

# UMA PROPOSTA PARA O EMPREGO DE TECNOLOGIAS DE REDES ATIVAS NO GERENCIAMENTO DE REDES

**José Helvécio Teixeira Jr**<sup>1</sup>  
helvecio@cos.ufrj.br

**Luís Felipe M. de Moraes**  
moraes@cos.ufrj.br

**Suzana Ramos Teixeira**<sup>2</sup>  
suzana@cos.ufrj.br

Programa de Engenharia de Sistemas e Computação  
COPPE/UFRJ  
Caixa Postal 68511 - CEP 21945-970  
Rio de Janeiro/RJ

## RESUMO

Acreditamos que várias inovações importantes estejam criando uma mudança de paradigma na área de redes, direcionando-a para níveis mais elevados na sua capacidade de programação. Este trabalho apresenta uma visão geral sobre as tecnologias que compõem as redes ativas, fornecendo uma infra-estrutura para a compreensão do estado da arte sobre as mesmas, e apresenta uma proposta inicial para o emprego destas tecnologias no gerenciamento de redes.

## ABSTRACT

We believe that a series of important innovations are creating a paradigm shift in the area of networks leading to higher levels of network programability. This paper presents an overview of active networks, leading to a comprehensive framework of its state of the art, and presents an initial approach for applying those technologies in the management of computer networks.

## 1. INTRODUÇÃO

A habilidade para se poder criar, implementar e gerenciar, de forma rápida, novos serviços que atendam às demandas dos usuários é um fator chave que estimula a comunidade de pesquisadores na área de redes. A introdução de novos serviços é uma tarefa desafiadora e implica a necessidade de mais avanços em metodologias e em ferramentas para a criação desses novos serviços, e implica também a implementação de novas tecnologias de redes. Antes de se poder atender a esses desafios, é necessário que se tenha uma melhor compreensão das limitações das redes existentes e dos fundamentos necessários para torná-las mais programáveis. Existe um vasto consenso de que esses fundamentos de redes estejam fortemente associados com a viabilização de novos ambientes de programação de redes, possivelmente baseados em “suporte a sistemas operacionais que suportem toda a rede (*network-wide*)”, que reconhecem explicitamente a criação de serviços, a implementação e o gerenciamento da infra-estrutura de rede.

(1) Aluno de Doutorado. Bolsista FAPERJ.

(2) Aluna de Doutorado. Bolsista CAPES.

A separação entre o *hardware* de comunicação (por exemplo, fábricas de comutação, *engines* de roteamento) e o *software* de controle, é fundamental para tornar as redes mais programáveis. Tal separação é difícil de ser vislumbrada atualmente. O motivo é que as *switches* e os roteadores são integrados verticalmente (assim como os *mainframes* dos anos 70). Tipicamente, os provedores de serviços não têm acesso aos ambientes de controle dos roteadores/*switches* (por exemplo, não têm acesso ao sistema operacional IOS da Cisco), aos seus algoritmos (por exemplo, protocolos de roteamento) ou aos seus estados (por exemplo, tabelas de roteamento). Tudo isso torna impossível a viabilização de novos serviços de redes devido à natureza fechada dos nós da rede. Evidentemente, esses novos serviços podem ser muito mais flexíveis do que os sistemas de controle proprietários que existem atualmente. A questão é, como iremos “abrir a caixa preta”, para possibilitar a viabilização de *softwares* e de serviços fornecidos por terceiros?

Esse trabalho examina o estado da arte em redes ativas e traça uma proposta inicial para o seu gerenciamento. Apresentamos as duas escolas de pensamento sobre redes ativas: *Active Networks* da DARPA [11] (*Defense Advanced Research Project Agency*), e *Open Signalling* (OpenSig) [9] da Universidade de Columbia. Acreditamos que várias inovações importantes estejam criando uma mudança de paradigma na área de redes, direcionando-a para níveis mais altos na sua capacidade de programação.

### 1.1. Duas Escolas de Pensamento

Para que se possa atender às necessidades que surgem com as novas aplicações, características adicionais precisam ser incorporadas às redes, incluindo a facilidade de adição de novos serviços e de adaptação dos serviços já existentes. Exemplos recentes incluem a introdução de serviços integrados e diferenciados às redes IP, buscando fornecer um nível de qualidade de serviço (QoS) bastante melhorado. No paradigma tradicional, a introdução de novos serviços nas redes é geralmente um processo manual e bastante demorado. O objetivo das redes ativas é simplificar o desenvolvimento de novos serviços, gerando redes que suportam explicitamente o processo de criação e de implementação dos mesmos.

