

## **AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE REDES MESH COM OS CLASSMATE PCS DA INTEL**

### *EXPERIMENTAL EVALUATION OF WIRELESS MESH NETWORK WITH THE INTEL CLASSMATE PCS*

**Jorge R. Beingolea Garay**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP

**Roberto K. Hiramatsu**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP

**Sergio T. Kofuji**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP

**Roseli de Deus Lopes**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP

---

#### **ABSTRACT**

This paper shows performance evaluation results of a wireless mesh network employing an 802.11s standard and low cost Intel Classmate PCs. The experiments consist of throughput and coverage range determination, in indoor and outdoor scenarios, in which net and communication *multihop* coverage tests were done. The results show maximum throughput of 14 Mbps for TCP

---

Recebido em/*Manuscript first received*: 24/01/2008 Aprovado em/*Manuscript accepted*: 18/07/2008

Endereço para correspondência/*Address for correspondence*

*Jorge R. Beingolea Garay*, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Faculdade de Engenharia Elétrica Psi, Laboratório de Sistemas Integráveis Lsi. Av. Prof. Luciano Gualberto, travessa 3, 380 – Butantã – SP, Brasil – 05508-900. Telefone: (11) 3091-9741 Ramal: 9741 Fax (11) 3091-5665 E-mail: [jorge@pad.lsi.usp.br](mailto:jorge@pad.lsi.usp.br)

*Roberto K. Hiramatsu*, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Sistema Eletrônicos. Av. Prof. Luciano Gualberto, travessa 3, 158 – Butantã – SP, Brasil – 05508-900. Telefone: (11) 3091-5674 Fax: (11) 3091-5665 E-mail: [kenji@lsi.usp.br](mailto:kenji@lsi.usp.br)

*Sergio T. Kofuji*, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais. Av. Prof. Luciano Gualberto, travessa 3, 158 – Butantã – SP, Brasil – 05508-900. Telefone: (11) 3091-5662 Fax: (11) 3091-5664 E-mail: [sergio.kofuji@poli.usp.br](mailto:sergio.kofuji@poli.usp.br)

*Roseli de Deus Lopes*, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Sistema Eletrônicos. Av. Prof. Luciano Gualberto, travessa 3, 158 – Butantã – SP, Brasil – 05508-900. Telefone: (11) 3091-5661 Fax: (11) 3091-5665 E-mail: [roseli@lsi.usp.br](mailto:roseli@lsi.usp.br)

and 12 Mbps for UDP respectively, proving the proposed solution's viability for the digital inclusion process in public schools.

**Keywords:** Classmate PC; Mesh Network; Digital Inclusion; 802.11s.

## RESUMO

Este artigo apresenta os resultados da avaliação de uma rede *mesh* empregando o padrão 802.11s e laptops de baixo custo para inclusão digital fabricados pela Intel - os Classmate PCs. Os experimentos de avaliação contemplaram tanto testes em ambientes internos como externos, nos quais foram realizados testes de cobertura da rede e comunicação *multihop*. Os experimentos realizados mostram uma taxa máxima obtida na transferência de pacotes de 14Mbps e 12Mbps para TCP e UDP, respectivamente, comprovando a viabilidade da solução proposta para o processo de inclusão digital nas escolas públicas.

**Palavras-chave:** Classmate PC; Redes Malha; Inclusão Digital; 802.11s.

## 1 INTRODUÇÃO

Como alternativa para a intensificação da inclusão digital no país, o Governo Brasileiro se uniu a uma das maiores iniciativas internacionais de inclusão digital, o Projeto OLPC (*One Laptop per Child*) proposto pelo MIT (*Massachusetts Institute of Technology*). Esse projeto propõe a utilização, em escolas públicas, de laptops de baixo custo com capacidade de comunicação sem fio em rede *mesh* (malha), conhecidos como laptops XO. Experiências do uso de computadores portáteis no processo de aprendizado são realizadas em diferentes escolas, sob a supervisão de importantes centros de pesquisa das maiores universidades do país e com o aval do Governo Federal.

Nessa perspectiva, o Projeto RUCA (2007) (Rede em Malha do Projeto Um Computador por Aluno), administrado pela RNP (Rede Nacional de Pesquisa), realiza um estudo de redes *mesh* utilizando a arquitetura de hardware dos XO. O Grupo de Pesquisa em Redes Mesh (REMESH, 2007) implementou no Brasil o primeiro projeto piloto para o estudo da viabilidade de uma rede de acesso universitária sem fio de tipo *mesh*. Enquanto isso, a Google implantou a *Google Mesh*, uma rede de acesso comunitário à Internet na Califórnia, que fornece uma largura de banda de 1Mbps (GOOGLE, 2007).

Mesmo com a existência desses projetos, as redes de tipo *mesh* são relativamente novas, existindo ainda muitas questões técnicas para serem resolvidas, tais como: a segurança na conexão; a estabilidade de conexão através de eficientes algoritmos de seleção de canais, para a otimização e confiabilidade na transmissão de dados (ALICHERY; BHATIA; LI, 2006); e técnicas de transmissão multi-rádio e multi-salto (DRAVES; PADHYE; ZILL, 2004). Questões estas que precisam ser consideradas na implementação de uma rede *mesh*, contemplando as diferentes arquiteturas de hardware existentes.

