

Redes em Malha: Solução de Baixo Custo para Popularização do Acesso à Internet no Brasil

Débora C. Muchaluat Saade, Célio V. N. Albuquerque, Luiz Claudio Schara Magalhães, Diego Passos, Jairo Duarte, Rafael Valle

Resumo—Apesar do Brasil ser o primeiro país da América Latina e o quinto no mundo em números de usuários da Internet, ele é o quarto na América Latina e o sexagésimo segundo no mundo considerando o percentual da população que usa a rede. Entre os motivos desta pouca popularização da rede é o alto custo da última milha, mesmo para acessos discados. Este trabalho propõe o uso de redes em malha sem fio como solução para o problema da popularização do acesso à Internet em várias comunidades brasileiras. É apresentada a solução de redes mesh de baixo custo desenvolvida pela UFF, mostrando o hardware e o software utilizados e ainda apontando modificações feitas no protocolo de roteamento para melhorar o desempenho da rede.

Palavras-chave—Redes mesh, acesso a Internet de baixo custo, OLSR, ETX, ML.

Abstract—Although Brazil is the first Latin American country and the fifth in the world considering the number of Internet users, it is the fourth in Latin America and the 62nd in the world considering the percentage of Internet users in the population. This work proposes the use of mesh networks as a solution for making Internet access in Brazilian communities more affordable. This paper presents the low-cost mesh network solution developed by UFF, discussing the hardware and software used, and also the changes made in the ad-hoc routing protocol to improve network performance.

Keywords—Mesh Networks, low-cost Internet access, OLSR, ETX, ML.

I. INTRODUÇÃO

Apesar do Brasil ser o primeiro país da América Latina e o quinto no mundo em números de usuários da Internet, ele é o quarto na América Latina e o sexagésimo segundo no mundo considerando o percentual da população que usa a rede. Apenas 21% da população acima de dez anos tem acesso à Internet, o que evidencia claramente o problema de exclusão digital na sociedade brasileira [26]. O serviço de telefonia fixa não está disponível em todos os domicílios brasileiros e, mesmo se estivesse, o acesso banda larga cabeado, através de

xDSL ou redes de TV a cabo, ainda tem custos muito altos para a grande maioria da população. Este cenário, que torna o acesso a Internet um privilégio da população de maior renda, precisa ser modificado para minimizar o problema da exclusão digital no país. Com isso, identifica-se a necessidade de novas soluções de acesso à Internet de baixo custo, principalmente para as comunidades que moram em áreas sem infra-estrutura de comunicação cabeada.

Este trabalho propõe o uso de redes em malha sem fio (redes *mesh*) como solução para o problema da popularização do acesso à Internet em várias comunidades brasileiras. Neste tipo de rede, roteadores sem fio se comunicam uns com os outros no modo ad-hoc utilizando múltiplos saltos para encaminhar mensagens ao destino apropriado. Redes mesh [2, 9, 11] são redes comunitárias baseadas em algoritmos de roteamento cooperativos, tais quais os encontrados em redes sem fio ad-hoc [13]. A Figura 1 exibe um exemplo de rede mesh. Essas redes evoluíram a partir das redes móveis ad-hoc (*Mobile Ad-hoc NETWORKS*, ou MANETs). Usuários finais se conectam aos pontos de acesso da rede mesh através de rede Ethernet cabeada ou rede sem fio IEEE 802.11.

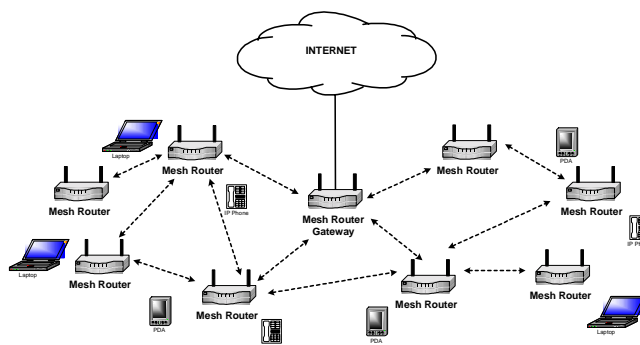


Figura 1. Rede mesh.