Duas escolas de pensamento existem na área de redes ativas. A primeira delas é endossada pela comunidade OpenSig. Esta comunidade argumenta que, através da modelagem do *hardware* de comunicação pelo uso de uma série de interfaces de redes programáveis abertas, seja possível fornecer um acesso aberto a roteadores e *switches*, permitindo dessa forma, que fornecedores de *software* terceirizados possam ter acesso ao mercado de *software* para telecomunicações. A comunidade Opensig argumenta que através da abertura das *switches* da forma proposta, o desenvolvimento de arquiteturas novas e distintas (por exemplo, redes virtuais) poderá ser alcançado. A sinalização aberta, como o nome já sugere, usa um enfoque de telecomunicações para encarar o problema de criação de uma rede programável. Aqui, existe uma clara distinção entre o transporte, o controle, e o gerenciamento das redes programáveis, e existe também, uma grande ênfase na criação de serviços com garantia de QoS. Recentemente, o projeto IEEE P1520 [19] sobre interfaces de programação para redes adotou o enfoque do Opensig, na tentativa de gerar padrões para interfaces programáveis em *switches* ATM, roteadores IP e em redes de telecomunicações. Nesse modelo, os equipamentos físicos da rede são abstraídos como objetos da computação distribuída (por exemplo, *switches* virtuais, *switchlets*, e estações base virtuais em redes *wireless*) com interfaces de programação abertas muito bem definidas. Tais interfaces abertas permitem que os provedores de serviços possam manipular os estados da rede através do uso

de ferramentas *middleware* (por exemplo, CORBA), o que possibilita a construção e o gerenciamento de uma série de novos serviços em redes.

A Segunda escola de pensamento é endossada pela comunidade endossada pela DARPA, chamada comunidade AN (*active networks*), que advoga a viabilização dinâmica de novos serviços de forma *ad-hoc* e, principalmente, confinados às redes IP já existentes. O nível de suporte dinâmico aos novos serviços vai muito além da proposta da comunidade Opensig, especialmente quando se considera a possibilidade de o escalonamento, a execução e o encaminhamento de pacotes, tomando por base a noção de “pacotes ativos”, possa se realizar. Em um caso extremo de redes ativas, as “cápsulas” poderiam conter programas executáveis. Nas redes ativas, a mobilidade de código representa o principal meio para a entrega de programas, para o controle e para a construção de serviços. A granularidade de controle fornecida pode variar desde o nível de pacote até o nível de fluxo, através da instalação de um elemento completamente novo chamado *switchlet*. Nesse enfoque, o termo “granularidade de controle” refere-se ao escopo do comportamento do roteador/*switch* que pode ser modificado por um pacote recebido por ele. Por um lado, um simples pacote poderia executar a inicialização (*boot*) de um ambiente de *software* completo no nó, o qual passaria a ser enxergado por todos os novos pacotes que chegassem a esse nó. Em outro extremo, um único pacote (por exemplo, uma cápsula) poderia modificar o comportamento do nó enxergado somente por ele mesmo. As redes ativas possibilitam a configuração dos serviços de redes ao nível da granularidade de transporte de pacotes, ao invés de fazê-lo através de um plano de controle programável. As redes ativas oferecem uma flexibilidade máxima para a criação de serviços, porém, a um custo correspondente à adição de uma maior complexidade no nível de programação. O enfoque AN é, no entanto, bem mais dinâmico que o enfoque adotado pelo Opensig para interfaces de programação de redes, o qual é considerado como sendo “quase estático”.

Ambas comunidades compartilham o objetivo comum de desejarem ir muito além dos enfoques e tecnologias existentes atualmente para a construção, a implementação e o gerenciamento de novos serviços em redes de telecomunicações e em redes de computadores. Ambos movimentos incluem um longo espectro de projetos com diferentes enfoques arquiteturais. Por exemplo, nem todos os projetos AN consideram cada pacote como sendo uma “cápsula ativa”, e de forma similar, poucos projetos do Opensig consideram as interfaces para as redes programáveis como completamente estáticas. O enfoque Opensig, no entanto, separa claramente o controle da rede do transporte da informação, e é focado em *switches* programáveis que possam fornecer algum nível de suporte para a garantia de QoS. De forma contrária, os projetos AN têm enfocado historicamente as redes IP, onde a transmissão de dados e de informações de controle faz-se de forma combinada.

## 2. UMA BREVE INTRODUÇÃO ÀS REDES ATIVAS

As redes de computadores convencionais, baseadas em comutação de pacotes, permitem o compartilhamento das facilidades de transmissão para permitirem que os pacotes possam ser movimentados eficientemente entre os sistemas interconectados. Essas redes executam somente o processamento necessário para completar o encaminhamento dos pacotes. Atualmente, devido ao barateamento do poder de processamento dos computadores, um número cada vez maior de funcionalidades interessantes tem sido empregada nas redes de computadores, objetivando uma melhor oferta de serviços para os usuários finais. Exemplos dessas funcionalidades incluem o controle de admissão (para garantir a latência e outras

características de desempenho para certas classes de usuários), a filtragem de pacotes (para proteger os sistemas finais contra eventuais ataques às suas deficiências de segurança), a notificação explícita de congestionamento (para permitir uma melhor acomodação do congestionamento em certos tipos de aplicações), e o TCP “*ack spoofing*” (para melhorar a confiabilidade em *links* vulneráveis). Dessa forma, as redes ativas fornecem uma interface programável nos nós da rede, tornando visíveis os recursos, os mecanismos e as políticas que dão sustentação a uma crescente oferta de funcionalidades, e fornecem mecanismos que permitem que se construam e refinem novos serviços a partir daqueles já existentes. Portanto, do ponto de vista dos usuários, as redes ativas são capazes de suportar modificações dinâmicas no comportamento da rede.

