Análise da Eficiência de Agentes Móveis no Gerenciamento de Redes *

Marcelo G. Rubinstein
rubi@gta.ufrj.br

Otto Carlos M. B. Duarte
otto@gta.ufrj.br

Grupo de Teleinformática e Automação - GTA
COPPE/EE - Programa de Engenharia Elétrica
Universidade Federal do Rio de Janeiro
C. P. 68504 - 21945-970 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil

Resumo

Este trabalho visa investigar o escalamento de agentes móveis no gerenciamento de redes, de modo a descobrir quando os agentes móveis podem aumentar a eficiência do gerenciamento. O desempenho dos agentes móveis é comparado com o do SNMP por meio de simulações de várias tarefas de gerenciamento. Os resultados indicam que os agentes móveis possuem um melhor desempenho quando o número de elementos gerenciados não ultrapassa um certo valor e quando o agente volta para a estação de gerenciamento após coletar um número fixo de variáveis. Além disso, os agentes móveis são menos sensíveis às latências da rede que o SNMP, porém sofrem maior influência das tarefas a serem realizadas.

Abstract

This work aims to investigate mobile agent scalability in network management, in order to find when mobile agents can improve the management efficiency. Mobile agents performance is compared with the SNMP one in several management task simulations. Results show that the mobile agent performs better when the number of managed network elements is not large and when the agent returns to the management station after visiting a fixed number of nodes. Moreover, mobile agents are less sensitive to the network latencies than the SNMP, but the agents are more sensitive to the tasks to be performed.

*Este trabalho foi realizado com recursos da UFRJ, FUJB, CNPq, CAPES, COFECUB e REENGE.

1 Introdução

Com o extraordinário desenvolvimento da rede mundial de computadores, a Internet, o volume de informações disponível pelo mundo, o custo de movimentação de dados e a pequena experiência em computação de muitos usuários têm sido motivo de preocupação para a comunidade de redes e para os desenvolvedores de aplicativos. O volume de informações disponível em diferentes sítios por todo o mundo não tem sido acompanhado pela capacidade de um usuário de procurar, selecionar e recuperar estas informações. Além disso, a movimentação de grandes volumes de dados através da rede possui um custo significativo e o número de usuários com pouco conhecimento em computação tem crescido e deverá continuar a aumentar rapidamente.

Uma possível solução para estes problemas consiste na utilização de agentes, que são programas que ajudam um usuário a realizar tarefas, agindo em interesse deste usuário. Caso os agentes possam executar suas tarefas em diferentes computadores da rede, estes são denominados agentes móveis. Estes agentes podem mover-se para o lugar onde os dados estão armazenados e, utilizando inteligência, selecionar as informações que o usuário necessita; economizando-se banda passante, tempo e dinheiro.

O gerenciamento de redes é uma das aplicações que pode se beneficiar do uso de agentes móveis, por estar baseado de um modo geral em um paradigma centralizado. Os protocolos de gerenciamento SNMP (*Simple Network Management Protocol*) [10] e CMIP (*Common Management Information Protocol*) [11] baseiam-se no modelo cliente-servidor, no qual o gerente centraliza as informações e fornece a ordem para executar as ações corretivas, e o agente coleta as informações, armazena-as na MIB (*Management Information Base*) e executa as ordens do gerente. Devido à centralização, o gerenciamento não é escalável quando o tamanho ou a complexidade da rede cresce e, além disso, uma falha em um ponto da rede ou no gerente pode deixá-la sem gerenciamento. Os agentes móveis descentralizam o processamento e o controle, reduzindo o tráfego da estação de gerenciamento, tornando assíncrona a comunicação com a estação de gerenciamento (essencial quando há enlaces não-confiáveis ou com grandes perdas), permitindo um balanceamento de carga de processamento e aumentando a flexibilidade do comportamento dos agentes de gerenciamento.