Redes mesh têm várias vantagens, incluindo baixo custo, implantação incremental e tolerância a falhas. Através de pesquisa e desenvolvimento de uma solução para redes em malha de baixo custo, baseada em software livre, que vem sendo realizada no escopo do projeto ReMesh [22] em parceria com a RNP (Rede Nacional de Pesquisa), a UFF – Universidade Federal Fluminense – vem oferecendo, desde 2006, acesso banda larga gratuito à Internet para a comunidade universitária que mora nas proximidades do Campus Praia Vermelha, na cidade de Niterói, RJ, Brasil. Esta solução já

Débora C. Muchaluat Saade, Luiz C. Schara Magalhães, Rafael Valle, Laboratório MídiaCom - Departamento de Engenharia de Telecomunicações; Célio V. N. Albuquerque, Diego Passos e Jairo Duarte, Instituto de Computação, Universidade Federal Fluminense, R. Passo da Pátria, 156 – Bloco E – sala 421, São Domingos, Niterói, RJ, Brasil – 24210-240. E-mails: {debora, schara, rafael}@midiaacom.uff.br, {celio, dpassos, jduarte}@ic.uff.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pela RNP (Rede Nacional de Pesquisa), CNPq, CAPES, Faperj e TBE/Aneel.

está sendo replicada para outras universidades no sul e norte do país e tem potencial para uso em vários outros cenários brasileiros, como por exemplo, para popularização do acesso a Internet em pequenos municípios e comunidades carentes.

Este artigo apresenta a solução de redes *mesh* de baixo custo desenvolvida pela UFF como uma possível solução para levar o acesso à Internet a pequenos municípios e comunidades espalhadas pelo país, onde não existe infraestrutura cabeada ou onde os custos de acessos cabeados tradicionais impedem sua popularização.

O restante do texto está estruturado da seguinte maneira. A Seção 2 apresenta um resumo do estado da arte em redes em malha, comentando diversos trabalhos relacionados que propõem soluções acadêmicas e comerciais usando o mesmo tipo de tecnologia. A Seção 3 descreve a arquitetura da solução proposta pelo projeto ReMesh. A Seção 4 descreve o hardware e software necessários para implementação do roteador mesh sem fio. A Seção 5 descreve o protocolo de roteamento customizado pelo projeto ReMesh para oferecer melhor desempenho da rede sem fio, apresentando e comparando medidas de desempenho obtidas na rede em malha da UFF. A Seção 6 apresenta as conclusões e os trabalhos em andamento e futuros.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Nos últimos anos, várias universidades e centros de pesquisa ao redor do mundo têm desenvolvido e instalado redes sem fio para comunicação ubíqua dentro de seus campi. Mais recentemente, a tecnologia de rede sem fio tem sido usada para prover acesso às redes universitárias para usuários que moram nas proximidades de seus campi, usando o conceito de redes *mesh* (redes em malha sem fio) [19]. Existem vários projetos pilotos de redes mesh ao redor do mundo. Exemplos são o RoofNet no MIT [1, 6], VMesh na Grécia [23], MeshNet na UCSB [10, 18], CUWin em Urbana [12], Microsoft Mesh [7, 8], entre outros [24].

Além de projetos acadêmicos, soluções comerciais já aparecem no mercado, oferecidas por grandes empresas, como Nortel [19] e Cisco [3], e por pequenas empresas também [2]. Diversos governos estão investindo na construção de cidades digitais usando redes mesh sem fio, como em Dublin [24], em Taipei onde os produtos da Nortel estão sendo usados e recentemente na cidade histórica de Tiradentes no Brasil, que utiliza a solução da Cisco. Uma grande desvantagem dos roteadores *mesh* comerciais é o seu alto custo, impraticável para usuários finais comuns. A solução Remesh proposta neste trabalho, como as de [1, 10, 12, 23], é baseada no sistema operacional linux, com código aberto e utiliza um roteador sem fio de baixo custo.

Algumas soluções, incluindo as da Microsoft [7], Nortel [19] e Cisco [3], usam duas frequências de transmissão diferentes, normalmente 802.11a em 5GHz para o *backbone* (enlaces entre os roteadores sem fio) e 802.11b/g em 2.4GHz para os enlaces de acesso (entre pontos de acesso e usuários). Já que no Brasil, a banda de 5GHz ainda não está totalmente

regulamentada, a solução ReMesh utiliza somente a banda de 2.4GHz e, como RoofNet e VMesh, usuários finais são conectados aos pontos de acesso *mesh* através de Ethernet cabeada ou acesso WiFi sem fio.