## **2.1. Conceitos Básicos e Nomenclatura**

Uma rede ativa é uma rede do tipo “armazena-e-encaminha”, consistindo de um conjunto de nós interconectados por meio de *links* de transmissão. O propósito da rede é permitir o compartilhamento dos recursos de transmissão. A unidade básica de multiplexação desses recursos de transmissão é o *pacote*. Os nós recebem pacotes dos usuários e de outros nós, executam uma computação baseada no estado interno e na informação contida no cabeçalho dos pacotes e, como resultado, encaminham um ou mais pacotes para outros nós ou para outros usuários na rede. A natureza dos serviços é definida pelo comportamento individual de cada nó, e também pela forma como os usuários podem controlar esse comportamento através do uso da informação codificada contida nos pacotes. Uma definição básica da maior importância é a API (*Application Programming Interface*) de rede, que define todos os aspectos de comportamento que são visíveis para os usuários finais: desde o comportamento do processamento de pacotes nó-a-nó, até o código através do qual os usuários podem controlar o envio de pacotes pela rede.

### **2.1.1. Redes Ativas e Interfaces Programáveis**

Uma rede ativa fornece uma API de rede programável. Uma grande variedade de enfoques para redes ativas podem ser caracterizados através dos seguintes atributos:

- Poder de expressão da linguagem: o grau de programabilidade da API de rede pode variar desde uma simples lista de parâmetros de tamanho fixo, que são selecionados de conjuntos predefinidos, até uma linguagem Turing-completa, capaz de descrever qualquer computação efetiva. A vantagem de uma linguagem menos poderosa é que ela pode limitar os possíveis comportamentos dos nós e, assim, simplificar a análise da correção do processo. Muitos projetos de redes ativas optaram, no entanto, por linguagens mais poderosas que utilizam tipos de dados e outros mecanismos que ajudam a assegurar a correção dos processos. Muitas dessas linguagens implementam alguma forma de restrição no seu poder de expressão, de forma a garantir que o efeito de qualquer pacote enviado na rede seja limitado. Por exemplo, uma linguagem pode admitir somente programas com seqüências de instruções, sem laços ou desvios;
- Estabelecimento de estados (*statefulness*): outra importante característica das APIs de rede é a possibilidade de poder estabelecer estados no interior dos nós da rede, e de poder referenciar outros estados já estabelecidos através de outros pacotes. Nas APIs de rede onde esta capacidade faz-se presente, a API deve incluir mecanismos de controle para proteger os estados dos usuários contra acessos não autorizados; e

- A granularidade de controle: esta granularidade refere-se ao escopo de comportamento do nó, que pode ser modificado a partir de um pacote recebido. Uma das possibilidades a serem consideradas é o caso onde um único pacote possa modificar o comportamento do nó, e este comportamento passe a ser enxergado por todos os pacotes que estiverem chegando a esse nó, sendo que esta modificação no comportamento do nó em questão irá persistir até que ela seja sobrescrita por um outro pacote que possa modificar novamente o comportamento desse nó. No outro extremo, temos o caso onde um único pacote modifica o comportamento enxergado somente por ele mesmo. Entre esses extremos, podemos considerar a possibilidade de as modificações se aplicarem a um fluxo.

### **2.1.2. Projetos Importantes na Área de Redes Ativas**

Apresentamos, a seguir, alguns dos projetos na área de redes ativas que consideramos de maior relevância devido ao escopo de abrangência de suas características:

- *O toolkit ANTS (Active Networks Transport Services)*, desenvolvido no MIT, caracteriza o conceito de uma cápsula, que consiste de um pacote que contém um programa JAVA em *bytecode* mais o *payload* de dados do usuário. A API de rede ANTS consiste da *Java Virtual Machine (JVM)* incrementada com uma classe ANTS, a qual implementa métodos que permitem que as cápsulas sejam decodificadas e interpretadas. O ANTS suporta computações com estado (*statefull*), onde as cápsulas podem instalar estados e invocar classes previamente instaladas por outras cápsulas. A granularidade de controle é feita em nível de fluxo ou pacote;
- O projeto SwitchWare [6] da Universidade de Pensilvânia utiliza uma linguagem chamada PLAN (“*Programming Language for Active Networks*”) como sendo a sua API de rede. PLAN é uma linguagem de *scripting* que suporta algumas primitivas básicas, composição sequencial, e a invocação de “*switchlets*”. A PLAN não permite que os pacotes instalem estados em nós da rede. Os *switchlets* são componentes de APIs (programas) que são instalados através de uma API de rede separada. A granularidade de controle em PLAN é feita em nível de pacote; e
- O projeto SmartPackets da empresa BBN está empregando tecnologia de rede ativa para ajudar no problema crescente de gerenciamento de redes. Um dos objetivos deste projeto é permitir que se codifiquem programas de gerenciamento úteis, em menos de 1 Kb; assim, Spanner pode fornecer representações muito compactas que podem se acomodar em um único pacote.