Alguns trabalhos utilizam agentes móveis no gerenciamento de redes. Westphall et al. [6] implementam agentes autônomos integrados ao SNMP, com características de flexibilidade e adaptabilidade para um ambiente de gerenciamento de redes heterogêneas. A interação humano/agente é realizada através do protocolo HTTP (*HyperText Transfer Protocol*) e de CGI (Common Gateway Interface). Baldi et al. [1] desenvolvem um protótipo de uma infra-estrutura de gerenciamento com agentes móveis e SNMP. A interação do agentes móveis com os agentes SNMP ocorre porque nem todas as estações possuem a infra-estrutura necessária para a execução dos agentes móveis; porém o melhor seria utilizar os agentes móveis diretamente [1]. Pagurek et al. [3] aplicam agentes móveis nas áreas funcionais definidas pela OSI e implementam uma infra-estrutura de gerenciamento e um conjunto de ferramentas simples que interagem com agentes colocados nos elementos de rede. Morin et al. [9] definem uma arquitetura de gerenciamento na qual um servidor e vários gerentes se comunicam com agentes SNMP localizados nos elementos gerenciados e analisam o desempenho da arquitetura através de medidas em uma rede Ethernet comparando os agentes móveis com o SNMP. Uma arquitetura de gerenciamento com agentes móveis baseada nos conceitos de gerência por domínio e gerente de gerentes é descrita por Rubinstein e Duarte [8]. O uso de agentes móveis para executar tarefas dos gerentes de domínios é avaliado através de simulações comparando o desempenho dos agentes móveis com o do SNMP e análises quanto à influência de mudanças em uma topologia semelhante à da Internet e do tamanho inicial do agente móvel são realizadas.

O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento dos agentes móveis em diversas tarefas de gerenciamento. Esta avaliação foi feita através de simulações comparando o desempenho do modelo cliente-servidor SNMP com o dos agentes móveis em uma topologia na qual a estação gerencia remotamente os elementos dispostos em uma rede Ethernet. Várias análises foram feitas de modo a avaliar os efeitos das mais diversas variáveis envolvendo o gerenciamento remoto de redes, tais como: a latência do enlace que liga a estação de gerenciamento à rede local, a tarefa a ser realizada e o retorno à estação de gerenciamento após obter um número fixo de variáveis.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: na seção 2 são descritos os principais sistemas de gerenciamento de redes, na seção 3 são apresentados os resultados das simulações e na seção 4 são apresentadas as conclusões.

2 Sistemas de Gerenciamento de Redes

Atualmente, a maioria dos sistemas de gerenciamento é centralizada, mas alguns passos visando a descentralização já foram tomados e novos sistemas também estão sendo desenvolvidos [5].

Os protocolos de gerenciamento SNMP e CMIP, propostos respectivamente pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*) e pela ISO (*International Organization for Standardization*), baseiam-se no modelo cliente-servidor. Nestes protocolos, a estação de gerenciamento age como um cliente que provê uma interface para o gerente da rede e interage com os agentes, que são servidores que gerenciam o acesso remoto às suas informações locais.

Alguns passos visando a descentralização também foram tomados pelo IETF e pela ISO, e a notificação de eventos foi o primeiro. Agentes SNMP notificam a estação de gerenciamento quando da ocorrência de alguns eventos significativos através da utilização de mensagens enviadas sem um pedido explícito da estação de gerenciamento (*traps*); enquanto que a ISO utiliza agentes mais complexos com maior capacidade de processamento. Em ambos os casos, o agente somente é responsável pela notificação do evento. Um esquema de gerenciamento de redes descentralizado é adotado no SNMPv2 (SNMP versão 2), no qual existem múltiplas estações de gerenciamento no mais alto nível de hierarquia, chamadas servidores de gerenciamento. Cada servidor é responsável por gerenciar agentes, porém responsabilidades podem ser delegadas a um gerente intermediário. Este gerente, também chamado agente procurador, tem funcionalidades de gerente para monitorar e controlar os agentes sob a sua responsabilidade, e também age como um agente a fim de prover informações e ser controlado por um servidor de gerenciamento. A nova versão do SNMP, o SNMPv3, traz poucas mudanças em relação ao SNMPv2 e incorpora um novo esquema de segurança [10]. O IETF também propôs o RMON (*Remote MONitoring*) que utiliza a equipamentos de monitoração da rede chamados monitores para prover informações sobre enlaces, conexões entre estações, modelos de tráfego e status dos nós da rede. Um monitor pode detectar falhas e comportamentos errados, gerar alarmes quando um limiar predefinido é atingido e identificar eventos complexos, mesmo não estando em contato com a estação de gerenciamento.

Novas arquiteturas descentralizadas também estão sendo desenvolvidas e algumas delas utilizam agentes móveis para descentralizar o processamento e o controle da estação de gerenciamento [8].