Paralelamente ao Projeto OLPC, com os XO, surgem outras iniciativas ao processo de inclusão digital. Uma delas é promovida pela Intel, através do computador portátil Classmate PC (CLASSMATE PC, 2007), que se encontra no momento em sua

segunda versão, o Classmate PC 1.5. Esses computadores portáteis, assim como os XO, consideram entre suas formas de comunicação a implementação de uma rede IEEE 802.11s, que provê uma solução para a formação de redes *mesh* sem fio auto-configuráveis.

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho é determinar a eficiência desse tipo de rede, considerando seu baixo custo de implementação e a necessidade de pouca infra-estrutura dentro do cenário de uma escola.

## 2 O CLASSMATE PC E A INCLUSÃO DIGITAL

O Classmate PC é o resultado de uma iniciativa da Intel para o processo de inclusão digital nas escolas. Essa iniciativa tem por objetivo prover aos futuros usuários – os alunos – um hardware versátil e com possibilidade de conexão em rede, através de interfaces com e sem fio.

As duas versões de Classmate PC existentes, versão 1.0 e a 1.5, possuem módulos internos de rede *Wi-Fi* (*wireless fidelity*), com suporte à rede *mesh* que segue o padrão IEEE 802.11s. Esse hardware é composto por um processador Celeron de 900MHz, memória RAM de 256Mbytes e uma memória Flash de 2Gbytes.

A disponibilidade de acesso à Internet como fonte de conhecimento, através de uma infra-estrutura de baixo custo, é um aspecto importante no conceito do OLPC. Nessa direção, os computadores podem conectar-se entre si e acessar um mesmo recurso sem a necessidade de um *backbone* físico convencional cabeado. A viabilidade desse projeto sustenta-se em alguns aspectos importantes como: o desempenho e a robustez da rede sem fio para possibilitar a interconexão dos laptops, o acesso a recursos compartilhados e eventualmente o acesso à Internet.

O LSI (Laboratório de Sistemas Integráveis da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo) é um dos centros de pesquisa brasileiro que faz parte do projeto de inclusão digital, tendo como foco o uso dos XO em algumas escolas do Estado de São Paulo. Além de avaliações experimentais do XO, o LSI também se dedica ao estudo de outras iniciativas de plataformas de baixo custo, dentre as quais inclui-se o Classmate PC da Intel.

## 3 IEEE 802.11S E OS CLASSMATE PCS

O IEEE 802.11s é um padrão que especifica a transmissão através de múltiplos saltos (*multi-hop*) no nível da camada de enlace para redes *ad-hoc*, oferecendo comunicação em grupo de complexidade exponencial. Esse padrão determina o uso de um protocolo de roteamento chamado HWMP (*Hybrid Wireless Mesh Protocol*) (BAHR, 2006), que é baseado no conhecido protocolo para redes *ad-hoc*, AODV (*Ad Hoc On-Demand Distance Vector*) (PERKINS; BELDING-HOYER; DAS, 2003).

Nas redes de tipo *mesh*, os nós atuam como encaminhadores de pacotes de outros nós que não se encontram na área de conexão direta com os seus destinos,

permitindo maior alcance, melhor cobertura da rede e o fácil acesso aos diferentes recursos que existem dentro da mesma. Assim, é possível adicionar facilmente usuários e pontos de acesso à rede. Além dessa característica de escalabilidade, outro elemento importante desse tipo de rede é o natural suporte à redundância nas rotas de comunicação.

Com o intuito de determinar a eficiência desse tipo de rede, em relação a uma arquitetura diferente a do XO, foi utilizado o Classmate PC, tornando essa última arquitetura uma alternativa ao processo de inclusão digital.

A implementação da rede *mesh* ao Classmate PC segue a arquitetura proposta pelo padrão IEEE 802.11s, a qual considera quatro tipos de nós na organização da rede: i) um Cliente ou Estação (STA – *Client or Station*), que requer os serviços da rede, mas não provê nenhum tipo de serviço de descoberta ou roteamento de pacotes; ii) o Ponto *Mesh* (MP – *Mesh Point*), nó que participa na formação e operação da rede *mesh*; iii) o Ponto de Acesso *Mesh* (MAP – *Mesh Access Point*), que mantém o AP para prover serviços aos clientes da rede; e iv) o Portal de Acesso *Mesh* (MPP – *Mesh Portal Point*), que proporciona os serviços de *gateway* entre uma rede *mesh* e uma rede externa, como a Internet.

Os Classmate PCs utilizam um único sistema de rádio a 2.4Ghz e duas interfaces de rede sem fio que são providas pelo sistema operacional: *rausb0*, interface principal de conexão a uma rede *Wi-Fi*, e a interface *mesh0* para conexão à rede *mesh*. Além das interfaces sem fio, os Classmate PCs disponibilizam uma interface para rede física chamada *eth0*.