### **2.2. Visão Geral da Arquitetura Proposta para Redes Ativas pela DARPA**

Nesta seção, apresentamos uma visão geral da arquitetura que está sendo desenvolvida pelo programa de redes ativas da instituição americana DARPA [14]. A arquitetura proposta lida com questões globais consideradas programáveis (não fixas) em uma rede ativa como, por exemplo, o endereçamento e os serviços fim-a-fim. O enfoque geral, portanto, tem sido a especificação de uma arquitetura de nó que defina uma funcionalidade de base comum, incluindo a forma como os pacotes são processados, que recursos estão disponíveis no nó, e como ter acesso a esses recursos. Assim, a arquitetura define a funcionalidade básica da interface de programação no nó ativo, apesar dela não especificar nenhuma linguagem ou forma de codificação em particular para esta interface. Esse enfoque tem a vantagem de minimizar a quantidade de acordos globais e de padronização exigidos para a implementação de uma rede ativa.

A funcionalidade de um nó em uma rede ativa é dividida entre ambientes de execução (AE) e o sistema operacional do nó (nodeOS). A organização geral desses componentes está ilustrada na Figura 1. Em termos das discussões anteriores, o AE é responsável pela implementação da API de rede, enquanto o nodeOS gerencia o acesso aos recursos do nó local por meio dos AEs.

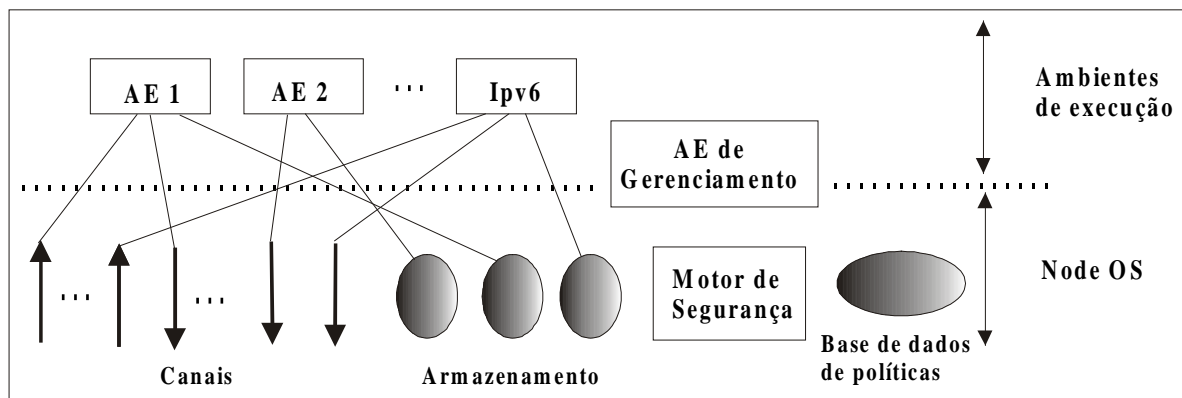


Figura 1. Componentes da arquitetura para redes ativas

### 2.2.1. Os Ambientes de Execução (AE)

Cada AE é análogo a um programa “*shell*” em um sistema de computação de propósito geral, fornecendo uma interface através da qual os serviços em redes fim a fim são fornecidos para os usuários. Assim, a arquitetura permite que múltiplos AEs estejam presentes em um único nó ativo. Todos os pedidos de acesso feitos por usuários aos recursos do nó (incluindo a banda passante de transmissão) são atendidos por meio de um AE.

### 2.2.2 O Sistema Operacional do Nó (nodeOS)

O sistema operacional do nó (nodeOS) fornece as funções básicas a partir das quais os AEs constroem abstrações que formam a API de rede. Ele gerencia os recursos do nó ativo e escala a demanda por esses recursos, incluindo a transmissão, o processamento e o armazenamento de dados. O nodeOS isola os AEs dos detalhes de gerência de recursos, e também da existência de outros AEs. O AE, por sua vez, esconde do nodeOS a maior parte (não todos) dos detalhes da interação com o usuário final. Os usuários e as outras entidades da rede são representados por uma abstração chamada de “*principal*”. As políticas de segurança são definidas em termos de principais: o nodeOS é o responsável pela imposição de tais políticas. Quando um AE requisita um serviço ao nodeOS, o pedido é acompanhado por um identificador (e, possivelmente, por uma credencial) dirigido ao principal em atenção ao qual o pedido é feito. Este principal pode ser o próprio AE ou uma outra entidade (por exemplo, um usuário) em nome de quem o AE estiver atuando. O nodeOS apresenta esta informação para um *motor de segurança* que verifica a sua autenticidade e verifica também se o banco de dados de políticas de segurança autoriza ou não o principal a receber o serviço pedido, ou a executar a operação solicitada. Os AEs podem implementar suas próprias políticas para incrementar aquelas já existentes em um nó, porém, não podem sobrescrever as políticas do nodeOS.