2.1 Gerenciamento de Redes com Agentes Móveis

Os agentes móveis, também chamados itinerantes, são agentes criados para executar suas tarefas em diferentes computadores da rede. Um agente móvel pode ser transportado de uma máquina para outra no meio de sua execução e carregar com ele dados acumulados sobre o seu estado que incluem as informações obtidas na execução das tarefas. Conforme o número de nós visitados aumenta, o tamanho do agente também cresce, fazendo com que a migração para outro nó seja realizada com maior dificuldade. Uma possível solução para este problema é percorrer um número fixo de nós e, após isto, retornar ao nó de origem do agente ou enviá-lo os dados, reduzindo o tamanho do agente, e recomeçar a tarefa nos nós restantes (seção 3.3). O tamanho inicial de um agente é outra variável que muito influencia o desempenho do agente móvel. Este tamanho depende da tarefa a ser realizada e da linguagem utilizada na implementação, e quanto maior o tamanho, maior a dificuldade de migração.

Uma das principais áreas que pode se beneficiar do uso de agentes móveis é o gerenciamento de redes, sendo que várias vantagens podem justificar a utilização de agentes, tais como:

- redução do custo: caso o gerenciamento exija um grande volume de informações a ser veiculado pela rede, pode ser mais econômico enviar um agente que execute a tarefa diretamente nos agentes de gerenciamento, onde estão localizadas estas informações. Desta forma, o agente pode filtrar e selecionar somente as informações relevantes e transferi-las para a estação de gerenciamento;
- processamento assíncrono: um agente pode ser enviado através da rede, realizando suas tarefas em outros nós. Enquanto o agente se encontra fora de seu nó de origem, pode não ser necessário que este permaneça em operação;
- divisão de processamento: computadores com pequena capacidade de processamento podem ser utilizados de maneira eficiente para realizar tarefas simples de gerenciamento, distribuindo o processamento antes concentrado na estação de gerenciamento;
- flexibilidade: um novo comportamento dos agentes de gerenciamento pode ser introduzido pela estação de gerenciamento através do envio de um agente móvel com um código de execução diferente, substituindo em tempo real o código anterior.

Devido à centralização do processamento e do controle, o gerenciamento de redes no SNMP não é escalável quando o tamanho ou a complexidade da rede cresce. Para solucionar este problema, os agentes móveis podem ser utilizados, sendo importante descobrir quando estes aumentam a eficiência do gerenciamento.

3 Resultados

A análise do uso de agentes móveis é realizada através da comparação do desempenho dos agentes e do SNMP em diversas tarefas de gerenciamento. As tarefas simuladas neste trabalho foram: consulta à variável do SNMP *ifInErrors*, que indica o número de pacotes recebidos que foram descartados por causa de erros, e pedido da variável de sistema *sysDescr* do SNMP, que contém uma descrição textual do sistema. A variável *sysDescr* foi escolhida por ter um tamanho grande em octetos enquanto que a variável *ifInErrors* foi utilizada por representar de maneira simples o estado de interfaces de rede. A topologia de rede utilizada (seção 3.1) consiste de elementos dispostos em uma rede local de menor custo (maior banda passante e menor atraso) conectada à Estação de Gerenciamento (EG) através de um enlace de maior custo (maior latência e menor banda). O desempenho foi avaliado através do número de octetos transmitidos e recebidos pela EG e do tempo de resposta na obtenção das amostras.

O simulador de rede *ns* (*Network Simulator*) foi utilizado neste trabalho [4]. Este simulador de eventos discretos oferece uma infra-estrutura para simulações em redes de computadores com abstrações para nós e enlaces e possui diversos protocolos já implementados; sendo que nas simulações deste trabalho, foram utilizados as funções de rede local Ethernet e do UDP.

O modelo de simulação assume a não existência de outras cargas nos enlaces e nos nós, enlaces sem perdas, e não considera o tempo de processamento na camada aplicação (ex.: tempo de consulta à MIB). O protocolo de transporte UDP foi utilizado em todas as simulações. Os tamanhos de pacotes utilizados nas simulações são valores obtidos através de testes realizados com várias aplicações SNMP disponíveis no Linux e o tamanho do agente móvel é 5000 octetos, conforme Baldi et al. [2]. Os cabeçalhos das camadas UDP e IP também foram considerados. A unidade máxima de transmissão (MTU) usada em todos os enlaces é 1500 octetos; com isso, não há fragmentação de mensagens SNMP por estas serem pequenas - o tamanho do pedido da variável *ifInErrors*, incluindo os cabeçalhos da PDU GetRequest, do UDP e do IP, é 71 octetos e o tamanho da resposta, incluindo os cabeçalhos, é 76 octetos. Cada pedido de uma variável é enviado em uma mensagem diferente e em todas as simulações, o agente móvel segue um itinerário preestabelecido de lugares [7]. Vários experimentos de gerenciamento foram realizados de modo a avaliar os efeitos de variáveis envolvendo o gerenciamento de redes, tais como: a latência do enlace que liga a EG à rede local, a tarefa a ser realizada e o retorno à EG após obter um número fixo de variáveis.

