

Proposta De Uma Métrica de Roteamento Para Redes *Wireless Mesh* com Tráfego Voip

Cleverton Juliano Alves Vicentini¹, Roberson Cesar Alves de Araujo¹,
Mauro Sergio Pereira Fonseca¹

¹Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada - (PPGIA),
Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)
Caixa Postal 17.315 – 80.215-901 – Curitiba – PR – Brasil

{cleverton, roberson.araujo, mauro.fonseca}@ppgia.pucpr.br

Abstract. Search for the best routes in a wireless network is not a trivial task, several studies are carried out in order to find better protocols and routing metrics that adapt to Wireless Mesh network. It is seen that most studies are aimed to find solutions for running mesh networks in any topology, however not always a metric or protocol will work correctly in different environments. This work demonstrates a new routing metric called FK (Factor-K) that aims to operate in wireless mesh networks in low mobility scenarios with VoIP traffic. Its performance was evaluated and compared with the ML (Minimum Loss) metric. These simulations indicate that metric FK provides better performance in the network model used with VoIP traffic.

Resumo. Buscar melhores rotas em uma rede sem fio não é uma tarefa trivial, diversos trabalhos realizam estudos afim de encontrar melhores protocolos e métricas de roteamento que se adequem a redes Wireless Mesh. É visto que grande parte dos estudos objetivam a busca de soluções para redes sem fio do tipo Mesh de forma que funcionem em qualquer topologia, porém nem sempre um protocolo ou métrica irá operar de forma satisfatória em diversos ambientes. O presente trabalho demonstra uma nova métrica de roteamento intitulada FK (Factor-K) que objetiva atuar em redes Mesh em cenários de baixa mobilidade com tráfego Voip. Seu desempenho foi avaliado e comparado com a métrica ML (Minimum Loss). As simulações realizadas mostram que a métrica FK propicia um melhor desempenho no modelo de rede utilizado com tráfego Voip.

1. Introdução

Devido ao constante avanço das redes do tipo *Wireless*, que fornecem acesso sem fio a computadores e dispositivos móveis através de ondas de rádio, e por sua facilidade de implantação sem a necessidade de uma estrutura de rede cabeada, esta tecnologia tende a ser cada vez mais explorada por universidades e grandes empresas. Como o objetivo de redes sem fio é prestar melhores serviços, recentemente surgiu uma tecnologia chave: as redes em malha sem fio (*Wireless Mesh Networks*) que tem como principal atrativo seu custo reduzido para cobertura de áreas relativamente grandes onde é financeiramente inviável a instalação de uma infra-estrutura de rede cabeada. Universidades tem utilizado a plataforma *Wireless Mesh* de forma a prover serviços de Internet a seus alunos e funcionários além de interligar prédios com a comunicação sem fio [ReMesh 2005] [Tsarmpopoulos et al. 2005].

Redes *Wireless Mesh* são compostas de roteadores sem fio e clientes *Mesh*, onde roteadores *Mesh* tem mínima ou nenhuma mobilidade formando o *backbone* da rede. Uma característica relevante dos roteadores *Mesh* fixos é o fato de não necessitarem realizar a gestão de energia, desta forma geralmente possuem poder de processamento maior que roteadores móveis. Características desejáveis nas redes *Mesh* são auto-organização e auto-configuração, tais características possibilitam a manutenção das conexões dos roteadores presentes na rede de forma automática, visando a inclusão de novos roteadores na rede para o aumento da área de cobertura da rede *Mesh* [Akyildiz et al. 2005]. De uma forma geral, os protocolos de roteamento utilizados em redes *Wireless Mesh* são adaptações de protocolos de roteamento para redes *ad hoc*. Porém, o fato dos protocolos de roteamento *ad hoc* serem desenvolvidos para redes onde nós são móveis, podem causar instabilidades se utilizados nas redes *Wireless Mesh*.