Em relação ao protocolo de roteamento, diferentes soluções são escolhidas em cada projeto. VMesh e ReMesh utilizam OLSR (*Optimized Link State Routing*) [4, 5], que é um protocolo de roteamento pró-ativo padronizado pelo IETF. Microsoft Mesh usa um protocolo reativo com roteamento na origem derivado do DSR (*Dynamic Source Routing*) [11], chamado MR-LQSR (*Multi-Radio Link-Quality Source Routing*) [7]. RoofNet desenvolveu uma proposta híbrida, combinando a técnica de link state e a descoberta sob-demanda no estilo DSR, criando um protocolo chamado Srcr [1]. O trabalho da UCSB apresentado em [18] utiliza o AODV (*Ad Hoc On-Demand Distance Vector*) [16, 17], um protocolo reativo padronizado. A solução da Cisco utiliza um protocolo de roteamento proprietário chamado AWP (*Adaptive Wireless Path*) [3] e a Nortel utiliza o OSPF (*Open Shortest Path First*) [19], tradicionalmente usado em redes cabeadas. O projeto CUWin está desenvolvendo um protocolo de roteamento escalável, baseado em link state, que minimiza o custo de manter um visão consistente da rede, chamado HSLs (*Hazy Sighted Link State*) [2, 20, 21].

Os custos dos enlaces sem fio, usados para descoberta das melhores rotas, podem ser calculados usando a contagem de saltos tradicional [5, 20], o tempo de ida e volta por salto, retardos entre pares de pacotes [7], a métrica ETX (*Expected Transmission Count*) [6] ou métricas similares derivadas, tal como ETT (*Expected Transmission Time*) [1] e WCETT (*Weighted Cumulative Expected Transmission Time*) [7]. A métrica ETX mede dinamicamente a qualidade dos enlaces sem fio e como é usada pela solução ReMesh, será explicada em detalhes mais adiante. A métrica ETT prevê o tempo total para enviar um pacote ao longo de uma rota, considerando a taxa de transmissão máxima de cada enlace e a probabilidade de recepção usando essa taxa. O protocolo de roteamento usado por RoofNet escolhe a rota de menor ETT [1]. WCETT leva em consideração a interferência entre enlaces que utilizam o mesmo canal. Uma discussão detalhada sobre métricas para qualidade de enlaces pode ser encontrada em [7, 8]. Na maioria dos trabalhos relacionados, o custo de uma rota com múltiplos saltos é dado pela soma do custo de cada salto no caminho. Alguns autores [1, 6] afirmam que é melhor selecionar enlaces sem fio com taxas de perda significativas do que favorecer enlaces de baixa perda. Nossos testes iniciais usaram essa abordagem, mas o desempenho da rede não foi satisfatório. A métrica OLSR-ML desenvolvida pelo projeto ReMesh, baseada em ETX, mostra que a escolha oposta, ou seja, escolher enlaces com taxa de perda mínima, também leva a alta vazão, com o benefício adicional de manter as rotas mais estáveis e obter taxas de perda mais baixas, como será discutido mais adiante.

Em [25], é realizada uma experiência com redes de sensores usando o protocolo de roteamento ad-hoc DSDV (*Destination-*

Sequenced Distance-Vector). Os autores utilizam uma métrica de qualidade dos enlaces baseada na quantidade de pacotes perdidos e discutem o desempenho da rede em termos de taxa de perda de pacotes. Apesar de sugerirem o uso da operação de multiplicação no cálculo do custo de caminhos com múltiplos saltos, por questões de limitações de recursos na plataforma de hardware usada no experimento, eles utilizam métricas aproximadas no domínio logarítmico e usam a operação de soma, ao invés da multiplicação, para calcular o custo total de caminhos com múltiplos saltos. Além de monitorar a perda nos enlaces, [25] também aplica reconhecimento passivo no controle de acesso ao meio baseado em CSMA/CA e afirma que o uso de ambas as técnicas pode trazer melhorias na medidas de desempenho em redes reais. O projeto ReMesh optou por não realizar nenhuma modificação no controle de acesso ao meio, para manter compatibilidade com o padrão IEEE 802.11. Mesmo assim, monitorar a perda nos enlaces e usar métricas multiplicativas foi suficiente para melhorar o desempenho da rede *mesh*.