O nodeOS implementa canais de comunicação, sobre os quais os AEs enviam ou recebem pacotes. Estes canais consistem de *links* de transmissão físicos (por exemplo, Ethernet, ATM) mais o processamento do protocolo associados com as camadas de mais alto nível (por exemplo, TCP, UDP, IP). Quando um nó ativo recebe um pacote vindo de um *link* físico, ele classifica esse pacote baseando-se no conteúdo do mesmo (ou seja, nos seus cabeçalhos); a seguir, cada pacote ou é associado a um canal existente ou é descartado. O mapeamento dos pacotes que chegam aos canais é controlado por meio de um padrão especificado pelo AE desde que ele cria o canal. No caso típico, um AE requisita a criação de um canal para aqueles pacotes que seguem um certo padrão de cabeçalho, como por exemplo, uma combinação do protocolo IP com os números de porta TCP. É de total responsabilidade do motor de segurança garantir que a um dado principal seja permitida a criação de um canal com um padrão particular.

Para fornecer qualidade de serviço, o nodeOS possui mecanismos de escalonamento que controlam o acesso aos recursos de computação e de transmissão do nó. Esses mecanismos isolam o tráfego de usuários dos efeitos causados pelo tráfego gerado por outros usuários, de modo que cada um deles parece ter a sua própria máquina ou *link* virtual. Quando os canais são criados, o AE requisitante especifica para o escalonador qual é o tratamento desejado. Esse tratamento pode incluir a reserva de uma quantidade específica de banda passante para o tráfego no canal, ou pode incluir o isolamento de outros tipos de tráfego, ou ainda, pode incluir o “compartilhamento justo” da banda passante disponível com outros canais. Os canais de entrada são escalonados somente para computação, enquanto os canais de saída devem ser escalonados tanto para computação quanto para transmissão.

### 2.3. Exemplos de Aplicações

Como já havíamos dito, o controle dinâmico viabilizado pelas redes ativas permite que os serviços sejam ajustados para as condições atuais da rede. Esses serviços apresentam o potencial para melhorar o desempenho visto pelas aplicações se comparados com soluções baseadas somente em sistemas finais.

Esforços para a melhoria de desempenho pelo uso das facilidades oferecidas pelas redes ativas têm surgido em várias áreas. Dentre as áreas que parecem ser mais promissoras, citamos algumas a seguir:

- ***Multicast***: um enfoque comum é espalhar a responsabilidade das retransmissões *multicast* entre todos os destinatários, para que se evite, desta forma, a sobrecarga do remetente. Para apresentar um bom desempenho, esse enfoque exige que os recebedores, para viabilizarem a retransmissão, estejam conscientes de quem são os recebedores vizinhos, e de quem se encontra acima do ponto de ruptura. Pela inclusão de estados e de processamento na rede, a retransmissão pode ser redirecionada para os destinatários vizinhos que estiverem mais próximos. As retransmissões podem também chegar a partir de *caches* localizadas em nós da rede. Ambos enfoques reduzem o atraso e reduzem a necessidade de recursos de transmissão exigidos na retransmissão;
- **Qualidade de Serviços**: As condições da rede como, por exemplo, a presença de um *link* congestionado ou fora de controle (*lossy*) podem degradar significativamente a qualidade dos fluxos de comunicação. Os esquemas que exigem que o remetente se adapte às condições da rede apresentam limitações bem conhecidas, incluindo o tempo gasto para

que o remetente detecte uma condição de anomalia, reaja e retransmita os dados readaptados para o destinatário. Durante esse intervalo de adaptação, o destinatário pode experimentar perdas descontroladas (quando as condições pioram) ou pode apresentar um desempenho abaixo do ótimo (quando as condições da rede melhoram). Através do envio, para os nós da rede, de informações a respeito de como deve ser feita a adaptação às condições da rede, o tipo apropriado de adaptação pode ocorrer sempre e onde for necessário;

- *Caching*: uma parte substancial do tráfego em uma rede decorre daquelas aplicações onde os clientes requisitam objetos de servidores (por exemplo, servidores WWW). O armazenamento de objetos em memórias *cache* localizadas próximas do cliente é uma técnica importante para a redução tanto do tráfego na rede quanto do tempo de resposta para tais aplicações. Os esquemas de *caching* exigem que se decida onde os objetos devem estar localizados, e como devem ser encaminhados os pedidos entre as *caches*. As *caches* de longo-alcance atuais precisam ser configuradas manualmente em uma hierarquia estática, o que impõe um encargo administrativo adicional, limitando a sua habilidade de poder reagir às condições da rede dinamicamente. Os esforços desenvolvidos no sentido de viabilizar o uso de *caching* em redes ativas incluem mecanismos de rede para rotear pedidos de *cache* para localizações pré-configuradas, e do uso, em cada nó da rede, de pequenas *caches* com informações sobre o conteúdo daquelas *caches* mais próximas.

