

# Avaliação da Qualidade de uma Comunicação VoIP em uma rede WLAN real com diferentes Modelos de Desvanecimento

Gabriel Fernando Pivaro, Demóstenes Rodríguez, Eduardo Alfaia e Graça Bressan

**Resumo**—Este trabalho apresenta um completo estudo sobre a variação da qualidade de uma comunicação de voz em uma rede WLAN devido às diversas degradações na interface aérea, avaliando como um determinado modelo de desvanecimento (*Fading*) afeta a qualidade de uma comunicação VoIP.

Na realização dos testes foi empregada uma rede WLAN (IEEE 802.11g) real totalmente controlada e isolada, onde um emulador de canal de radiofrequência (RF) que tem programado diferentes modelos de desvanecimento (*fading*), é conectado entre dois terminais VoIP que percorrem uma comunicação de voz. A qualidade da comunicação de voz, que é avaliada objetivamente, varia para cada modelo de fading empregado. Durante a realização dos testes foram medidos simultaneamente os parâmetros da rede IP e parâmetros RF. Na avaliação de qualidade da comunicação de voz é utilizada a ferramenta ITU-T P.862.1, a qual atribui um índice *MOS* a cada um dos testes realizados. Também são testados os codificadores de Voz G.711 e G.729, podendo-se avaliar o desempenho de cada um deles nos diferentes cenários implementados. Os resultados demonstram como os diferentes modelos de fading afetam a qualidade da comunicação e a relação existente com os parâmetros da rede IP, em especial o *jitter*.

**Palavras-Chave**—WLAN, VoIP, MOS, modelo de canal, desvanecimento, codificador.

## I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o número de usuários de comunicações sem fio vem crescendo em grande quantidade devido aos benefícios desta tecnologia, como por exemplo, a mobilidade dos usuários. Entretanto a qualidade de alguns tipos de serviços oferecidos em uma rede WLAN, especialmente os que são em tempo real, podem sofrer degradações que afetam a qualidade do serviço e, conseqüentemente o grau de satisfação do usuário final. Existem diversos estudos [1,2,3] onde são avaliados a qualidade de uma comunicação de voz sobre uma rede IP, sendo o foco principal da grande maioria destes estudos os parâmetros da rede, como probabilidade de perda de pacotes (*packet loss*), atraso ponto a ponto (*delay*), variação de atraso (*jitter*). Em uma rede cabeada, estes parâmetros de rede podem mostrar de uma forma confiável, o estado da rede e conseqüentemente da qualidade dos serviços que poderiam ser oferecidos. É importante destacar que também existem diversos estudos sobre mecanismos para melhorar uma

comunicação de voz baseados nos parâmetros da rede IP [4, 5].

A rede empregada neste estudo é uma rede WLAN baseada no padrão IEEE 802.11g [6]. Este tipo de rede é muito utilizada devido às suas características, como alta taxa transmissão de dados (54 Mbps), imunidade à interferência inter-simbólica (ISI) e interferência entre portadoras. O IEEE 802.11g utiliza a modulação OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*), e opera na banda ISM (*Industrial, Científica, Médica*) de 2.4 GHz, podendo atingir um raio de cobertura de até 100 metros. Por operar em uma banda não-licenciada apresenta maior probabilidade de sofrer degradações devido à concorrência de sinais que compartilham a mesma banda.

A métrica mais utilizada para mensurar a qualidade de uma comunicação de voz é o índice *MOS* (*Mean Opinion Score*) definido na recomendação ITU-T P.800 [7], onde a comunicação com a mais alta qualidade recebe uma pontuação de 5, e a de mais baixa qualidade recebe uma pontuação de 1. Neste trabalho o valor deste índice será estimado utilizando os métodos objetivos de avaliação descritos em ITU-T P.862 [8] e P.862.1 [9], pois este método conta com uma maior aceitação, sendo citado em diversos trabalhos. Porém, podem existir algumas limitações no emprego deste algoritmo como as que são descritas em [10, 11].

Em [12, 13, 14] é avaliado como os modelos de canal rádio afetam a qualidade do sinal transmitido, mas estes estudos foram realizados empregando simuladores e não em cenários reais, além de utilizar um reduzido número de modelos de canal. Em [15] um estudo de avaliação da qualidade do sinal de voz foi realizado utilizando o codificador AMR em uma rede celular real. No presente artigo serão avaliados os codificadores G.711 [16] e G.729 [17].