Essas interfaces permitem que os dispositivos atuem como STA, MP e também como MPP, possibilitando o tráfego dentro e fora de uma rede *mesh* da mesma forma que o XO. Existem duas formas de transformar um Classmate PC em um MPP através da interface sem fio. A primeira é conectando o Classmate PC a uma rede sem fio estruturada, que poderíamos chamar de *wired*, por meio da interface *rausb0*. A segunda é por meio de scripts iniciando a interface virtual *mesh0*, que será associada a um ponto de acesso AP. O tráfego da interface *rausb0* conectada ao AP e repassada à interface *mesh0* servirá de MPP para os outros nós da rede *mesh*. O funcionamento dessa rede necessita de algumas configurações adicionais com o objetivo de manter a rede funcionando de forma semelhante aos XO.

Outra forma do Classmate PC atuar como MPP é utilizar a interface *eth0* e a interface virtual *mesh0* para configuração, atuando neste caso como um roteador, o que possibilita o tráfego da interface *mesh0* para a rede cabeada, através da interface *eth0*. Essa configuração ainda não foi testada, mas há a possibilidade de gerenciar essas duas interfaces em um mesmo Classmate PC.

#### 4 CONECTIVIDADE NOS CLASSMATE PCS

O sistema de rádio dos Classmate PCs é composto por um chipset Railink rt73 e uma interface 802.11b/g. Diferentemente dos XO, os Classmate PCs não possuem antenas externas que ajudam na transmissão e recepção de dados, especialmente em ambientes internos, onde a densidade da estrutura física do cenário de comunicação é

capaz de atenuar o sinal dos dispositivos transmissores. Como em vários laptops comerciais, no Classmate PC, a antena é integrada à estrutura do display, onde cada uma das interfaces de comunicação *rausb0* e *eth0* utiliza um barramento de comunicação USB.

A geração do tráfego TCP e UDP é realizada através da ferramenta *Iperf tool* (NLANR/DAST, 2007) e para o controle de tráfego da rede *mesh* é utilizada a ferramenta *Wireshark*, como um *sniffer* alternativo (WIRESHARK, 2007).

#### 4.1 Roteamento

Atualmente, o padrão 802.11s estabelece o uso obrigatório do protocolo HWMP, sendo que este é um protocolo de roteamento para garantir a interoperatividade da rede, combinando o conceito de descoberta de rotas de baixa demanda com a criação de árvore de roteamento pró-ativo. A descoberta de rotas de baixa demanda oferece uma maior flexibilidade para a criação de redes *mesh*, nas quais os nós são móveis; enquanto que o roteamento pró-ativo reduz a carga do tráfego de controle *intra-mesh* em redes com nós fixos. A seguir serão descritos, detalhadamente, as rotas de baixa demanda e o roteamento pró-ativo.

- a) *HWMP rotas de baixa demanda*: permitem aos nós móveis obterem novas rotas para os destinos de forma rápida e sem manter rotas não ativas. O emissor envia um comando RRQ (*Route Request Packets*) em *broadcast* (Figura 1).

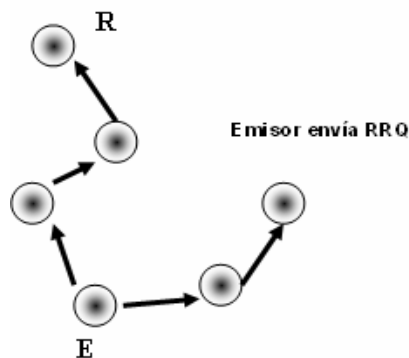


Figura 1 – Envio do RRQ pelo emissor

A rota é criada logo após a obtenção da resposta do destinatário com um comando de *route-reply* ao nó intermédio, que tem uma rota válida ao emissor (Figura 2).

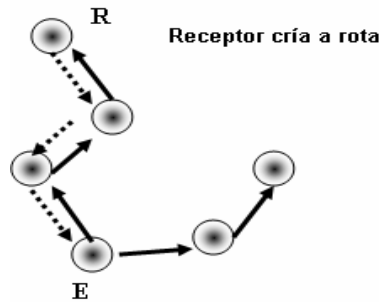


Figura 2 – Receptor cria nova rota

A rota é mantida até que exista uma perda de comunicação de algum dos nós. Nesse caso, uma mensagem de *route-error* é emitida e inicia-se um novo processo.

- b) *HWMP roteamento pró-ativo*: cria-se uma tabela de roteamento em cada nó em resposta à solicitação do MPP (*gateway*) em *broadcast*. Os nós *mesh* calculam o melhor caminho até o *gateway* em função do número de saltos e armazenam as distintas sub-rotas (Figura 3).

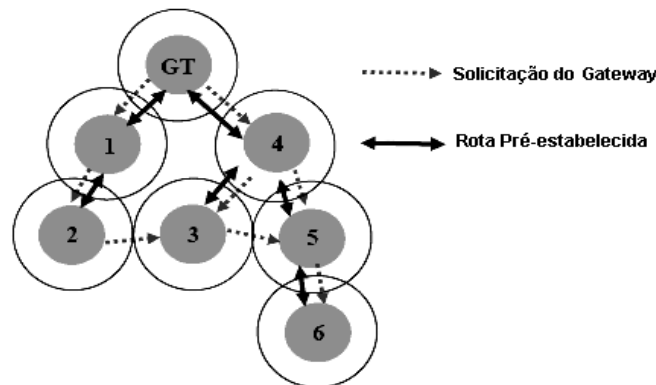


Figura 3 – Roteamento Pró-ativo

Em caso de perda de comunicação de um nó com o *gateway* é emitida uma mensagem de erro pelo nó, identificando uma mudança de rota ao resto da rede.