### **3. A GERÊNCIA DA REDE BASEADA NAS TECNOLOGIAS DE REDES ATIVAS**

O enfoque convencional para o gerenciamento de redes cuida de monitorar os dispositivos gerenciados a partir de uma estação de gerenciamento, recuperando valores de variáveis e verificando anomalias. Tal enfoque concentra toda a sua inteligência nas estações de gerenciamento, o que pode resultar em gargalos de processamento e de comunicações. Adicionalmente, esse enfoque monitora-analisa tradicional limita severamente a habilidade de se poder acompanhar problemas de maneira precisa e eficiente. Para que se possa fornecer dados de gerência que sejam extremamente úteis, como por exemplo indicações de exceções, alguma forma de inteligência precisa ser usada para filtrar eventos pouco interessantes. Nesse contexto, as tecnologias de redes ativas podem ser usadas para implementar enfoques sofisticados para o monitoramento de redes e para a filtragem de eventos. Componentes de redes, como roteadores, por exemplo, podem assumir a responsabilidade de se auto-monitorarem (através, por exemplo, da inclusão em seus vizinhos mais próximos, de programas específicos para monitorarem os eventos e diagnosticarem os problemas). De maneira similar, as redes ativas podem fornecer a flexibilidade necessária para a melhoria dos procedimentos de detecção de falhas e para a atualização de políticas de recuperação dessas falhas, como por exemplo de falhas causadas por intrusos maliciosos ou mesmo por condições físicas adversas como aquelas causadas por um terremoto. Vários projetos estão considerando o uso de redes ativas para melhorar a gerência da rede. O projeto Netscript [5] da Universidade de Columbia está propondo novas técnicas voltadas para permitir a criação automática de mecanismos de instrumentação para a gerência de redes e de suas respectivas MIBs (*Management Information Bases*), através do uso de estruturas de elementos ativos.



Desse modo, consideramos que as plataformas de gerenciamento de redes do futuro devam ser inerentemente baseadas em tecnologias de redes ativas e, evidentemente, distribuídas. Não podemos negligenciar o fato de que a rede mundial de computadores baseada no protocolo TCP/IP, a Internet, está crescendo a uma taxa assustadora e irá, muito provavelmente, assumir a responsabilidade de prover toda a infra-estrutura de comunicações primária fornecida atualmente pelas redes de serviços convencionais de telecomunicações, também conhecidas como POTS (*plain old telephony services*).

O modelo atualmente empregado para o provimento de serviços pela Internet é baseado simplesmente no serviço de “melhor esforço” para o envio de pacotes. Nesses ambientes, a necessidade de maiores funcionalidades de gerenciamento é bastante limitada, restrita basicamente a algum tipo de gerenciamento de recursos e à possibilidade de se poder diagnosticar a entrega de pacotes fim-a-fim. No entanto, uma série de avanços recentes estão mudando esta situação drasticamente. Prevê-se que as redes do futuro, inclusive a Internet, sejam compostas por plataformas que forneçam múltiplos serviços e suportem tráfego em tempo real. Desta forma, este backbone que irá suprir as demandas da moderna sociedade digital implica mudanças e extensões aos modelos atuais de redes, incluindo a adição de garantias para a qualidade de serviços (QOS), de mecanismos de diferenciação de serviços, de esquemas para a reserva de recursos (como o protocolo Resource Reservation Protocol – RSVP – por exemplo), de características que possam garantir a confiabilidade e a segurança, de serviços para redes privadas virtuais, e de um esquema para contratos de nível de serviço. Uma plataforma de redes com tais características exigirá inerentemente um nível de gerenciamento e controle que abranja toda a rede e seja fim-a-fim. É claro que as soluções tradicionais disponíveis não serão suficientes para garantir o gerenciamento destas redes. Além de todas as características citadas acima, que não são novidades, consideramos o mais importante o fato de as plataformas de gerenciamento para as futuras redes precisarem ser altamente programáveis, principalmente de desejarmos inovar nas propostas para soluções de problemas nas áreas de segurança e de garantia de QOS.

Nossa proposta nesse artigo consiste, assim, de que se empreguem *tecnologias de redes ativas* no gerenciamento de redes. Tais tecnologias de redes ativas incluem os modelos recentes propostos em diversos artigos e sumarizados em [1] e [2]. Nessa tecnologias ativas estão incluídos também os modelos recentes propostos na área de redes programáveis, os quais estão muito bem descritos de forma resumida em [3] e [4]. Ambos paradigmas suportam modelos computacionais que empregam a noção de recursos de computação distribuída dentro de uma rede. Através de tais modelos computacionais podem-se vislumbrar novos tipos de aplicações de gerenciamento. Muitos artigos têm sido escritos tentando demonstrar a viabilidade destes modelos [7], a maior parte deles baseados em sistemas de objetos distribuídos como o CORBA (*Common Object Request Broker Architecture*) [10] e JAVA. As redes ativas e as redes programáveis, apesar de constituírem tópicos apreciados em diferentes fóruns acadêmicos (redes ativas mais ligadas à área de redes de computadores e à Internet, e redes programáveis mais ligadas à área de redes de telecomunicações) convergem cada vez mais para um objetivo comum: a viabilização de plataformas que suportem, de forma eficiente, aplicações multimídia em redes de alto desempenho.

Nas primeiras seções desse artigo explicamos os principais conceitos e propriedades das redes ativas, e nesta seção iremos apresentar uma proposta inicial para o emprego das tecnologias de redes ativas no gerenciamento de redes. Nesse artigo pretendemos motivar a construção de uma plataforma programável para a gerência de redes, sendo que os detalhes

dessa plataforma ainda não estão totalmente definidos. O desenvolvimento dessas idéias por nosso grupo de trabalho tiveram início muito recentemente e, portanto, a proposta que apresentamos, nessa oportunidade, de forma inicial, é um pouco limitada. Portanto, o mais importante no momento é a motivação e a apresentação das possibilidades que se abrem sobre o gerenciamento baseado em conceitos relacionados às redes ativas.