O objetivo principal deste trabalho é apresentar como uma comunicação VoIP em uma rede WLAN (*VoWLAN*) é afetada pelos diferentes modelos de canal, ou seja, tipos de fading e como estes fatores de degradação influenciam diretamente na qualidade da voz transmitida. Para isto, será apresentado um estudo experimental onde o canal de RF é emulado com alguns dos diferentes modelos de fading existentes na literatura durante uma comunicação VoIP em uma rede IEEE 802.11g. Além do índice *MOS*, são avaliados os seguintes parâmetros: perda de pacotes *RTP* (*Real Time Protocol*), atraso fixo ponto-a-ponto, *jitter*, codificador de voz e a taxa de transmissão empregada.

Este artigo está dividido em: Seção 2, onde é feito um

Gabriel Pivaro, Eduardo Alfaia. Instituto Nokia de Tecnologia, Manaus, Brasil, E-mail: gfp.1@hotmail.com, ext-eduardo.alfaia@nokia.com e Demóstenes Rodríguez, Graça Bressan, Laboratório de Redes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, E-mails: demostenes@larc.usp.br, e gbressan@larc.usp.br. Este trabalho recebeu apoio do Instituto Nokia de Tecnologia.

resumo dos métodos para estimar a qualidade de voz; Seção 3, introdução aos modelos de canal utilizados neste artigo; Seção 4 que apresenta o cenário onde são realizados os testes indicando, os elementos que compõem o sistema, a metodologia seguida e os parâmetros avaliados; Seção 5, onde são apresentados e discutidos os resultados obtidos, e por fim, na Seção 6 estão as conclusões e as sugestões de trabalhos futuros.

## II. ESTIMADORES DA QUALIDADE DE VOZ

Os estimadores de qualidade de voz têm como objetivo atribuir uma pontuação a uma determinada comunicação, estes resultados são utilizados para realizar melhorias nas redes de transmissão e também nos equipamentos envolvidos neste processo.

### A. Classificação dos estimadores de qualidade de voz

De forma geral os estimadores de qualidade de voz podem ser classificados em:

- Métodos não Intrusivos: Neste tipo de método não é necessário uma amostra do início da comunicação, e a avaliação é determinada pelo tipo do sinal no ponto que é analisado. Por sua vez, este método pode ser: Objetivo, caso se utilize uma ferramenta para a análise e cálculo da pontuação da qualidade, tais como as recomendações ITU-T G.107 (*E-Model*) e ITU-T P.563; Subjetivo, caso um ouvinte intervenha diretamente na pontuação dos resultados sobre a qualidade, como exemplo, a recomendação ITU-T P.800.
- Métodos Intrusivos: este método necessita de uma amostra de fala no ponto do início da comunicação, para fazer a comparação com a amostra do ponto destino, mostrando o resultado de avaliação de qualidade. Um exemplo deste tipo de método é a recomendação ITU-T P.862.

### B. Recomendação ITU-T P.862

O PESQ compara um sinal de voz original com um sinal de voz degradado, resultante da passagem do sinal através de um sistema de comunicação que pode estar sujeito a diferentes fatores de degradação. A saída PESQ é uma predição da percepção de qualidade que seria obtida por um indivíduo num teste subjetivo de escuta. Em uma primeira etapa, uma série de atrasos entre os sinais originais e degradados são computados, um para cada intervalo de tempo onde os atrasos são significativamente diferentes entre os dois sinais. Para cada intervalo, são calculados os pontos de início e fim. O algoritmo de alinhamento tem condições de tratar alterações de atraso tanto nos períodos de silêncio como nos de fala.

## III. MODELOS DE CANAL E DESVANECIMENTO

Em uma comunicação WLAN, assim como em outros sistemas de comunicação sem fio, existem três elementos principais: Transmissor (Tx), Receptor (Rx) e canal de rádio. Este último devido as suas características intrínsecas introduz distúrbios na comunicação sem fio. Alguns destes distúrbios

são: atenuação, interferência, multipercursos, e fading entre outros. Em uma comunicação WLAN, o sinal enviado do Tx para o Rx encontra diversos obstáculos físicos e é refletido em muitas direções. Estes vários sinais chegam ao RX com diferentes atrasos e fases, originando um sinal composto que depende da frequência e da localização deste Rx. Esta situação se altera muito rapidamente quando o Rx está em movimento ou então as superfícies de reflexão se movem. Este fenômeno é chamado de Propagação de Multipercurso [18]. A fim de simular o que ocorre no canal de rádio e testar o comportamento de sistemas e equipamentos de rádio, os modelos de canal foram criados. As principais características de um modelo são: distribuição estatística da amplitude, o espectro Doppler, a quantidade de multipercursos, a fase, e o atraso de cada multipercurso. Este conjunto de características somado a velocidade de deslocamento do Tx/Rx determina o fading que o sinal de RF sofre.