Métricas de roteamento é um assunto relevante nas redes *Mesh*. As métricas objetivam melhorar o desempenho da rede atuando geralmente na diminuição da taxa de perda e aumento da vazão da rede. Cada métrica de roteamento é estruturada para diferentes cenários, e é verificado que métricas de roteamento em redes sem fio de baixa mobilidade não é um tópico muito abordado no âmbito de redes *Mesh*. Este artigo propõe uma métrica de roteamento que utiliza as informações referentes a perda de pacotes de dados de um nodo, parametrizando o peso de cada enlace da rota. Seu objetivo é obter menores taxas de perda, menor atraso e maior vazão nas redes *Mesh* estacionárias com tráfego *Voip*. Seguindo este critério, rotas alternativas serão definidas com o objetivo de oferecer melhor desempenho a rede. A métrica apresentada neste documento é intitulada *Factor-K* (FK).

A motivação que leva ao estudo de uma métrica de roteamento que se adapte a redes *Wireless Mesh* com tráfego de Voz, deve-se ao crescimento e popularização da tecnologia *Voice over Internet Protocol* (VoIP). Este crescimento justifica-se pelas reduções significativas com os custos em telefonia. O cenário escolhido para os testes foi o Campus da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR), por ser um cenário viável de implantação destas tecnologias.

Este documento está organizado da seguinte forma: Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados. A seção 3 descreve a métrica *Factor-K*. A seção 4 apresenta o cenário de simulação e parâmetros utilizados na simulação, seção 5 apresenta os resultados obtidos e por fim seção 6 contém a conclusão desta pesquisa.

2. Trabalhos Relacionados

Esta seção aborda alguns trabalhos relacionados que utilizam a arquitetura das redes *Wireless Mesh*. Descreve o comportamento dos protocolos de roteamento *wireless* e aborda algumas métricas de roteamento utilizadas em redes *Mesh*.

2.1. Projetos que Utilizam a Arquitetura *Wireless Mesh*

O projeto *RoofNet* [Bicket et al. 2005] é desenvolvido pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) na cidade de Cambridge. O *RoofNet* encontra-se em uma área urbana bem povoada, localizada próxima ao MIT, onde inicialmente foram instalados 37 nodos *Mesh*, este número é incrementado a medida que mais voluntários participam do projeto.

Para o roteamento do projeto *RoofNet* foi utilizado um protocolo baseado no DSR (*Dynamic Source Routing*), nomeado de Srcr. Os protocolos diferem pelo fato do DSR utilizar a métrica do número de *hops* e o protocolo Srcr utiliza a métrica ETT (*Estimated Transmission Time*), uma variação da métrica ETX (*Estimated Transmission Count*). Sendo assim, o protocolo procura por rotas com menor valor de ETT. Os estudos do grupo MIT demonstraram que a arquitetura *Wireless Mesh Network* é viável de implantação.

O projeto *ReMesh* [ReMesh 2005] atua objetivando implantar uma rede *Mesh* de acesso comunitário em um dos *campi* da Universidade Federal Fluminense, para assim fornecer acesso banda larga para: funcionários, alunos e professores que residem nas proximidades do campus. O projeto está sendo desenvolvido pelo Departamento de Telecomunicações (DET) e o Instituto de Computação (IC) da Universidade Federal Fluminense (UFF), sendo financiado pela RNP (Rede Nacional de Ensino e Pesquisa). Foi definido para o projeto como protocolo de roteamento o OLSR (*Optimized Link State Routing Protocol*), por apresentar-se mais estável neste tipo de rede e roteadores sem fio *linksys WRT54G* equipados com software livre (*OpenWRT*) [OpenWrt 2009].

O protocolo OLSR utilizado no *ReMesh* não está em sua forma original. A equipe do *ReMesh* implementou uma modificação no cálculo das métricas, gerando um novo protocolo o ML (*Minimum Loss*). A proposta OLSR-ML define-se como a probabilidade de transmissão com sucesso entre dois nós. Os estudos da UFF demonstraram que o protocolo ML obteve melhores resultados quando comparado a métrica ETX (descrita na sessão 3).