Todos os trabalhos citados propõem o uso de protocolos de roteamento de nível de rede para a implementação da rede em malha, entretanto um esforço recente do IEEE 802 está definindo um novo padrão para redes em malha no nível de enlace, através da futura especificação IEEE 802.11s [27]. Uma implementação da proposta atual (draft) está sendo realizada pela OLPC [28] para uso de redes em malha sem fio para conexão de laptops populares (XOs), no escopo do projeto UCA – Um Computador por Aluno, visando a inclusão digital de crianças em países em desenvolvimento. O Brasil participa do projeto UCA e o grupo de redes *mesh* da UFF coordena os testes da rede *mesh* dos laptops XOs, ainda em andamento.

III. SOLUÇÃO REMESH PARA REDES EM MALHA

A arquitetura proposta pela solução ReMesh para rede de acesso sem fio banda larga está ilustrada na Figura 2.

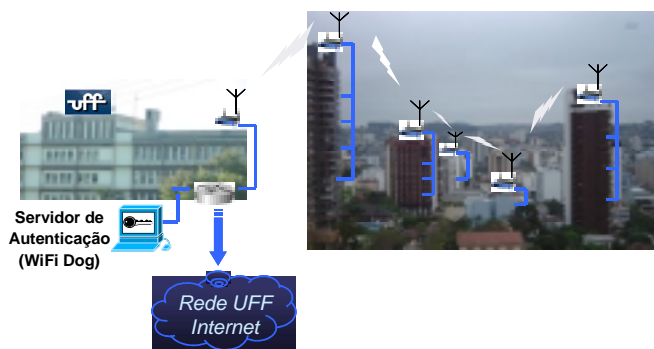


Figura 2. Arquitetura da solução ReMesh.

Os roteadores *mesh* sem fio são instalados no topo dos edifícios ou casas dos usuários da comunidade. Através de conexão ethernet ou wifi, os usuários interligam suas estações pessoais ao roteador de sua residência, e através de uma malha sem fio em múltiplos saltos, os roteadores se comunicam com o(s) gateway(s) para Internet, sendo este(s) instalado(s) no

topo de um dos prédios da instituição que possui acesso à Internet. O gateway se comunica com um servidor de autenticação, que através do software aberto wifidog (*captive portal*) [29] realiza o controle de acesso à rede *mesh*. Só os usuários cadastrados têm acesso à rede, depois de se autenticarem.

O projeto ReMesh também desenvolveu ferramentas de gerência que permitem acompanhar em tempo real a qualidade dos enlaces sem fio, exibindo graficamente a visualização da topologia da rede [30]. Estas ferramentas facilitam a identificação de falhas e manutenção da rede *mesh*. A Figura 3 exibe a visualização da topologia da rede da UFF. A ferramenta gráfica foi desenvolvida utilizando o padrão SVG (*Scalable Vector Graphics*) do W3C [31], baseado em XML. Além de exibir a topologia, o mapa é interativo, permitindo que o usuário clique em cada nó da rede e visualize o resultado gerado pelo software MRTG (*Multi Router Traffic Grapher*), que mostra o tráfego que passa por cada roteador.



Figura 3. Visualização da topologia da rede mesh da UFF.

IV. ROTEADOR SEM FIO DE BAIXO CUSTO

Uma das vantagens da solução ReMesh é o custo baixo dos equipamentos necessários para montar a malha sem fio. O custo atual de cada nó *mesh* sai por menos de US\$ 500, enquanto os seus concorrentes comerciais cobram alguns milhares de dólares por cada nó.

O roteador utilizado é o WRT54G, da Linksys. Trata-se de um roteador wireless 802.11g com 4 MB de memória flash (permanente) e 8 MB de memória RAM. Além de ponto de acesso, ele rotea os clientes ligados a ele tanto pela interface sem fio como pelas suas cinco portas ethernet presentes. O roteador vem de fábrica com um sistema operacional da própria Linksys que possui uma interface de administração via web. A adaptação para transformá-lo em um roteador *mesh* é feita com a instalação do firmware desenvolvido pelo ReMesh, baseado em OpenWRT [14].

Para a montagem de cada nó da rede, pronto para ser instalado em ambientes externos, utilizamos ainda os seguintes

componentes: caixa hermética, base e haste de ferro galvanizado, antena omni-direcional de 18,5 dBi de ganho ou alternativamente antena direcional de 24 dBi de ganho, dependendo da localização do roteador, cabo RGC 213 de 1m, conectores RP-TNC para ligação do cabo com a saída RF do roteador, conectores N-macho para ligação do cabo com a antena omni-direcional e N-fêmea para ligação com a antena direcional, suporte metálico para fixar a caixa com o roteador na haste, módulo POE (*Power Over Ethernet*) desenvolvido pelo próprio ReMesh, que evita a passagem de outro cabo de alimentação para o roteador, cabo de rede UTP, de preferência com capa protetora, para ligação do roteador ao cliente, se o acesso do cliente for cabeado. A Figura 4 mostra um ponto de rede montado em ambiente externo.