3.1 Efeito da Latência do Enlace

O efeito da latência do enlace que liga a EG a uma rede local é avaliado através da obtenção da variável *ifInErrors* da interface de cada estação da rede local. A rede local Ethernet, com 250 nós, banda passante 10 Mbps e latência de 10 μs, está conectada à EG através de um enlace duplex de 1,5 Mbps e latência l ms. O SNMP envia n pedidos (um para cada interface) enquanto que o agente móvel é enviado para uma estação da rede local, obtém a variável e percorre todas as outras estações buscando os valores da variável. Ao terminar, o agente móvel retorna à EG.

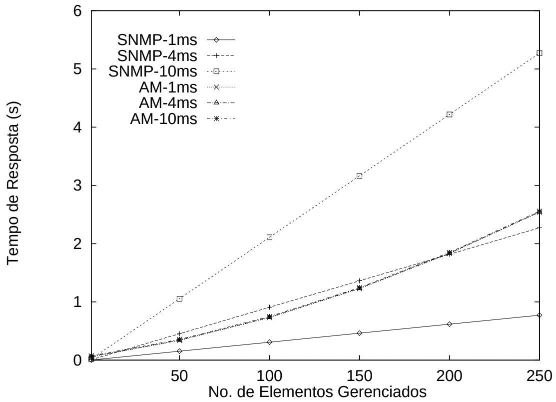

Figura 1: Tempo de resposta para diferentes latências.

De acordo com a figura 1, o tempo de resposta para o SNMP cresce aproximadamente linearmente com o número de elementos gerenciados n. Este tempo de resposta também aumenta com a latência l do enlace que conecta a EG a um nó da rede local, pois cada pacote SNMP passa uma vez por este enlace. Para o agente móvel, a latência l não têm grande influência pois o agente móvel passa somente duas vezes pelo enlace para realizar a tarefa; porém o tempo de resposta em função do aumento de n não cresce de forma linear, ultrapassando o tempo de resposta do SNMP quando a latência l é pequena ou o número de elementos gerenciados n é grande. O tempo de resposta aumenta muito quando n é grande, pois neste caso o agente móvel tem um tamanho considerável, o que faz com que sua migração seja realizada com maior dificuldade (seção 2.1). Conforme a figura 1, para l igual a 4 ms, o agente móvel possui um tempo de resposta menor que o SNMP quando $n < 200$ elementos gerenciados. Pode-se observar na figura 2 que o SNMP utiliza um menor número de octetos do que

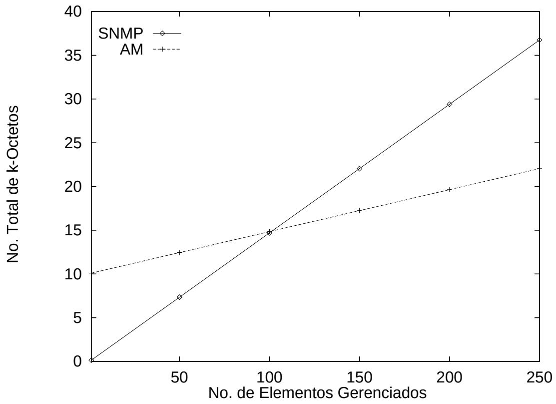

Figura 2: Número de octetos para diferentes latências.

o agente móvel para realizar a tarefa, para $n < 100$ elementos gerenciados. Conforme n aumenta, a sobrecarga devido ao envio dos diversos pedidos da variável (cabeçalhos da PDU GetRequest, do UDP e do IP) faz com que seja viável a utilização do agente móvel.

3.2 Efeito da Tarefa a Ser Realizada

Uma análise quanto ao comportamento do agente móvel e do SNMP em diferentes tarefas também foi realizada. A tarefa A é anterior, enquanto que a tarefa B corresponde ao pedido da variável do SNMP *sysDescr*. Para a tarefa B, o tamanho do pedido da variável, incluindo os cabeçalhos da PDU GetRequest, do UDP e do IP, é 66 octetos e o tamanho da resposta, incluindo as sobrecargas, é 173 octetos. A topologia do experimento anterior foi utilizada, com a latência l tendo como valores 1 e 10 ms.