Outro projeto relevante que utiliza a arquitetura *Mesh* é o *VMesh*. Este projeto iniciou com uma rede *Mesh* na cidade de Volos, na Grécia, atendendo interesses relacionados a pesquisa, ensino e atividades particulares do Departamento de Engenharia de Computação da Universidade de Tessaly [Tsarmpopoulos et al. 2005]. A arquitetura do projeto *VMesh* é composta por vários dispositivos estacionários e móveis. Os dispositivos estacionários são os roteadores sem fio, localizados no alto de prédios e telhados para obter uma melhor conectividade, permitindo que dispositivos clientes obtenham conexão local para possibilitar acesso ao resto da rede. O protocolo de roteamento utilizado no *VMesh* é o OLSR. O *VMesh* possibilitou um avanço nas pesquisas em redes *Mesh*, demonstrando a viabilidade de implantação deste tipo de rede. O desempenho da rede foi satisfatório levando em conta as limitações da tecnologia. O custo do conjunto *hardware* e *software* é de certa forma baixo. A transferência de dados no projeto *VMesh* é realizada pelo melhor esforço [Tsarmpopoulos et al. 2005].

2.2. Protocolos de Roteamento para Redes *Wireless*

Protocolos de roteamento para redes *Wireless* são classificados em reativos, pró-ativos e híbridos. Os protocolos de roteamento reativos realizam a descoberta da rota sob demanda, ou seja, somente quando necessitam enviar informações a rota é solicitada. Este processo é utilizado geralmente em redes de alta mobilidade, pois evita o desperdício de energia dos nodos. Os protocolos de roteamento pró-ativos realizam o processo de descoberta dos nós de forma constante, deste modo, quando ocorre a necessidade da transferência de dados a rota já é conhecida para utilização imediata. Estes tipos de protocolos podem ser adequados para redes *Mesh* de baixa mobilidade, onde não existe a limitação de energia pois os roteadores são geralmente fixos e com alimentação contínua. Os protoco-

los de roteamento híbridos fazem a concatenação dos conceitos pró-ativos e híbridos, dividindo o cenário em zonas de roteamento de forma que em determinadas zonas o princípio pró-ativo é utilizado e em outros momentos o princípio reativo é aplicado.

Mesmo não utilizando todos os recursos que as redes *Wireless Mesh* podem oferecer, como o poder de processamento e a não limitação de energia [Passos and Albuquerque 2007], alguns protocolos de roteamento desenvolvidos para redes *ad-hoc* foram implantados em redes *Wireless Mesh*. São exemplos de protocolos *ad-hoc* utilizados em redes *Wireless Mesh* os protocolos: DSR (*Dynamic Source Routing*) [Johnson et al. 2003] e AODV (*Ad Hoc On-Demand Distance Vector*) [Perkins et al. 2003].

Nas redes *wireless* o grande número de mensagens de controle disseminadas pelos nós podem vir a prejudicar a estabilidade da rede, alguns protocolos de roteamento pró-ativos objetivam diminuir esta sobrecarga de mensagens na rede. Um exemplo é o protocolo de roteamento OLSR (*Optimized Link State Routing Protocol*) [Clausen and Jacquet 2003], que utiliza a abordagem de *Multipoint Relays* (MPR). Os MPR são um conjunto de vizinhos selecionados por um determinado nó que terão a tarefa de retransmitir mensagens de controle pela rede. A utilização da abordagem MPR evita a inundação de *broadcasts*, auxiliando na estabilidade da rede.

2.3. Métricas de Roteamento

Redes *Ad Hoc* normalmente utilizam a quantidade de saltos como métrica de roteamento. Tal métrica é adequada a redes *Ad Hoc* pelo fato que novas rotas de uma rede devem ser encontradas de forma rápida [Campista et al. 2008]. As redes *Wireless Mesh*, por possuírem uma topologia onde os nós formadores do *backbone* são geralmente fixos, uma rota com menor número de saltos pode não ser a melhor escolha. Desta forma, foram desenvolvidos algumas métricas de roteamento diferentes da métrica de quantidade de saltos, que podem ser integradas aos protocolos de roteamento utilizados nas *Wireless Mesh Networks*.