Visto por uma ótica menos técnica, nos Classmate PCs, cada nó seria uma espécie de *Cliente-Emissor-Repetidor* da rede *Wi-Fi*, resultando em uma rede *mesh*. Tecnicamente, cada ponto de conexão é um nó interconectado a outros nós, formando a *mesh* via rádio. Vale ressaltar que cada ponto é também independente, na medida em que pode decidir a rota que cada pacote de informação seguirá em cada momento. Finalmente, quando é produzido um corte na rede o próprio nó deverá ser capaz de decidir como traçar uma nova rota.

## 5 EXPERIMENTOS REALIZADOS

Nas subseções seguintes serão detalhadas as configurações e os procedimentos efetuados para a realização dos experimentos. Ao final, será exposto cada um dos resultados obtidos em decorrência dessas configurações.

## 5.1 Configuração Prévia

As simulações em software, em alguns casos, não refletem os dados obtidos experimentalmente, pois não é possível parametrizar todas as interações do hardware transmissor sem fio e o ambiente de propagação. Assim, medições experimentais em cenários reais tornam-se importantes para determinar os fenômenos que possam influenciar negativamente o desempenho da rede.

Neste trabalho, foi escolhido um cenário real para a realização dos testes, possibilitando resultados com maior exatidão em relação aos obtidos por simulação. Dessa maneira, acredita-se que esses resultados poderão auxiliar na futura implementação de redes *mesh* fazendo uso dos Classmate PCs.

Durante as configurações, algumas ferramentas de rede foram consideradas, bem como o uso de um SO baseado em Linux.

O Sistema Operacional Metasys (METASYS, 2007), baseado na distribuição Linux OpenSuse 10.1 e 10.2 personalizado para o *hardware* do Classmate PC, é bastante robusto e proporciona algumas ferramentas que possibilitam a interação entre os usuários, através de um comunicador chamado *Pidgin*. Esse software possui as virtudes de um sistema de *chat* e sua diferença está relacionada ao funcionamento em uma rede *mesh* que utiliza um protocolo de conexão *multicast*, denominado *bonjour*. Essa ferramenta foi utilizada unicamente para verificar a estabilidade da conexão *mesh* nos experimentos de variações de distâncias. O *Pidgin* precisava ser desligado antes de iniciar cada um dos testes TCP e UDP com a ferramenta *Iperf*. Esse procedimento evita que os *frames* de sincronismo, de cada um dos Classmate PCs, não ocupem a largura da banda a ser testada, interferindo nos resultados finais dos experimentos realizados.

Na realização desses experimentos, várias versões do núcleo do sistema operacional e arquivos de configuração foram testadas, com o intuito de melhorar a estabilidade das conexões através das interfaces *rausb0* (*Wi-Fi*) e *mesh0* (rede *mesh*). O passo seguinte foi a instalação da versão do SO Metasys beta2b com suporte *mesh* em cada um dos Classmate PCs que fizeram parte de nosso experimento.

O *Wireshark* foi a ferramenta de *sniffer* RF (Rádio Frequência) utilizada para captura do tráfego de dados provenientes de interfaces sem fio. Após a instalação do *sniffer*, foi instalado o *Iperf* para a realização dos testes de transmissão de *frames* TCP e UDP. No entanto, durante os procedimentos de instalação que estavam relacionados à compilação, a limitação de espaço de armazenamento no hardware constituiu-se em um problema. Essa dificuldade foi resolvida com a utilização de um servidor *OpenSuse* de mesma versão àquela instalada ao Classmate PC, pois os componentes de software usados nesse laptop são baseados em arquitetura x86. Foi também compilada ao servidor a ferramenta *Iperf*, sendo instalada via NFS nos Classmate PCs.

Na realização dos experimentos, outros problemas foram encontrados durante as

configurações iniciais, como a instabilidade da rede *mesh* que perdia a conexão após um determinado intervalo de tempo ou quando um novo dispositivo era iniciado na rede *mesh* (outro Classmate PC). A falha era provocada por um conflito com o comunicador *Pidgin* que estava configurado para iniciar junto ao SO. A solução foi desativar a configuração que permitia o início pré-determinado do comunicador.

É preciso ressaltar ainda que outras configurações devem ser realizadas como: editar o arquivo *\init.d* para iniciar a interface *mesh0* e a conexão *mesh* de forma automática junto com o gerenciador de conexões sem fio, para que assim se inicie a detecção da rede *mesh* de forma automática uma vez iniciado o sistema.