Figura 4. Nó mesh montado no topo do prédio da UFF.

Além do roteador e das peças de montagem para o ambiente externo, é necessário um servidor para oferecer o serviço de autenticação e coleta de estatísticas de acesso (através do software wifidog) e também o serviço web, onde executamos as ferramentas de gerência dos nós e da qualidade dos links, cuja visão gráfica foi exibida na Figura 3.

V. PROTOCOLO DE ROTEAMENTO OLSR-ML

A métrica mais comum utilizada para calcular rotas ótimas na maioria dos protocolos de roteamento ad-hoc existentes, incluindo a própria especificação padronizada do protocolo de roteamento OLSR [5], é a quantidade de saltos mínima. Entretanto, minimizar a quantidade de saltos somente não é suficiente em um ambiente sem fio, pois quando a rede é densa, podem existir diversas rotas com o mesmo comprimento em número de saltos e diferentes qualidades em cada caminho. A decisão arbitrária feita pelos algoritmos que minimizam saltos pode não selecionar a melhor rota disponível. A implementação do OLSR [15] utiliza uma métrica que mede a qualidade dos enlaces, chamada ETX [6], denominada neste artigo de OLSR-ETX. Essa extensão tenta encontrar caminhos com o menor número de transmissões necessárias para entregar um pacote ao seu destino final.

A métrica ETX de um enlace é calculada usando as taxas de recepção de pacotes em ambos os sentidos do enlace. A taxa de recepção é a probabilidade com que um pacote de dados chegue no próximo nó do caminho. A probabilidade esperada

com que uma transmissão seja recebida com sucesso e seja reconhecida é o produto entre taxa de recepção de ida ($\overline{d_f}$) e a taxa de recepção de volta ($\overline{d_r}$) do enlace. Logo, o valor da métrica ETX é dado por:

$$ETX = 1 / (\overline{d_f} \times \overline{d_r}).$$

As taxas de recepção (\overline{d}) são medidas utilizando pacotes HELLO do protocolo OLSR modificados, enviados a cada τ segundos ($\tau=2$, por padrão). Cada nó calcula o número de HELLOs recebidos em um período de w segundos ($w=20$, por padrão) e divide pelo número de HELLOs que deveriam ter sido recebidos no mesmo período (10, por padrão). Cada pacote HELLO modificado informa o número de HELLOs recebidos pelo vizinho durante os últimos w segundos, para permitir que cada vizinho calcule a taxa de recepção no outro sentido do enlace. Quanto pior a qualidade do enlace, maior o valor de ETX. O valor mínimo de ETX é 1 em um enlace perfeito e pode ser 0 somente se nenhum pacote HELLO for recebido durante o período de w segundos.

No caso de um caminho com múltiplos saltos, o valor de ETX da rota completa é dado pelo soma do valor de ETX de cada salto. Logo, em uma rota do nó A ao nó C, passando pelo nó B, o valor final de ETX é dado por:

$$ETX_{AC} = ETX_{AB} + ETX_{BC}.$$

O protocolo OLSR seleciona como melhor rota, de uma origem a um destino específico, aquela que tem o menor valor de ETX.

Usando o protocolo OLSR com a extensão ETX original, vivenciamos instabilidade nas tabelas de rotas e altas taxas de perda de pacotes na rede do projeto ReMesh. Para melhorar o desempenho da rede, O ReMesh propõe uma maneira alternativa para calcular a qualidade de um dado caminho com o objetivo de selecionar a rota com a menor probabilidade de perda de pacotes, batizada de OLSR-ML (*minimum loss*) [32].

Interpretando as taxas de recepção dos enlaces como probabilidades, como foram originalmente definidas, a probabilidade de transmissão com sucesso de A até B é:

$$P_{AB} = (\overline{d_f} \times \overline{d_r}).$$

Em um caminho com múltiplos saltos, a probabilidade de transmissão com sucesso em todo o caminho deveria ser o produto das probabilidades de cada salto. Com isso, em uma rota de A até C, passando por B, a probabilidade total de transmissão com sucesso no caminho é dada por:

$$P_{AC} = P_{AB} \times P_{BC}.$$

Dessa forma, em nossa proposta, o valor da medida de qualidade de um caminho com múltiplos saltos é dado pelo produto do valor da medida de qualidade de cada salto e não pela soma de todos eles, como na proposta original. Como estamos usando a probabilidade P e não seu valor inverso (ETX), a melhor rota de uma origem a um destino específico é aquela com a maior probabilidade (P) de transmissão com sucesso, ou seja, aquela com a menor probabilidade de perda de pacotes.