### 3.1. Considerações Adicionais sobre a Gerência de Redes baseada em Tecnologias Ativas

Um conceito muito importante ligado às tecnologias de redes ativas é o conceito de Agente Móvel. O conceito de agente móvel define um paradigma computacional caracterizado por programas de computadores que migram dentro da rede e são executados em nós ou em servidores dessa rede. Tais programas são chamados simplesmente de agentes, e são auto-controlados, tomando decisões de se movimentarem para localizações apropriadas para que se auto executem. A motivação para o modelo de agentes móveis surge da necessidade de se solucionar certas deficiências do modelo cliente-servidor. Por sua vez, nas redes ativas emprega-se o enfoque de cápsulas (ou pacotes ativos), que podem conter programas ou dados de usuários, e são transportadas através dos nós da rede (como por exemplo, através de roteadores). Apesar de as motivações para que se propusessem os conceitos de redes ativas e de agentes móveis serem bem diferentes, as propostas dessas áreas estão também convergindo para um ponto comum, particularmente no domínio da gerência de redes. A razão para que isso esteja acontecendo é óbvia: um pacote ativo pode ser interpretado como um agente móvel que é executado em cada nó ao longo do seu caminho pela rede. Da mesma forma, um agente ativo que se move de um nó para outro pode ser interpretado como um pacote ativo contendo dados ou um programa, o qual é transferido de um nó para outro em uma rede ativa.

Consideramos que as características apresentadas até aqui com relação às tecnologias para redes ativas possam ser empregadas para viabilizar programas que executem tarefas de gerenciamento de redes. Evidentemente tais tarefas precisarão rodar sob uma plataforma adequada para gerenciamento de toda a rede na forma de uma solução *middleware*.

### 3.2. Um Modelo Simples para a Gerência Baseada em Redes Ativas

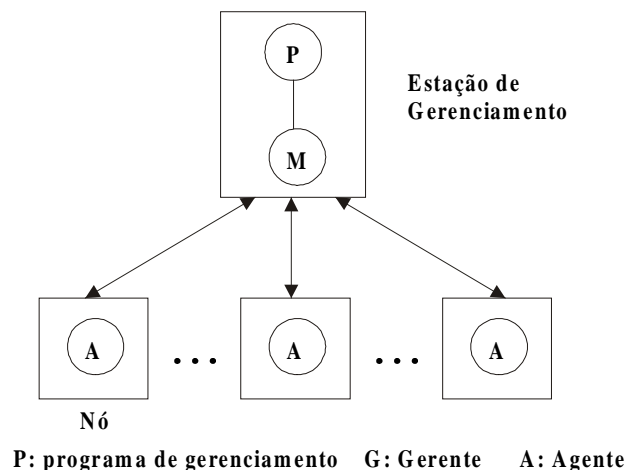


Figura 2. O Modelo Tradicional Gerente-Agente para a Gerência de Redes

Como foi falado há pouco, o modelo de gerência tradicional baseia-se no paradigma agente-gerente. Neste modelo, como ilustrado na Figura 2, uma tarefa de gerenciamento é executada como um programa (P) em uma estação de gerenciamento. A execução do programa P envolve interações entre o gerente (G) e o agente (A), sendo que o programa P executa operações na base de informações de gerenciamento MIB (*Management Information Base*). A MIB fica distribuída através de vários agentes que fornecem acesso aos nós da rede.

Na Figura 3 apresentamos a nossa proposta para um modelo de gerência baseado em redes ativas. Para que se possa executar o programa P, este programa é baixado a partir de uma estação de gerenciamento para a plataforma *middleware* e é a seguir inicializado. A partir deste momento, a estação de gerenciamento não tem mais controle sobre P. De fato, o controle passa a ser do próprio programa P, que será executado como um processo ativo, ou como uma série de processos ativos, movimentando-se ao redor da rede. Vê-se que, desta forma, o controle de P é implicitamente distribuído.