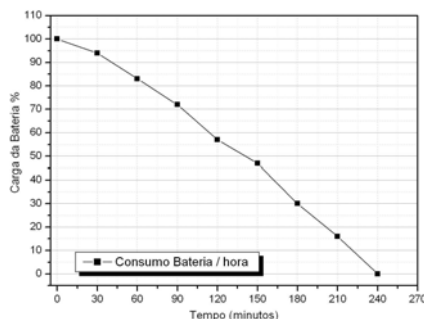
#### a) *Hardware dos Classmate PCs*

A documentação do Classmate PC é escassa. Alguns de seus componentes são facilmente identificados pelo SO, como o processador Celeron de 900Mhz, mas os detalhes mais técnicos, como a estrutura física da placa-mãe é pouco conhecida. A incompatibilidade inicial do SO com o novo chip de rádio da Railink, acondicionado na nova versão dos Classmate PCs, foi um dos nossos maiores impedimentos na configuração da rede *Wi-Fi* e da rede *mesh*. Problema esse que foi resolvido após algumas correções na versão do SO Metasys, com a adoção de uma nova versão do driver da placa *Wi-Fi*. Esse procedimento possibilitou o uso da interface física *rausb0* e a interface virtual *mesh0*, simultaneamente.

Outro problema identificado foi o tipo de criptografia utilizado nos Classmate PCs, o qual só suporta WEP de 64 bits, sendo que alguns AP suportam WEP de 128 bits e os mais modernos WEP e WAP.

#### b) *Testes de energia*

Entre as limitações que são sempre apresentadas nos experimentos realizados em campo têm-se o abastecimento de energia para os equipamentos que estão sendo usados nas avaliações. Limitação essa que os Classmate PCs resolvem muito bem, utilizando uma bateria Samsung de Li-Ion de 11.1 volt de 4000 mA hora e com uma duração de quatro horas na realização dos experimentos. O resultado do consumo progressivo de energia é apresentado no Gráfico 1.



**Gráfico 1 – Consumo da bateria / hora**



Os experimentos de consumo de energia apresentaram os mesmos resultados em todos os momentos, mesmo em ambientes internos ou externos. Devido à eficiência da bateria do Classmate PC, os experimentos foram realizados em três dias. Inicialmente foram feitos testes prévios para eliminar possíveis erros na configuração dos Classmate PCs e na rede *mesh*, bem como nas ferramentas de software utilizadas.

Incluiu-se aos experimentos o teste de energia, visando garantir que os resultados não fossem afetados pelas variações de carga da bateria.

### c) *Comunicação RF*

Experimentos de propagação são bastante difíceis de serem realizados e reproduzidos, pois cada cenário apresenta situações e variáveis diferentes na transmissão. É preciso ressaltar que variáveis de propagação em ambientes internos não são consideradas em uma análise realizada em ambientes externos, em decorrência da diversidade da estrutura física do ambiente de propagação. Sendo que o ganho da antena do rádio transmissor em cada um desses ambientes é totalmente diferente. Os Classmate PCs não possuem antenas externas, o que pode resultar em desvantagem em determinados ambientes.

Outra limitação é a dificuldade da análise de RF, pois o tipo de comunicação - múltiplas rotas - quando utilizado dificulta a coleta de amostras em campo. Diante dessas condições variáveis, a solução inicial seria realizar uma coleta de amostras baixa em diversas situações e em número maior, para que o resultado possa ser o valor médio obtido de todas essas amostras.

### d) *Variação de Distâncias*

Neste ponto são descritos os parâmetros considerados para a realização dos testes de alcance do sinal, segundo a variação de distâncias, criando finalmente uma relação com a taxa de transferência de pacotes TCP e UDP. O cenário é um ambiente externo e a distância de separação entre o servidor *Iperf* e o cliente para a transmissão de *frames* TCP e UDP é de até 500m.

A altura determinada para esse receptor e transmissor é de 1.20m, para melhorar a linha de visão direta e possibilitar a ausência de obstáculos entre os dispositivos. Essa seria a altura máxima de elevação por parte de um aluno, utilizando um desses dispositivos em um ambiente externo.

A idéia desses experimentos é reproduzir de forma mais realista o cenário de uso real. Assim, na realização dos experimentos de variação de distâncias são considerados dois tipos de cenários: i) o cenário A que é um cenário livre de obstáculos; e ii) o cenário B que é um cenário no qual se inclui o trânsito de pessoas e de veículos.

A transmissão nos Classmate PCs é realizada com uma potência máxima de 18dBm. O receptor *Wi-Fi* desses dispositivos normalmente consegue identificar sinais de muito baixa potência, até mesmo de -92dBm. A unidade dBm é uma referência em decibéis a uma potência de 1mW. Portanto, a potência em dBm é calculada através da fórmula em (1):

$$P[\text{dBm}] = 10 \cdot \log\left(\frac{p[\text{mW}]}{1\text{mW}}\right) \quad (1)$$

A sensibilidade nos receptores é importante, pois os sinais de RF dispersam-se e atenuam-se no caminho de propagação, permitindo que a potência recebida seja sempre muito menor do que a irradiada pelo transmissor. Os modelos matemáticos utilizados para descrever a propagação de ondas eletromagnéticas (RF) são em sua totalidade derivadas das equações de Maxwell (ESKELINEN, 2004; SCHNELL, 1993). Inicialmente, é possível considerar um modelo simples dado pela fórmula de transmissão de Friis, a qual descreve de forma clara e simples a propagação de ondas no espaço livre (fórmula 2) (ULABY; MOORE; FUNG, 1981):

$$\frac{P_R}{P_T} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 G_T G_R = L_{FS} \cdot G_T \cdot G_R \quad (2)$$

Sendo:  $P_R$  e  $P_T$  são as potências recebidas e transmitidas,  $G_T$  e  $G_R$  são os ganhos das antenas do transmissor e do receptor,  $\lambda$  é o comprimento de onda e  $d$  é a distância entre o transmissor e o receptor. A variável  $L_{FS}$  representa a perda de transmissão no espaço livre (*Free Space Transmission Loss*).