Usando esta abordagem, poderíamos questionar que se todas as medidas de qualidade fossem iguais a 1, então a probabilidade de transmissão com sucesso em um caminho

com múltiplos saltos, entre dois nós, seria mesma que a probabilidade em um enlace direto entre eles. Isto é verdade, porém a implementação do OLSR já fornece uma solução para esse cenário. Quando múltiplas rotas com a mesma medida de qualidade são encontradas, aquela com a menor quantidade de saltos é a escolhida. Então, o enlace direto seria escolhido neste caso.

Por outro lado, se um caminho com múltiplos saltos tem probabilidade de transmissão com sucesso maior (ou probabilidade de perda de pacotes menor) que um caminho direto, o caminho com mais saltos é escolhido. Resultados de testes de desempenho indicam que a nova proposta melhorou o desempenho da rede mesh em relação à estabilidade das rotas, taxas de perda de pacotes, retardos de ida e volta e vazão.

A Figura 5 ilustra o ambiente interno de testes do projeto ReMesh. Os nós estão numerados de 0 a 8 e foram posicionados em diferentes laboratórios em um mesmo prédio. O nó 8 fica no quarto andar e os outros ficam no terceiro. Os enlaces foram construídos monitorando a topologia da rede. As linhas pontilhadas indicam enlaces de qualidade baixa enquanto que as linhas contínuas indicam enlaces de melhor qualidade.

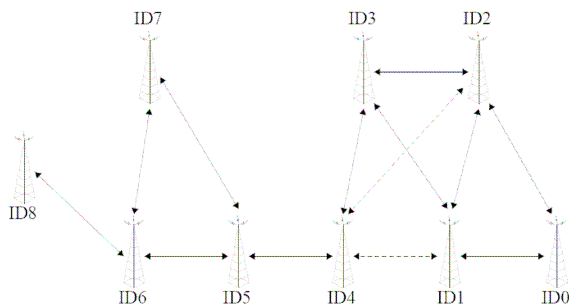


Figura 4. O ambiente interno de testes do projeto ReMesh.

No cenário descrito, observamos instabilidade nas rotas e altas taxas de perda com o protocolo OLSR usando a extensão ETX original. Isso motivou a necessidade de utilizar uma métrica de roteamento diferente, o OLSR-ML, que melhorou o desempenho da rede em nosso ambiente. As Figuras 5, 6 e 7 ilustram, respectivamente, taxas de perdas de pacotes, retardos de ida e volta e vazão para comunicação entre os nós 0 e 8 da topologia exibida na Figura 4, ou seja, considerando transmissões com até 8 saltos. Todas as figuras comparam o desempenho das métricas ETX, ML (desenvolvida pelo ReMesh) e HOP (número de saltos), usando o protocolo OLSR.

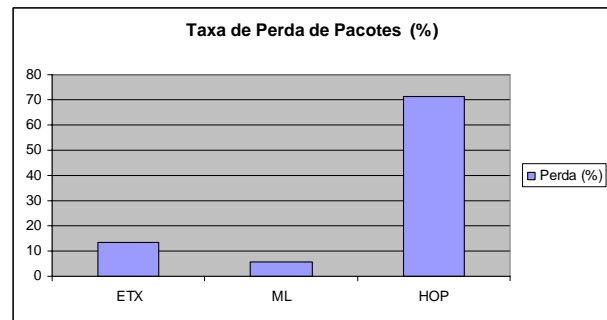


Figura 5. Taxas de perda de pacotes com até 8 saltos.

Analisando a Figura 5, percebemos que número de saltos realmente não é adequado para como métrica para escolha do melhor caminho em redes sem fio e que a extensão OLSR-ML, desenvolvida pelo ReMesh apresenta a menor taxa de perdas para transmissões com até 8 saltos.