A primeira métrica proposta para as *Wireless Mesh Networks* (WMN) é a *Expected Transmission Count* (ETX) [Campista et al. 2008]. A métrica ETX mede de forma continua a taxa de perda de ambos os sentidos entre cada nó e seus respectivos vizinhos, monitorando as taxas de perda dos enlaces através de troca de mensagens periódicas, assim como em enlaces alternativos para garantir o uso da melhor rota. Esta métrica calcula o peso da rota através da soma dos ETX's de cada enlace, que será utilizado pelo protocolo de roteamento para o cálculo da melhor rota.

A métrica *Expected Transmission Time* (ETT) [Bicket et al. 2005], foi desenvolvida como uma extensão da métrica ETX. A ETT considera a taxa de transmissão utilizada para realizar com precisão a qualidade dos enlaces. Seu objetivo é estimar o valor do atraso do canal, realizando a concatenação do ETX do enlace com a taxa de transmissão do nó. Duas métricas alternativas a métrica ETX são: ML (*Minimum Loss*) [Passos and Albuquerque 2007] e AP (*Alternative Path*) [Mascarenhas et al. 2008]. A métrica ML objetiva a busca de caminhos com menores probabilidades de perda de pacotes mesmo que necessite utilizar um número maior de saltos que a métrica ETX. Já a métrica AP considera a quantidade de vizinhos de cada rota visando escolher a rota que contenha o menor número de nós vizinhos pois, segundo Mascarenhas

[Mascarenhas et al. 2008], quanto maior a quantidade de vizinhos maior a interferência da rota.

Ambas as métricas ML e AP demonstraram um melhor desempenho e menores taxas de perda de pacotes quando comparadas a métrica ETX. É interessante destacar que a maioria das métricas de roteamento utilizam a métrica ETX ou pequenas variações da mesma para cálculo das tabelas de roteamento [Passos and Albuquerque 2007]. Seguindo este mesmo paradigma, a métrica FK descrita na seção 3 será uma variação da métrica ETX.

Os estudos descritos nesta seção demonstraram que as redes *Wireless Mesh* são viáveis de implantação, e estão em processo de crescimento, sendo assim possibilitando a pesquisa de novas tecnologias na área. Os projetos *RoofNet* e *ReMesh* fizeram a utilização do OLSR com adição de métricas de roteamento em seus projetos. Ambos os projetos verificaram que o OLSR em sua forma original pode não ser a melhor escolha para redes *Mesh*, pelo fato de que em sua forma original o OLSR escolher rotas com menores saltos. Já o projeto *VMesh* optou pelo OLSR em sua forma original, desta forma podendo comprometer o desempenho da rede.

3. Extensão Proposta para a Métrica ETX

A métrica ETX utiliza para o cálculo da qualidade do enlace o inverso do resultado gerado pelo produto do *Link Direto* (*forward delivery ratio(df)*) pelo *Link Reverso* (*reverse delivery ratio(dr)*), onde o *Link Direto* é responsável pelo envio dos pacotes *hello* e o *Link Reverso* é responsável pelos reconhecimentos positivos (ACKs) [Albuquerque et al. 2006]. Assim o ETX de um enlace $a \rightarrow b$ é definido como o inverso da probabilidade de transmissão com sucesso de um pacote através deste enlace como ilustra a equação 1.

$$ETX_{ab} = \frac{1}{P_{ab}} \quad (1)$$

Para o cálculo de uma rota com múltiplos saltos com utilização da métrica ETX, o valor de ETX total da rota é obtido através da soma do valor de ETX de cada salto. Por exemplo: em uma rota $a \rightarrow c$, será feita a soma do ETX do enlace $a \rightarrow b$ com ETX do enlace $b \rightarrow c$, como citado em [Passos and Albuquerque 2007], o ETX de uma rota $a \rightarrow n$ é definida por:

$$ETX_n = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{P_{a_i a_{i+1}}} \quad (2)$$

Onde $P_{a_i a_{i+1}}$ ilustra a probabilidade de transmissão com sucesso de um pacote entre os nós $a_i a_{i+1}$.