Também é necessário calcular a perda na transmissão em um ambiente externo (o valor de  $L_{FS}$ ), a qual pode ser calculada através da fórmula em (3) (CARRANO; MARTINS; MAGALHÃES, 2007):

$$L_{FS} = 20 \log(d) + 40 \quad (3)$$

Um modelo possivelmente mais adequado deverá considerar a presença dos diversos obstáculos existentes no caminho entre o transmissor e o receptor, como as árvores em áreas abertas, os edifícios próximos etc. Nesses casos, o sinal de rádio sofrerá atenuação devido à absorção de energia eletromagnética (BULUSU; HEIDEMANN; ESTRIN, 2000; ULABY; MOORE; FUNG, 1981).

Os experimentos realizados limitaram-se a uma distância de 500m, a potência de saída foi de 18dBm, a sensibilidade do receptor foi de -92dBm e a altura inicialmente determinada foi de 1.20m. Após os 350m, adicionou-se uma elevação de mais 0.5m em decorrência da geografia do campo de testes. O resultado foi uma taxa de transferência que superou os 3Mbps, valor esse que é suficiente para prover ao usuário de qualquer tipo de serviço de rede.

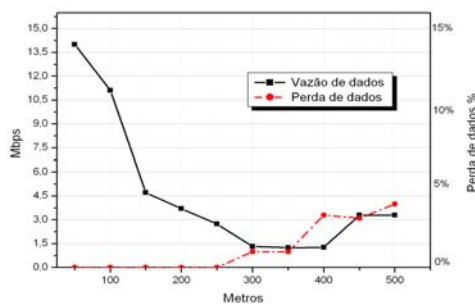
As operadoras de acesso banda larga à Internet, em geral, oferecem serviços de conexão à Internet com uma largura máxima de 4Mbps, sendo que as mesmas só garantem 10% da banda contratada. Isto é, 500kbps de taxa, considerando hipóteses

extremas. Um dos serviços testados nessa distância foi a do comunicador *Pidgin* do SO Metasys, sendo que o resultado foi imediato e eficiente. Os Classmate PCs conseguiram sincronizar-se rapidamente e o *delay* nas comunicações, como resultado a estas distâncias, foi quase imperceptível.

As medidas com o *Iperf* foram realizadas entre um servidor e um cliente *Iperf*. A transmissão dos *frames* foi efetuada em duas etapas: na primeira, utilizou-se transmissão TCP e, na segunda, utilizaram-se *frames* UDP. Para ambos os casos, fez-se também uma análise de perda de pacotes segundo a variação de distâncias.

No Gráfico 2, pode-se observar a vazão de dados TCP que atinge os 14Mbps a 50m e diminui com o aumento da distância entre o dispositivo transmissor (Cliente *Iperf*) e o receptor (Servidor *Iperf*).

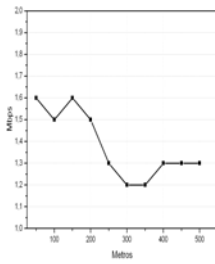
A perda de dados é demonstrada no mesmo gráfico, sendo que esta só começa a mostrar-se como significativa após os 250m, atingindo uma perda máxima igual a 4% da vazão total transmitida em distâncias de até 500m.



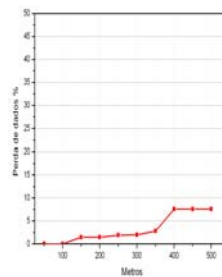
**Gráfico 2 – Vazão e Perda de dados TCP segundo a variação de distâncias – Cenário A**

No Gráfico 3a, observa-se que a vazão UDP atinge o valor máximo de 1.6Mbps e apresenta pouca variação até os 200m. Esse valor poderia ser considerado como eficiente, no entanto, após os 200m tem-se uma queda de 18,75%, isto é, uma vazão de 1.3Mbps (81,25% do valor inicial).

Já no Gráfico 3b, é possível verificar a perda de dados no mesmo cenário, segundo uma variação de distância de até 500m. Os resultados obtidos indicam uma perda igual a 0 até os 100m, uma perda inicial e linear de 1.5Mbps até os 200m e que só passa a ser significativa acima dos 350m, com uma perda de vazão que alcança os 7.6Mbps, em relação à vazão transmitida e apresentada no Gráfico 3a.



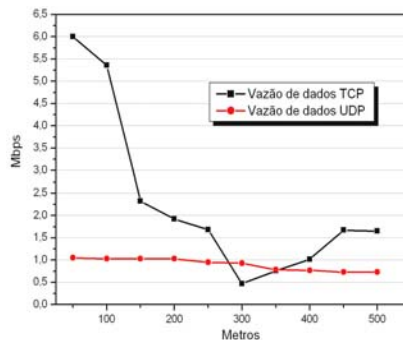
a): Vazão de dados UDP segundo a variação de distâncias – Cenário A



b): Perda de dados UDP segundo a variação de distâncias – Cenário A

**Gráfico 3 – Vazão e Perda de Dados UDP**

Os resultados dos experimentos realizados no cenário B são apresentados no Gráfico 4, o qual mostra a vazão TCP e UDP, segundo uma variação de distância de até 500m. A vazão TCP atinge um valor de até 6.0Mbps, com uma queda significativa em distâncias acima dos 100m. Já no caso da transmissão UDP, a vazão é de 1.0Mbps com uma queda de 27% até os 500m em relação ao valor inicial.