Na figura 3, o tempo de resposta varia de modo diferente quando utilizando o agente móvel ou o SNMP. Para o SNMP, a tarefa não tem grande influência pois o número de octetos trocados entre a EG e o elemento gerenciado é pequeno. O tempo de resposta para o SNMP cresce muito com o aumento da latência l, conforme observado anteriormente (seção 3.1). Quanto ao agente móvel, a latência l não exerce grande influência sobre o tempo de resposta, porém o aumento do número de octetos trocados (tarefa A para tarefa B) faz com que o agente móvel migre com maior dificuldade, aumentando o tempo de

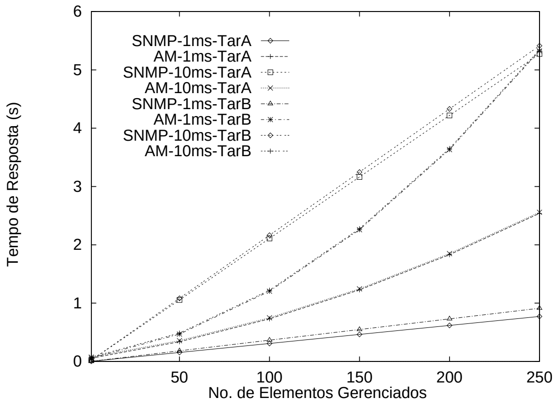

Figura 3: Tempo de resposta para as tarefas A e B.

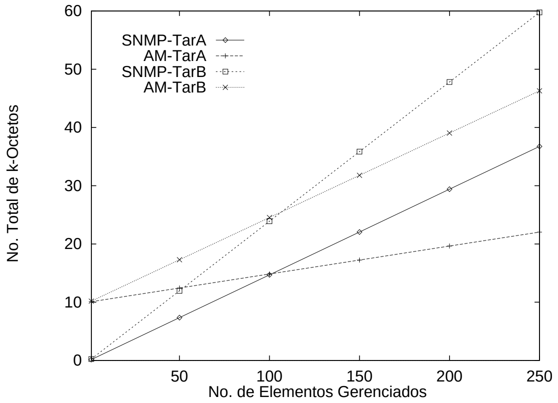

Figura 4: Número de octetos para as tarefas A e B.

resposta. Na figura 4, pode-se observar a variação do número total de octetos em função da tarefa executada.

3.3 Efeito do Retorno à Estação de Gerenciamento

A política de fazer o agente móvel retornar à EG, de forma a reduzir o seu tamanho (seção 2.1), foi utilizada de forma a obter a variável *ifInErrors* de todos os 250 elementos gerenciados. A topologia utilizada foi a mesma do experimento anterior, com l igual a 1 ms. Considera-se que o agente móvel visita um número fixo de nós "por viagem", ou seja, o número de elementos gerenciados antes de retornar à EG para "descarregar". Este número de elementos gerenciados "por viagem" foi variado de 1 a 250.

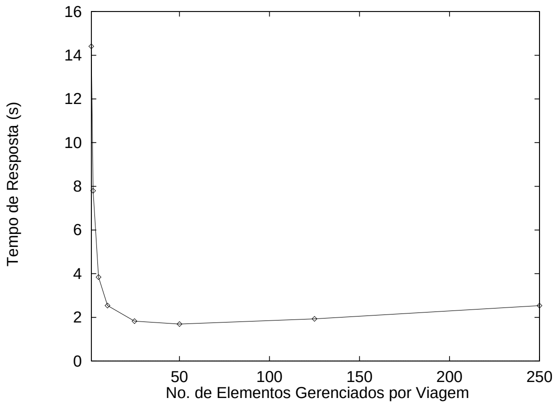

Figura 5: Tempo de resposta com o retorno do agente móvel.

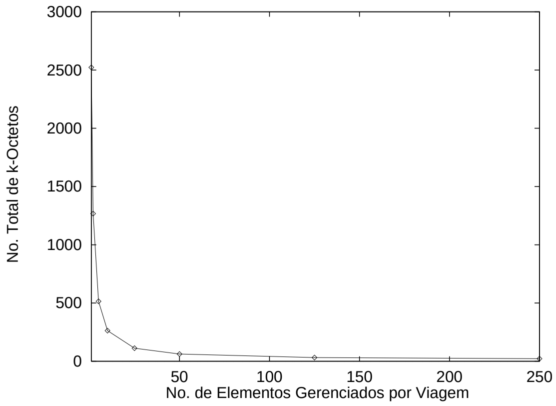

Figura 6: Número de octetos com o retorno do agente móvel.