Para criação da métrica *Factor-K* (FK) foi realizada a alteração do cálculo original da métrica ETX. Os estudos demonstram que a métrica ETX considera apenas os pacotes de *hello* para o cálculo da métrica. O diferencial da métrica proposta neste artigo é além de considerar os pacotes *hello*, a métrica FK considera também os pacotes de dados reais dos nós *Mesh*. Desta maneira a nova métrica atribui ao *Link Direto* (df) da métrica ETX, o valor dos pacotes de dados perdidos do nó correspondente, para desta forma setar os

pesos para cada enlace da rota, detectando assim enlaces com altas taxas de perdas de pacotes. A expressão 3 LP (*Lost Packets*) é responsável por extrair os valores dos pacotes de dados perdidos pelos nós *Mesh*.

$$LP = ((totalpkts - lostpkts)/totalpkts) \quad (3)$$

Onde *totalpkts* corresponde ao total de pacotes enviados e *lostpkts* corresponde aos pacotes perdidos pelo nodo correspondente. Ao atribuir o LP ao *Link Direto* de ETX obtém-se a nova métrica *Factor-K* como ilustra a expressão 4.

$$FK_{ab} = \frac{1}{P_{((a+lp)b)}} \quad (4)$$

Para o cálculo de uma rota com múltiplos saltos a métrica *Factor-K* realiza o somatório dos valores de FK de cada enlace afim de obter o custo total de cada rota. A equação 5 denota este cálculo.

$$FK_n = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{P_{((a_i+lp)a_{i+1})}} \quad (5)$$

A métrica FK terá seu melhor desempenho em redes com alto tráfego de dados como pode ser visto na seção 4, pois quando o enlace apresentar altas taxas de perda de pacotes a métrica irá retornar um peso maior para o atual enlace, forçando o protocolo de roteamento a escolha de uma rota alternativa.

4. Cenário de Simulação

O cenário utilizado para as simulações foi o campus da PUC-PR (Figura 1), que é composto por vários blocos e áreas de estacionamento entre os blocos. Com o objetivo de avaliar o comportamento da métrica FK, as simulações foram executadas no *Network Simulator 2* [NS2 2010], utilizando-se extensões para o OLSR e a métrica ML desenvolvidas para o NS-2 [Cordeiro et al. 2007].

Foram realizadas 10 simulações com diferentes sementes, o tráfego foi gerado através de transmissões *Voip* (UDP) e FTP (TCP). As simulações são compostas por 12 fluxos *Voip*, que representam 6 chamadas *Voip*, juntamente com tráfego de *background* FTP. O número de 6 chamadas *Voip* justifica-se por ser um limiar entre 4 e 9 chamadas [Aguiar et al. 2007].

O protocolo de roteamento utilizado nas simulações foi o OLSR, amplamente utilizado em redes *Mesh*. Para comparar os resultados da métrica *Factor-K* apresentada neste documento, foi utilizada a métrica *Minimum Loss* [Passos and Albuquerque 2007] no mesmo cenário de simulação. Esta escolha se dá pelo fato da métrica ML ser amplamente utilizada nas WMN [ReMesh 2005] e com resultados superiores a métrica ETX.

A Figura 1 ilustra o campus da PUC-PR com os roteadores *Mesh* sendo representados pelos círculos amarelos, as linhas contínuas indicam as chamadas *Voip* e as linhas tracejadas indicam o tráfego de *background*. Os blocos foram numerados de 1 a 10,

