas operações, em virtude da eliminação do processamento necessário para a criação dos objetos das classes da SnmpAPI. Um desenvolvimento adicional de código para a análise do resultado obtido do método executado segundo essa abordagem se faz necessário. Este código pode então provocar um impacto no tamanho do agente e, conseqüentemente, ocasionar no aumento do tempo de envio dos agentes entre as estações, além de tornar o seu código específico para uma única plataforma.

Para contornar esse problema, torna-se necessária a criação e o uso de agentes utilitários, especializados na plataforma instalada, que sejam disparados em tempo de carga do sistema. Esses agentes estariam disponíveis na memória, disponibilizando por intermédio de suas interfaces as informações de sistema aos agentes de re-roteamento quando esses estivessem atuando na referida plataforma, evitando, assim, a personalização dos agentes de re-roteamento e crescimento dos seus códigos.

Concluindo, com a utilização da classe Runtime, os códigos dos agentes de re-roteamento tornaram-se maiores, impactando negativamente a latência de migração. Adicionalmente, perde-se generalidade na solução, pois esses agentes são particularizados para cada tipo de plataforma. Nesse aspecto, a abstração introduzida

pelo uso da SnmpAPI tem a vantagem de tornar a solução independente de plataforma ao custo de um significativo aumento de latência nas requisições SNMP.

### 5.3. Teste de disparo dos Agentes de Re-roteamento

Este teste tem como objetivo avaliar o tempo de carga do agente de re-roteamento. Para tal, efetuou-se a medida de tempo a partir do instante em que é gerada uma instância do agente de re-roteamento (ponto 1 da Figura 2) até o momento em que o agente está pronto para começar a sua execução (ponto 3 da Figura 2) na estação de destino. Durante este intervalo de tempo, o agente sofre o processo de serialização, envio para a máquina remota (neste teste não foi incluído o tempo de envio para a máquina remota, pois o envio do agente foi feito para a própria máquina), e por fim, o processo de desserialização do mesmo (pontos 2 e 3 da Figura 2). A Tabela 2 apresenta o tempo médio obtido, assim como seu desvio padrão e intervalo de confiança.

	Tempo
<i>Média</i>	494.17
<i>Desvio Padrão</i>	59.802
<i>Int. Confiança (95%)</i>	0.6847

**Tabela 2 - Tempo de instanciamento do Agente de Re-roteamento (ms)**

A redução da latência do tempo de disparo dos agentes pode ser obtida através da diminuição do seu código. Para tanto, as operações e funcionalidades oferecidas por esses componentes devem apresentar baixa complexidade computacional, algoritmos otimizados e em número reduzido. Esta abordagem se justifica, uma vez que as operações de re-roteamento devem ser executadas em tempo exíguo de forma a não causar impacto às aplicações de usuários. Nesse contexto, a inserção dos agentes utilitários mencionada anteriormente na arquitetura P2P torna-se ainda mais relevante. A idéia central é transportar o maior número possível de funcionalidades dos agentes de re-roteamento para esses agentes utilitários.

## 6. Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste artigo apresentamos uma arquitetura *peer-to-peer* (P2P) para gerenciamento cooperativo de redes ópticas. O gerenciamento cooperativo é uma necessidade real atual no contexto de gerenciamento de redes, mas nenhuma das soluções tradicionais, normalmente baseadas no SNMP, é capaz de fornecer um suporte adequado. Por outro lado, as redes P2P nasceram com o objetivo de permitir a cooperação entre os usuários. Assim, é natural e inclusive necessária a utilização de tecnologias P2P na definição e construção de novos modelos de gerenciamento de redes.

A solução de gerenciamento proposta neste artigo tem por objetivo negociar as necessidades de três tipos de clientes distintos (isto é, administradores de redes, usuários e aplicações) levando em consideração o conjunto de facilidades oferecidas pelas redes ópticas. Para isso, a infra-estrutura P2P de gerenciamento oferece serviços de gerenciamento que prevê a comunicação de um desses clientes com um *peer* de gerenciamento da rede P2P. Cada *peer* da infra-estrutura fornece tanto serviços aos seus clientes quanto um conjunto de serviços adicionais aos outros *peers* para permitir a colaboração ao longo da rede óptica gerenciada. Conforme detalhado neste artigo,

tecnologias como JXTA, MIB Script, Web Services, LDAP, Aglets e MuCode são utilizadas nas interfaces que compõem a estrutura de cada *peer*.

Além de apresentar a arquitetura da solução proposta e os detalhes internos da estrutura de um *peer* de gerenciamento, o artigo também mostrou os resultados obtidos através de testes de desempenho. O objetivo desses testes foi o de verificar qual o impacto imposto por *peers* de gerenciamento, principalmente quando comparados ao desempenho de acessos diretos aos agentes de gerenciamento SNMP. Como esperado, o desempenho dos *peers* é inferior ao acesso direto, uma vez que o número de camadas de software do *peer* é mais elevado. Por outro lado, o conjunto de serviços de gerenciamento fornecidos por um *peer* é maior e mais sofisticado.