Na figura 5, o tempo de resposta diminui acentuadamente quando o número de elementos gerenciados é pequeno pois o agente percorre poucos nós e retorna à EG. Conforme o número de nós percorridos continua aumentando, o tempo de resposta diminui até um ponto onde o tempo começa a crescer devido à dificuldade de migração do agente por causa do seu tamanho. Um "ponto ótimo" observado na figura 5 indica que percorrer 50 nós e retornar à EG proporcionaria o melhor resultado para a consulta das 250 variáveis. Quanto ao número de octetos, este diminui quando o número de nós percorridos de uma vez aumenta, conforme a figura 6, pois quanto maior o número de vezes que o agente móvel retorna à EG, maior o número de octetos transmitidos e recebidos por ela.

4 Conclusões

Este trabalho analisou a utilização de agentes móveis em várias tarefas de gerenciamento. O desempenho dos agentes foi comparado com o do SNMP em várias simulações e foi avaliado através do número de octetos transmitidos e recebidos pela estação de gerenciamento e do tempo de resposta na obtenção das amostras. Os resultados de simulação indicam que para o tempo de resposta, os agentes móveis possuem um melhor desempenho que o SNMP quando o número de elementos gerenciados não ultrapassa um certo valor, pois a migração dos agentes é dificultada quando o tamanho destes é grande. Observa-se ainda que se o agente voltar para a estação de gerenciamento após coletar um número fixo de variáveis, o desempenho deste melhora pois seu tamanho é reduzido de tempos em tempos. Os resultados indicam ainda que os agentes móveis são menos sensíveis às latências da rede que o SNMP, porém os agentes sofrem maior influência das tarefas a serem realizadas.

Conclui-se que o paradigma de agentes móveis aumenta o desempenho do gerenciamento remoto de redes quando a maior parte do movimento dos agentes ocorre dentro de redes locais de grande banda passante; em outras palavras, quando somente uma pequena porcentagem da migração envolve enlaces de redes de longa distância e a estação de gerenciamento.

Referências

[1] Baldi, M., Gai, S., e Picco, G. P. Exploiting code mobility in decentralized and flexible network management. In *First International Workshop on Mobile Agents* (Berlim, Alemanha, abril de 1997), pp. 13–26.

[2] Baldi, M., e Picco, G. P. Evaluating the tradeoffs of mobile code design paradigms in network management applications. In *Proceedings of the 20th International Conference on Software Engineering (ICSE'97)* (Kyoto, Japão, abril de 1998).

[3] Bieszczad, A., Pagurek, B., e White, T. Mobile agents for network management. *IEEE Communications Surveys 1*, 1 (1998), 2–9.

[4] Fall, K., e Varadhan, K. NS Notes and Documentation. Relatório técnico, The VINT Project, janeiro de 1999.

[5] Kahani, M., e Beadle, H. W. P. Decentralised approaches for network management. *Computer Communications Review 27*, 3 (julho de 1997), 36–47.

[6] Koch, F. L., e Westphall, C. B. Gerenciamento de redes de computadores utilizando inteligência artificial distribuída - uma abordagem operacional. In *XVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores* (Rio de Janeiro, Brasil, maio de 1998), pp. 144–158.

[7] Rubinstein, M. G., e Duarte, O. C. M. B. Service location for mobile agent systems. In *IEEE/SBT International Telecommunications Symposium (ITS'98)* (São Paulo, Brasil, agosto de 1998), pp. 623–626.

[8] Rubinstein, M. G., e Duarte, O. C. M. B. Evaluating the performance of mobile agents in network management. Relatório técnico, Grupo de Teleinformática e Automação, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, março de 1999.

[9] Sahai, A., e Morin, C. Enabling a mobile network manager (MNM) through mobile agents. In *Second International Workshop on Mobile Agents* (Stuttgart, Alemanha, setembro de 1998).

[10] Stallings, W. SNMP and SNMPv2: The infrastructure for network management. *IEEE Communications Magazine 36*, 3 (março de 1998), 37–43.

[11] Yemini, Y. The OSI network management model. *IEEE Communications Magazine 31*, 5 (maio de 1993), 20–29.