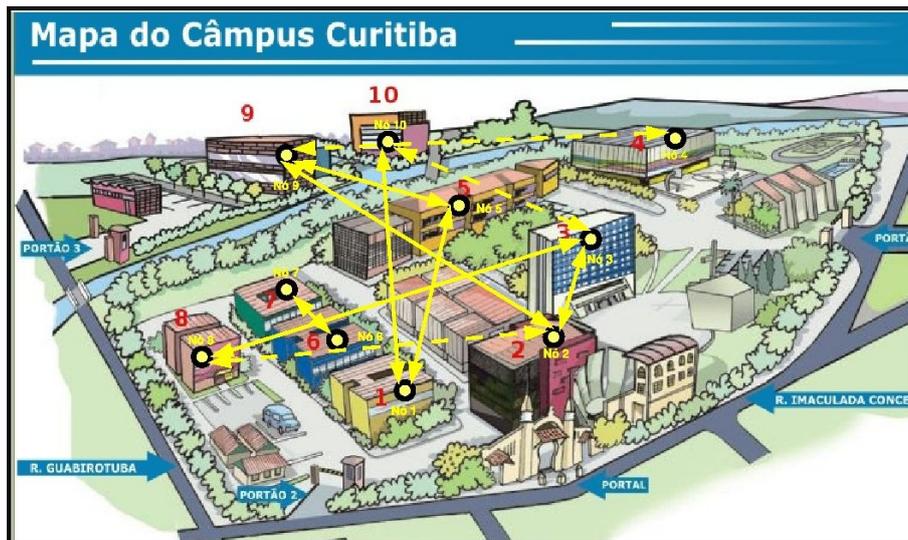


Figura 1. Campus PUC-PR Adaptado de [PUC-PR 2010]

ficando: 1-CTHC, 2-Biblioteca Central, 3-Administração Central, 4-Quadras Poliesportivas, 5-Bloco Acadêmico, 6-CCET, 7-CCBS, 8-CCJS, 9-Parque Tecnológico e 10-PPGIA. A tabela 1 descreve as localizações dos nós pelo cenário de simulação conforme figura 1.

Tabela 1. Parâmetros de Simulação

Posição dos nodos em metros					
Identificação do Nó	Eixo X	Eixo Y	Identificação do Nó	Eixo X	Eixo Y
1. CTHC	160,00	485,00	6. CCET	628,00	320,00
2. Biblioteca Central	305,00	277,00	7. CCBS	570,00	440,00
3. Administração Central	340,00	226,00	8. CCJS	780,00	480,00
4. Quadras Poliesportivas	270,00	32,00	9. Parque Tecnológico	918,00	597,00
5. Bloco Acadêmico	476,00	200,00	10. PPGIA	968,00	550,00

As chamadas *Voip* são compostas por dois fluxos, pois a aplicação tem fluxo bidirecional e os fluxos de ida e volta não trafegam pelos mesmos pontos. O tráfego de *background* (FTP) foi gerado através do Modelo de Pareto [NS2 2010], para caracterizar tráfego em rajadas, com valores *default*. O *codec* utilizado para as simulações foi o G.729, pois seu consumo de banda é de 8 Kbps, desta forma é o mais utilizado nas redes sem fio [Cordeiro et al. 2007]. A tabela 2 demonstra os parâmetros da simulação.

Tabela 2. Parâmetros de Simulação

Parâmetros	Valores
Protocolo de Roteamento	OLSR
Métricas	Factor-K e Minimum Loss
Tempo de Simulação	50 Segundos
Padrão Utilizado	IEEE 802.11b
Modelo de Propagação	Shadowing
Modelo das Antenas	Omnidirecional, 18dB de ganho
Path Loss Exponent	2,7
Shadowing deviation	4.0dB
Área de Simulação	1000m x 1000m
Nº Nós Mesh	10

O intervalo de confiança para análise dos resultados foi de 95% calculado conforme [Jain 1991]. Os valores escolhidos para avaliação dos resultados foram: *jitter*, atraso, vazão e probabilidade de bloqueio.

5. Resultados Obtidos

A figura 2 ilustra os resultados de atraso para os 12 fluxos *Voip* (2 fluxos por chamada) obtidos nas simulações. A métrica *Factor-K* demonstra melhor desempenho a partir do momento em que ocorre o aumento de tráfego na rede, diminuindo consideravelmente o atraso. Pode-se observar que na primeira chamada *Voip* a métrica FK demonstra uma alta taxa de atraso, isso justifica-se pelo fato da chamada ser iniciada entre pontos muito distantes na rede.