Como trabalhos futuros, avaliações de outros aspectos da arquitetura P2P proposta deverão ser executadas. Por exemplo, verificar o tempo decorrente da aplicação de uma política de gerenciamento através de um *peer*, e o retardo na instalação de novos serviços dinâmicos através do uso de agentes móveis. Por fim, é relevante desenvolver uma metodologia de análise da QoS fornecida pela rede para validar se as configurações executadas pela infra-estrutura de gerenciamento efetivamente conseguem sustentar os níveis de qualidade de serviço acordados.

## **Agradecimento**

Os autores agradecem à RNP (Rede Nacional de Ensino e Pesquisa), ao CPqD e à FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) por apoiarem o desenvolvido do trabalho relatado neste artigo.

## **Referências**

- Ayala, D. (2003) "NuSOAP - Web Services Toolkit for PHP", <http://dietrich.ganx4.com/nussoap/>, November.
- Berkovits, S., Guttman JD, and Swarup V. (1998) "Authentication for Mobile Agents". In: Vigna G. *Mobile Agents and Security*. 1. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag.
- Blake, S. et. al. (1998) "An Architecture for Differentiated Services". RFC 2475, Internet Engineering Task Force, December. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2475.txt>.
- Case, J., Mundy, R., Partain, D. and Stewart, B. (2002) "Introduction and Applicability Statements for Internet Standard Management Framework", RFC 3410, IETF.
- Clarke, I., Sandberg, O., Wiley, B., Hong, T.W. (2000) "Freenet: A distributed anonymous information storage and retrieval system", Proceedings of the Workshop on Design Issues in Anonymity and Unobservability, LNCS 2009, July.
- Curbera, F., Duftler, M., Khalaf, R., Nagy, W., Mukhi, N. and Weerawarana, S. (2002) "Unraveling the Web Services Web: an Introduction to SOAP, WSDL, and UDDI", In: IEEE Internet Computing, Vol. 6, Issue 2, p. 86-93.
- Duarte, E., Santini, R., Cohen, J. "Delivering Packets During the Routing Convergence Latency Interval through Highly Connected Detours," Proceedings of the IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN'2004), Dependable Computing and Communications (DCC) Symposium," pp. 495-504, Florence, Italy, 2004.

- Enns, R. (2004) "NETCONF Configuration Protocol". IETF Internet draft <draft-ietf-netconf-prot-04> (work in progress).
- Geller, Alan (Microsoft – Editor) et al. (2004) – Web Services for Management (WS-Management). Available at [http://www.intel.com/technology/manage/downloads/ws\\_management.pdf](http://www.intel.com/technology/manage/downloads/ws_management.pdf).
- Giga, Projeto GIGA – Chamada RNP 02/2003. Disponível em [http://www.rnp.br/\\_arquivo/editais/chamada\\_rnp-giga\\_200302.pdf](http://www.rnp.br/_arquivo/editais/chamada_rnp-giga_200302.pdf).
- Goldszmidt, G. e Yemini, Y. Distributed Management by Delegation. 15th International Conference on Distributed Computing Systems. IEEE Communication Society, 1995.
- Gong, L. (2001) "JXTA: A Network Programming Environment", In: IEEE Internet Computing, Vol. 5, Issue 3, p. 88-95.
- GTConfig - Disponível <http://redes.inf.ufrgs.br/gtconfig/>.
- Levi, D. and Schoenwaelder, J. (1999) "Definitions of Managed Objects for the Delegation of Management Scripts", RFC 2592, IETF.
- MacFaden, M., Partain, D., Saperia, J. and Tackabury, W. (2003) "Configuring Networks and Devices with Simple Network Management Protocol (SNMP)", RFC 3512, IETF.
- Neisse, R., Vianna, R. L., Granville, L. Z., Almeida, M. J. B. and Tarouco, L. M. R. (2004) "Implementation and Bandwidth Consumption Evaluation of SNMP to Web Services Gateways", In: 9th IFIP/IEEE Network Operations and Management Symposium (NOMS 2004).
- Oram, A. (2001). "Peer-to-Peer for Academia". Published on the O'Reilly Peer-to-Peer & Web Services Conference.
- Oshima, Mitsuru & LANGE, Danny B. (1998) "Mobile Agents with Java: The Aglet API". Disponível por WWW em <http://aglets.trl.ibm.co.jp/information.html>.
- Picco, Gian Pietro (1998).  $\mu$ Code: A Lightweight and Flexible Mobile Code Toolkit. In Kurt Rothermel and Fritz Hohl, editors, Proceedings of the 2nd International Workshop on Mobile Agents, LNCS, pages 160–171, Springer-Verlag.
- Psounis, K. (1999) Active networks: Applications, security, safety, and architectures. IEEE Communications Surveys, pages 1–16, March.
- Quittek, J., Schoenwaelder, J., Straus, F. (1999) "Jasmin - A Script MIB Implementation". Available at: <http://www.ibr.cs.tu-bs.de/projects/jasmin>.
- Souza, J. N., ROCHA, A., ROCHA, C. A. (2004) "Script MIB Extension for Resource Limitation in SNMP Distributed Management Environments", Fortaleza-Ceará, Brazil, 01-06 August 2004, ICT 2004, Springer-Verlag, LNCS-3124 pp. 835-840.
- Strassner, J. (2003) "Policy Based Network Management Solutions for the Next Generation", Morgan Kaufman Publishing, ISBN1-55860-859-1.
- Wahl, M. et al. (1997) Lightweight Directory Access Protocol (v3). RFC 2251.