**Gráfico 4 – Vazão de dados TCP e UDP segundo a variação de distâncias – Cenário B**

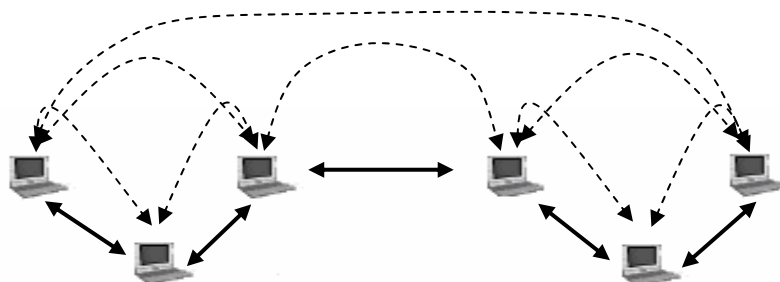
A diminuição da vazão de dados no cenário B (Gráfico 4) ocorre devido à existência de obstáculos entre os pontos de transmissão, causando uma quebra no enlace entre o dispositivo transmissor e receptor.

A falta de visibilidade provocada pelos obstáculos existentes entre os dispositivos contribuiu na atenuação do sinal inicialmente irradiado pelo transmissor, causando um impacto na vazão de dados. Segundo os experimentos realizados no cenário B, a transmissão UDP apresenta um resultado mais linear, mesmo sendo baixa.

Na realização de nossos experimentos, há ainda um terceiro cenário chamado de *multihop*, que faz uso de uma rede de maior densidade. Nesse experimento, é utilizado um número de seis Classmate PCs, a separação existente entre os dispositivos é de no máximo 10m e a vazão de dados é medida em função do número de saltos. A transmissão de *frames* é realizada de duas formas: a primeira é feita através do *Iperf*,

transmitindo um *frame* de 1400 Kbytes; e a segunda é realizada através da ferramenta SCP. Inicialmente, a transmissão via *Iperf* garantiu uma vazão inicial de 14Mbps e de 3.29Mbps a 500m.

Nesse experimento do cenário *multihop* é incrementado o número de nós em seis Classmate PC. O incremento é realizado de forma progressiva e entre o transmissor e o receptor (Figura 4).



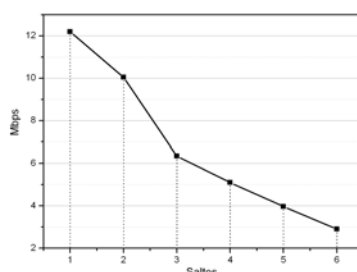
Os testes prévios são sempre utilizados como passo inicial aos experimentos finais, com o objetivo de eliminar possíveis erros tanto do software como também do hardware que estão sendo utilizados nestas avaliações.

Nesse experimento, o objetivo é determinar a largura de banda disponível para um aluno com um Classmate PC em uma rede *mesh*. Se considerarmos que a vazão inicial é de 12Mbps e que, do segundo a um terceiro laptop, essa largura de banda pode cair em 30%, será que ainda é possível existir largura de banda suficiente para aqueles alunos que estão com seus laptops a mais de três saltos?

Para responder a esta indagação, no experimento realizado foi considerado um número máximo de seis saltos, onde se obteve como resultado uma vazão inicial de 12.2Mbps com um salto e de 2.9Mbps com seis saltos (Gráfico 5).

O resultado de 2.9Mbps proporciona banda suficiente para obter e administrar qualquer serviço de rede de forma eficiente. Essa consideração leva em conta que a separação existente entre os laptops é de no máximo 10m.

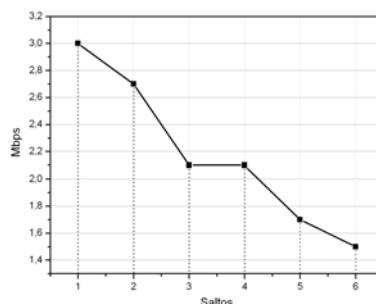
Existe a possibilidade de obter-se o mesmo resultado em uma distância de cobertura maior, se considerarmos os resultados apresentados no Gráfico 3a, onde se alcançou uma taxa de 1.3Mbps para uma distância de até 500m.



**Gráfico 5 – Vazão de dados UDP segundo o número de saltos**

O segundo e último experimento realizado no ambiente *multihop* foi a transferência de *frames* utilizando a ferramenta SCP, comum para a transferência de arquivos neste tipo de ambiente. O valor atingido foi de 3.0Mbps com um salto e uma queda de 50% em até seis saltos, com o valor de 1.5Mbps.

Os resultados podem ser observados no Gráfico 6.



**Gráfico 6 – Vazão de dados SCP segundo o número de saltos**

## 6 CONCLUSÕES

O objetivo do presente trabalho foi analisar o desempenho de uma rede *mesh* 802.11s no contexto da inclusão digital, avaliando a capacidade de comunicação em *mesh* do Classmate PC.