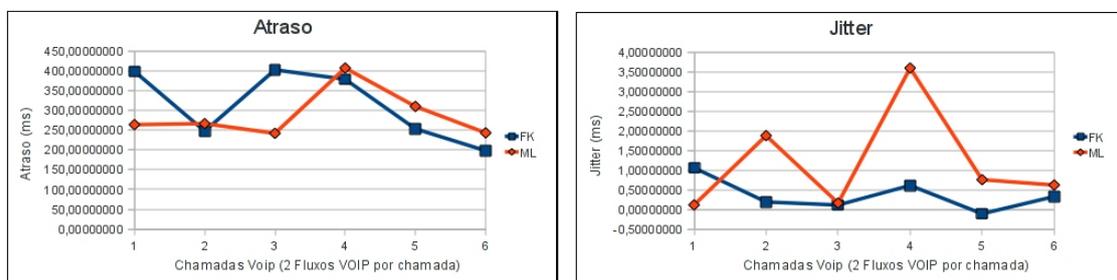


Figura 2. Atraso e Jitter

Os resultados para *jitter* também ilustrados na figura 2, demonstram o melhor comportamento da métrica FK, consequência dos menores atrasos obtidos com esta métrica. Tanto o atraso quanto o *jitter* diferem para fluxos da mesma chamada, isto ocorre pelo fato dos fluxos tomarem rotas diferentes, devido à interferências dos outros nós.

A figura 3 apresenta os resultados de vazão. Observou-se que a métrica FK obteve melhor comportamento perante a métrica ML. A distância entre os nós influencia na vazão dos dados, pois quanto menor a distância maior é a vazão. Com relação a probabilidade de bloqueio a métrica FK novamente teve menores resultados em relação a ML, não excedendo os 0,28. A métrica ML teve probabilidade máxima de 0,49.

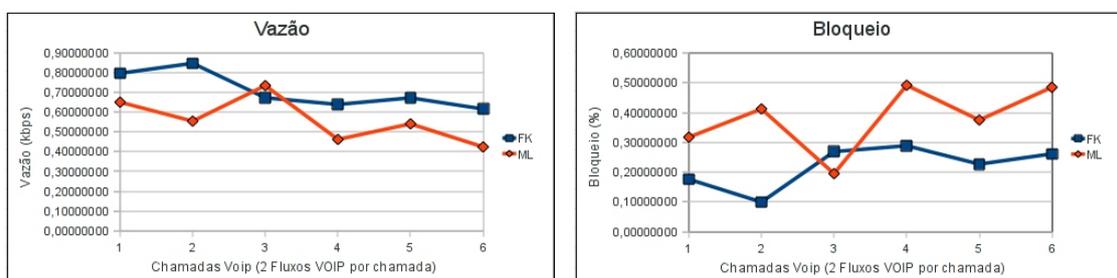


Figura 3. Vazão e Bloqueio

Através da análise dos gráficos apresentados nas figuras 2 e 3, conclui-se que o comportamento da métrica FK obteve melhores resultados que a métrica ML. Estes resultados mostram que o fato da métrica FK considerar os pacotes de *hello* juntamente

com os pacotes de dados perdidos pelos nodos nos enlaces da rede, melhora o desempenho de redes *Mesh* com alto tráfego de dados *Voip*.

6. Conclusão do Artigo

Com o crescimento das redes sem fio do tipo *Mesh*, a necessidade de novas tecnologias para estes tipo de rede torna-se necessário. O tema redes *Mesh* está sendo amplamente estudado devido à complexidade do tema. Desta maneira as redes sem fio do tipo *Mesh* podem desenvolver um maior potencial com relação a serviços oferecidos e desempenho.

Neste artigo, o objetivo foi discutir as métricas de roteamento que constituem uma das diversas áreas de pesquisa sobre este tipo de rede. A importância das métricas de roteamento são fundamentais em redes *Mesh* e *Ad-Hoc*, pois, os enlaces e rotas necessitam estar em processo constante de avaliação, porém, interferindo o mínimo possível no desempenho da rede. Quando a rede *Mesh* dispõem de tráfego *Voip* juntamente com tráfego TCP, o tema métricas de roteamento torna-se ainda mais desafiador.

Este trabalho apresentou uma nova métrica de roteamento denominada FK, que aprimora o cálculo de rotas nas redes *Mesh* com tráfego *Voip*. A métrica FK utiliza como base o cálculo de probabilidades de transmissões feito pela métrica ETX juntamente com os pacotes de dados reais para cálculo das rotas, desta forma quando o enlace estiver com altos índices de tráfego de pacotes a métrica FK irá retornar ao protocolo de roteamento um peso maior para esta rota, forçando a busca de rotas alternativas.