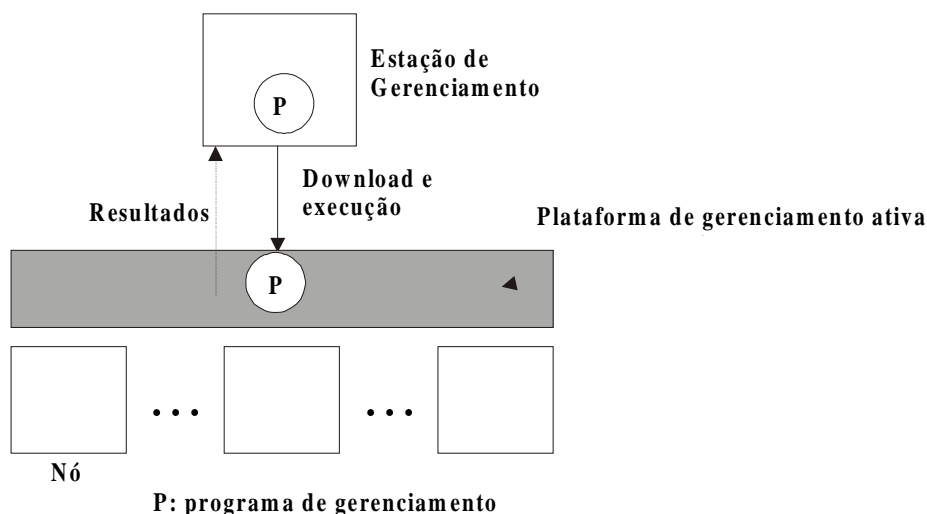


Figura 3. O Modelo Proposto para a Gerência Baseada em Redes Ativas

A plataforma sugerida pode ser usada para implementar qualquer tipo de algoritmo, seja centralizado, seja distribuído, fornecendo acesso ao mesmo tempo a todos os elementos da rede. Acreditamos que tal plataforma forneça um ambiente altamente flexível para o desenvolvimento de programas de gerenciamento. No caso de uma plataforma deste tipo ser viabilizada de forma “aberta”, poderemos muito possivelmente motivar a comunidade de desenvolvedores de software a criarem soluções inovadoras e competitivas que venham a satisfazer as necessidades de operadores e de administradores de redes.

Para finalizarmos, vale a pena enfatizarmos um fato que é preocupante: o desenvolvimento de programas distribuídos que sejam totalmente corretos e eficientes é uma tarefa das mais difíceis. Um ambiente distribuído como o que aqui propusemos implica preocupações com respeito ao fato de um problema poder vir a causar consequências imensuráveis, pois tal problema pode afetar muitas partes da rede devido à natureza distribuída da execução dos programas ativos. Portanto, esperamos poder, através do uso de plataformas baseadas em objetos distribuídos, como CORBA ou JAVA, desenvolver um protótipo para o nosso modelo, implementá-lo em uma plataforma operacional Unix e efetuar medições para algumas tarefas de gerenciamento básicas.

## 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, discutimos o estado da arte em redes ativas e apresentamos um modelo simples de gerência baseada nas tecnologias de redes ativas. Apresentamos diversas características e modelos para as redes ativas, o que nos leva a uma melhor compreensão a respeito do tema. Acreditamos que várias inovações importantes estejam levando a uma mudança de paradigma na área de redes, buscando níveis mais elevados para a sua programação. Tais inovações incluem: a separação explícita entre o *hardware* e o *software* da rede; a viabilização de interfaces programáveis abertas; a criação de ambientes virtuais para a infra-estrutura da rede; a possibilidade da criação e da implementação rápida de novos serviços em redes; e, o particionamento seguro e a coexistência de arquiteturas de redes distintas através de um mesmo *hardware* para a rede física. As redes ativas fornecem a base para o projeto, a composição e a implementação de arquiteturas de redes virtuais, através da viabilização de interfaces de programação abertas. Consideramos que as características apresentadas até aqui com relação às tecnologias para redes ativas possam ser empregadas para viabilizar programas que executem tarefas de gerenciamento de redes. Evidentemente tais tarefas precisarão rodar sob uma plataforma adequada para gerenciamento de toda a rede na forma de uma solução *middleware*. Acreditamos que os principais desafios nessa área estejam relacionados com o desenvolvimento de ambientes de redes virtuais programáveis baseados nas condições fornecidas atualmente.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Calvert, K.L. et al., "Directions in Active Networks", IEEE Communications Magazine, Special Issue on Programmable Networks, October 1998.
- [2] Tennenhouse, D., et al., "A Survey of Active Network Research", IEEE Communications Magazine, January 1997.
- [3] Campbell, A.T. et al., "A Survey of Programmable Networks", Computer Communications Review, Vol. 29 No. 2, April 1999.
- [4] Lazar A.A., "Programming Telecommunications Networks", IEEE Network Magazine, vol. 11, No. 5, september/october 1997.
- [5] Y. Yemini and S. da Silva, "Towards Programmable Networks", Proceedings FIP/IEEE International Workshop on Distributed Systems, October 1996.
- [6] Alexander, D.S., et al., "The SwitchWare Active Network Architecture", IEEE Network Magazine, Special Issue on Programmable and Active Networks, May 1998.
- [7] Chan, M.C and Lazar, A.A., "Designing a CORBA-Based High Performance Open Programmable Signalling System for ATM Switching Platforms", Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 17, No. 9, September 1999.
- [8] Descaper, D., Parulkar, G. and Plattner, B., "A Scalable, High Performance Active Network Node", IEEE Network Magazine, January 1999.
- [9] Open Signalling Working Group, <http://www.comet.columbia.edu/opensig/>
- [10] Vinoski, S., "CORBA: Integrating Diverse Applications Within Distributed Heterogeneous Environments", IEEE Communications Magazine, Vol. 14, No.2, February 1997.
- [11] DARPA Active Network Prog., <http://www.darpa.mil/ito/research/anets/projects.html>
- [19] P1520 Web site: <http://www.ieee-pin.org>; também <http://stdsbbs>.