Os experimentos realizados iniciaram-se com a transmissão de *frames* TCP e UDP segundo a variação de distâncias e observando o seu impacto na taxa de transferência de pacotes. Os experimentos apresentaram resultados positivos com valores acima de 2Mbps a 250m (2,73Mbps) e de 1,25Mbps a 350m. E o desempenho da taxa de transferência foi de 3,29Mbps para distâncias de até 500m, com altura superior a 1.70m nos dispositivos após os 350m.

A implementação de uma rede *mesh* sobre o padrão 802.11s apresenta desafios de comunicação, seja qual for a plataforma de hardware (XO ou Classmate PC). Entretanto, os Classmate PCs apresentaram um bom comportamento como resultado de sua implementação em uma rede *mesh* sobre o padrão 802.11s, porém alguns aspectos técnicos como a instabilidade da rede *mesh* e problemas do controlador da interface *Wi-Fi* precisaram ser resolvidos.

O maior problema apresentado foi a sensibilidade da transmissão em faixas livres de 2.4GHZ, sendo essa frequência sensível a interferências, ruído, obstáculos etc. Isso é visível nos resultados experimentais do cenário B (Gráfico 4).

Embora os resultados sejam positivos para distâncias de até 500m (cenários A e B), é importante ressaltar que estes são resultados ao ar livre. Os testes de *multihop*, cenário em ambiente interno, apresentaram resultados de uma queda significativa

causados pela pouca penetração desses dispositivos através de bandas de frequência de 2.4GHz. O que limitou a distância de separação máxima dos Classmate PCs a 10m, resultando em uma vazão UDP de 2.9Mbps após seis saltos e de 1.5Mbps para SCP.

O resultado da diminuição do sinal em ambientes internos pode ser resolvido através de um hardware adicional como um repetidor ou da projeção de antenas externas nos dispositivos, embora o projeto dos Classmate PCs não a permita. Talvez seja possível considerar a utilização de antenas externas de baixo custo, estrategicamente posicionadas nas escolas, com o intuito de melhorar a cobertura e penetração dos Classmate PCs nas salas de aula. Já no caso da comunicação ao ar livre, é bastante fácil conseguir um bom sinal com pouco esforço.

## REFERÊNCIAS

ALICHERRY, M.; BHATIA, R.; LI, L.E. **Joint Channel Assignment and Routing for Throughput Optimization in Multiradio Wireless Mesh Networks**. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, nov. 2006.

BAHR, M. **Proposed Routing for IEEE 802.11s WLAN Mesh Networks**. 2006.

BULUSU, N.; HEIDEMANN, J.; ESTRIN, D. **GPS-less Low-Cost Outdoor Localization for Very Small Devices**. *IEEE Personal Communications*, p. 28-34, 2000.

CARRANO, R.; MARTINS, R. R.; MAGALHAES, LUIZ. **The RUCA Project and Digital Inclusion**. In: *5th Latin American Network Operations and Management Symposium, 2007*, Petropolis. Annals of the 5th Latin American Network Operations and Management Symposium, 2007. 12p. Disponível em: <http://www.midiacom.uff.br/~schara/publications/lanoms2007.pdf> Acesso em: Novembro do 2007.

CLASSMATE PC. **Intel Educar**. 2007. Disponível em: <http://www.intel.com/research/ClassMate.html> Acesso em: Outubro do 2007.

DRAVES, R.; PADHYE J.; ZILL, B. **Routing in Multi-radio, Multi-hop Wireless Mesh Networks**. *ACM MobiCom*, Philadelphia, PA, set. 2004. Disponível em: <http://research.microsoft.com/mesh/> Acesso em: Outubro do 2007.

ESKELINEN, P. **Introduction to RF Equipment and System Design**. Artech House, Boston, London, 2004, 263p. ISBN 1-58053-665-4.

GOOGLE. **Google Mesh Network**. 2007. Disponível em: <http://www.lirneasia.net/2006/08/google-mesh-network-is-running-in-california/> Acesso em: Setembro do 2007.

METASYS. **Sistema Operacional Metasys Classmate**. 2007. Disponível em: <http://www.metasys.com.br> Acesso em: Outubro do 2007.

NLANR/DAST. *Iperf 1.7.0 - The TCP/UDP Bandwidth Measurement Tool*. Disponível em: <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>. Acesso em novembro. 2007.

PERKINS, CHARLES E.; BELDING-HOYER, ELIZABETH M.; DAS, SAMIR R. **Ad**

**Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing.** IETF RFC 3561, jul. 2003.

REMESH. **Projeto ReMesh.** 2007. Disponível em: <http://mesh.ic.uff.br> Acesso em: Novembro de 2007.

SCHNELL, L. **Technology of Electrical Measurements.** Ed. John Willey & Sons, Inglaterra, 1993, 409p.

ULABY, F. T.; MOORE, R. K.; FUNG, A. K. **Microwave Remote Sensing: Active and Passive.** London, UK: Artech House, v.1, 1981, 456p.

WIRESHARK SNIFFER. 2007. Disponível em: <http://www.wireshark.org> Acesso em: Novembro de 2007.