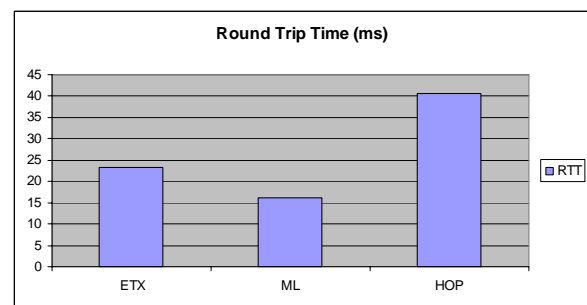


Figura 6. Retardos de ida e volta com até 8 saltos.

A Figura 6 indica um melhor desempenho em termos de retardo do OLSR-ML, em relação aos demais, mesmo podendo escolher caminhos com mais nós intermediários. Para entender como caminhos com maior número de saltos têm retardos de ida e volta (RTT - *round trip time*) menor que caminhos com menor número de saltos, estatísticas da camada 2 foram investigadas. Os resultados iniciais indicam menos retransmissões da camada 2 ao longo do caminho com menor probabilidade de perda, selecionado pelo OLSR-ML, em comparação com o número de retransmissões de camada 2 ao longo do caminho selecionado por OLSR-ETX. O número máximo de tentativas de retransmissão para cada quadro foi setado como 7 na camada 2, de acordo com o padrão IEEE 802.11.

A Figura 7 exibe a comparação da vazão média obtida na transmissão entre os nós 0 e 8, também mostrando um melhor desempenho para o OLSR-ML, que chegou a 484 Kbps com 8 saltos.

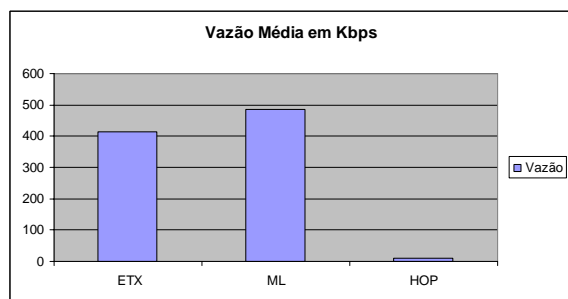


Figura 7. Vazão média com até 8 saltos.

VI. CONCLUSÕES

Redes *mesh* sem fio comunitárias estão se tornando uma solução atraente para oferecer acesso banda larga de baixo custo à Internet e outros serviços, tais como computação ubíqua e telefonia IP sobre redes sem fio. O projeto ReMesh tem o objetivo de incluir digitalmente a comunidade acadêmica da UFF, através do oferecimento de acesso banda larga para as vizinhanças ao redor dos campi da universidade. A solução apresentada neste trabalho é uma possibilidade real para popularização do acesso a Internet em pequenos municípios e comunidades carentes espalhadas pelo nosso país.

A rede mesh da UFF está em funcionamento desde abril de 2006, tendo hoje mais de 70 usuários cadastrados, que já transferiram mais de 700GB de informação através da rede.

Como trabalhos futuros, estão sendo investigados o oferecimento de qualidade de serviço, comunicação em grupo e mobilidade em redes mesh e pretende-se incluir estas facilidades na solução ReMesh.