As simulações demonstraram que a métrica FK obteve melhores resultados perante a métrica ML com relação a *jitter*, perda de pacotes, atraso e vazão no cenário utilizado. Este desempenho se deve ao fato da métrica FK utilizar além do cálculo de probabilidades de transmissões, os pacotes de dados perdidos pelo nodo, de forma a detectar o instante em que um enlace se encontra com altas taxas de perda de pacotes, forçando a busca de rotas com menor tráfego.

Na sequência das pesquisas poderão ser utilizados outros pacotes de dados como taxa de erro e fila para o cálculo da métrica FK. Outra possibilidade seria testar o comportamento da métrica FK em redes com maiores números de nós e tráfegos mais intensos.

Referências

- Aguiar, E., Bittencourt, P., Moreira, W., and Abelém, A. (2007). Estudo comparativo de protocolos de roteamento para redes mesh na região amazônica. *XXV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos - SBRC - Sessão de Artigos Curtos II*.
- Akyildiz, I., Wang, X., and Wang, W. (2005). Wireless Mesh Networks: a survey. In *Computer Networks and ISDN Systems*, pages 445–487.
- Albuquerque, C. V. N., Saade, D. C. M., Passos, D. G., Teixeira, D. V., Leite, J., Neves, L. E., and Magalhães, L. C. S. (2006). Gt-Mesh - Rede Mesh de Acesso Universitário Faixa Larga Sem Fio - Relatório Técnico 3. (RT-3 1-118).
- Bicket, J., Aguayo, D., Biswas, S., and Morris, R. (2005). Architecture and evaluation of an unplanned 802.11 b mesh network. In *Proceedings of the 11th annual international conference on Mobile computing and networking*, pages 31–42. ACM New York, NY, USA.

- Campista, M., Esposito, P., Moraes, I., Costa, L., Duarte, O., Passos, D., de Albuquerque, C., Saade, D., and Rubinstein, M. (2008). Routing metrics and protocols for wireless mesh networks. *IEEE network*, 22(1):6.
- Clausen, T. and Jacquet, P. (2003). RFC3626: Optimized Link State Routing Protocol (OLSR). *RFC Editor United States*.
- Cordeiro, W., Aguiar, E., Abélem, A., and Stanton, M. (2007). Providing Quality of Service for Mesh Networks Using Link Delay Measurements. *Proceedings of 16th International Conference on Computer Communications and Networks*, p.991-996.
- Jain, R. (1991). *The art of computer systems performance analysis: techniques for experimental design, measurement, simulation, and modeling*. Wiley New York.
- Johnson, D., Maltz, D., Hu, Y., and Jetcheva, J. (2003). The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR). *IETF Mobile Ad Hoc Networks Working Group, Internet Draft, work in progress*, 15.
- Mascarenhas, D., Rubinstein, M., and Sztajnberg, A. (2008). Uma nova métrica para protocolos de roteamento em redes em malha sem fio. *XXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBrT*.
- NS2 (2010). Network Simulator-NS2, Home Page, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- OpenWrt (2009). OpenWrt - Wireless Freedom . Disponível em: <http://openwrt.org>.
- Passos, D. and Albuquerque, C. (2007). Proposta, Implementação e Análise de uma Métrica de Roteamento Multiplicativa para Redes em Malha Sem Fio. *Anais do XXVII Congresso da SBC*, pages 1935–1944.
- Perkins, C., Belding-Royer, E., and Das, S. (2003). IETF RFC 3561, Ad hoc ondemand distance vector (AODV) routing [S].
- PUC-PR (2010). Mapa Campus PUC-PR, Home Page, <http://www.vestibular.pucpr.br/pseletivo/unificado2008/mapa.html>.
- ReMesh (2005). Universidade Federal de Fluminense. 2005. Disponível em: <http://mesh.ic.uff.br>.
- Tsarmopoulos, N., Kalavros, I., and Lalis, S. (2005). A low-cost and simple-to-deploy peer-to-peer wireless network based on open source linux routers. In *Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities, 2005. Tridentcom 2005. First International Conference on*, pages 92–97.