REFERÊNCIAS

- [1] J. Bicket, D. Aguayo, S. Biswas, and R. Morris, "Architecture and Evaluation of an Unplanned 802.11b Mesh Network", ACM MobiCom, agosto de 2005.
- [2] R. Bruno, M. Conti, and E. Gregori, "Mesh Networks: Commodity Multihop Ad Hoc Networks", IEEE Communications Magazine, 2005.
- [3] Cisco Wireless Mesh Networking Solution, <http://www.cisco.com/go/wirelessmesh>, acessado em março de 2006.
- [4] T. Clausen et al., "Optimized Link State Routing Protocol", IEEE INMIC, Pakistan, 2001.
- [5] T. Clausen, P. Jacquet, A. Laouiti et al., "Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)", IETF RFC 3626, outubro de 2003.
- [6] D. Couto, D. Aguayo, J. Bicket and R. Morris, "A High-Throughput Path Metric for Multi-Hop Wireless Routing", ACM MobiCom, San Diego, CA, setembro de 2003.
- [7] R. Draves, J. Padhye, and B. Zill, "Routing in Multi-radio, Multi-hop Wireless Mesh Networks", ACM MobiCom, Philadelphia, PA, 2004.
- [8] R. Draves, J. Padhye, and B. Zill, "Comparison of Routing Metrics for Static Multi-Hop Wireless Networks", ACM SIGCOMM, Portland, 2004.
- [9] W. G. Griswold, P. Shanahan, S. W. Brown, R. Boyer, M. Ratto, R. B. Shapiro and T. M. Truong, "ActiveCampus - Experiments in Community-Oriented Ubiquitous Computing", IEEE Computer, 2004.
- [10] C. Ho, K. Ramachandran, K. C. Almeroth and E. M. Belding-Royer, "A Scalable Framework for Wireless Network Monitoring", 2nd ACM International Workshop on Wireless Mobile Applications and Services on WLAN Hotspots (WMASH), Philadelphia, PA, setembro de 2004.
- [11] D. Johnson, D. Maltz, and J. Broch, "DSR: the dynamic source routing protocol for multihop wireless ad hoc networks", Ad Hoc Networking, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Boston, MA, 2001.
- [12] M. Lad, S. Bhatti, S. Hailes and P. Kirstein, "Enabling Coalition-Based Community Networking", The London Communications Symposium (LCS), setembro de 2005.
- [13] C. Murthy and B. S. Manoj, "Ad Hoc Wireless Networks: Architectures and Protocols", 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2004.
- [14] OpenWrt - <http://openwrt.org/>, acessado em abril de 2007.
- [15] OLSR Implementation, <http://www.olsr.org>, acessado em janeiro de 2006.
- [16] C. E. Perkins e E. Royer, "Ad-hoc on demand distance vector routing", IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA'99), fevereiro de 1999.
- [17] C. E. Perkins, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", IETF RFC 3561, julho de 2003.
- [18] K. Ramachandran, E. M. Belding-Royer and K. C. Almeroth, "DAMON: A Distributed Architecture for Monitoring Multi-hop Mobile Networks", IEEE First International Conference on Sensor and Ad hoc Communications and Networks (SECON), Santa Clara, CA, 2004.
- [19] S. Roch, "Nortel's Wireless Mesh Network solution: Pushing the boundaries of traditional WLAN technology", Nortel Technical Journal, Issue 2, outubro de 2005. disponível em http://www.nortel.com/solutions/ntj/collateral/ntj2_wireless_mesh.pdf
- [20] C. Santivanez et al., "On the Scalability of Ad Hoc Routing Protocols," IEEE INFOCOM, New York, NY, vol. 3, pp. 1688-1697, 2002.
- [21] C. Santivanez, R. Ramanathan. "Hazy Sighted Link State (HSL) Routing: A Scalable Link State Algorithm", BBN Technical Memorandum, No. 1301, março de 2003.
- [22] The ReMesh Project, <http://mesh.ic.uff.br>.
- [23] N. Tsarmpopoulos, I. Kalavros and S. Lalis, "A Low Cost and Simple-to-Deploy Peer-to-Peer Wireless Network based on Open Source Linux Routers", IEEE First International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities (TRIDENTCOM), pp. 92-97, 2005.
- [24] S. Weber, V. Cahill, S. Clarke and M. Haahr, "Wireless Ad Hoc Network for Dublin: A Large-Scale Ad Hoc Network Test-Bed", ERCIM News, vol. 54, 2003.
- [25] M. Yarvis et al., "Real-World Experiences with an Interactive Ad Hoc Sensor Network", IWAHN, ICPPW'02, 2002.
- [26] IBGE, PNAD 2005, Síntese de Indicadores, <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2005/default.shtm>
- [27] IEEE P802.11s/D0.02, Draft Amendment to Standard for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems - LAN/MAN Specific Requirements - Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Amendment: ESS Mesh Networking, Junho de 2006.
- [28] OLPC (One Laptop per Child), <http://laptop.org>
- [29] WiFiDog, A Captive Portal Suite, <http://dev.wifidog.org>
- [30] R. Valle, D.C. Muchaluat-Saade, Visualização da Topologia de Redes Mesh Usando o Padrão SVG, Salão de Ferramentas, 25º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, Belém, PA, 2007.
- [31] Scalable Vector Graphics (SVG) 1.1 Specification, W3C Recommendation, 14 January 2003, disponível em <http://www.w3.org/TR/SVG11/>.
- [32] D. Passos, D. Teixeira, D.C. Muchaluat-Saade, L.C. Schara Magalhães e C. Albuquerque, "Mesh Network Performance Measurements", 5th International Information and Telecommunications Technologies Symposium, Cuiabá, MT, Brasil, 6 a 8 de dezembro de 2006.