Diversos modelos de canal foram definidos para emular os mais variados tipos de ambientes, tais como, urbanos, suburbanos, rurais. Exemplos destes modelos são: urbano típico (TUx), rural (RAX), veicular (VHx), onde a variável  $x$  indica a velocidade de deslocamento do Tx/Rx. Neste trabalho diversos modelos foram testados com diferentes velocidades e somente aqueles que apresentaram maior impacto na qualidade da comunicação nos cenários estudados serão mostrados.

## IV. CENÁRIO EXPERIMENTAL

Para a realização dos testes foi implementado um cenário real de comunicação VoIP sobre uma rede WLAN, utilizando um emulador de canal de rádio. A seguir são descritas as ferramentas que são empregadas:

### A. Emulador de canal de radio

O equipamento utilizado para emular o canal de RF é o EB Propsim C8 da empresa Elektrobit [19]. Este equipamento suporta múltiplos canais independentemente da tecnologia sem fio empregada, suportando sistemas com frequências portadoras entre 350 MHz e 6 GHz e com largura de canal de até 70 MHz. Este equipamento está configurado de tal forma a emular os diferentes modelos de propagação que afetam a qualidade das comunicações voz em redes sem fio. Com a finalidade de esclarecer a arquitetura do sistema, a Figura 1 apresenta um diagrama de blocos deste equipamento. O funcionamento básico do equipamento é o seguinte: o sinal RF de entrada é convertido em um sinal analógico banda base (*ABB*), este sinal é filtrado e convertido em sinal digital (conversor *A/D*). Os modelos de fading são estruturados em banda base digital (*DBB*) utilizando-se conceitos de processamento digital de sinais. Depois que o fading é introduzido, o sinal é convertido em analógico (*D/A*) e transladado para a frequência RF original.

Os modelos de fading que foram empregados nos diversos cenários de teste são: Constant 50 km/h, Classical 50 km/h, IndoorOffice 3 km/h, Extended Pedestrian A 3 km/h (EPA3), Pedestrian A 3 km/h (PA3), Pedestrian B 3 km/h (PB3), Typical Urban Area 3 km/h (TU3), Typical Urban Area 50 km/h (TU50), Typical Urban Area 120 km/h (TU120), Vehicular Test 30 km/h (VH30) [23].

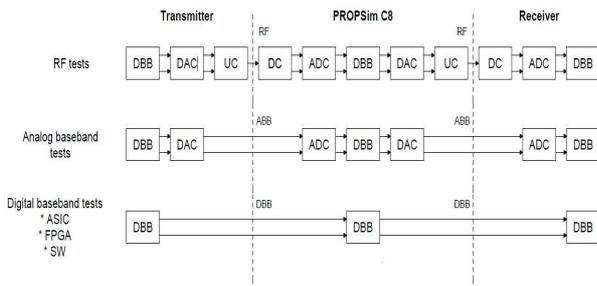


Fig. 1. Arquitetura do Emulador de Canal RF.

**B. Analisador de qualidade de Voz**

O software empregado nos cenários de teste foi o *Voice Quality Tester (VQT)* desenvolvido pela Agilent Technology [20], esta ferramenta permite obter as seguintes medidas: atraso ponto-a-ponto, perda da potência do sinal, avaliação de detecção de atividade de voz, qualidade de uma comunicação de voz. Para esta última medida são empregados os algoritmos ITU-T P.862 e ITU-T P.862.1, dando como resultado os valores de índice *MOS* e índice *MOS-LQO* respectivamente. É importante destacar que, antes da realização dos testes empregando esta ferramenta, se comprovou os resultados rodando os códigos fontes destas recomendações, obtendo-se os mesmos valores *MOS*.

**C. Roteador e Placa WLAN**

Foi utilizado um roteador Lynkys (Cisco System) modelo WRT54GL que segue o padrão IEEE 802.11g operando na frequência de 2.4 GHz. Este equipamento permite configurar diversos parâmetros de acesso, tais como a taxa de transmissão da interface aérea (em Mbps) e a potência de transmissão do sinal de RF. A placa WLAN USB externa utilizada nos testes é do fabricante Greatek (WU-1054G) e opera no padrão IEEE 802.11g em 2.4 GHz com taxa de transmissão variável de 1 a 54 Mbps.

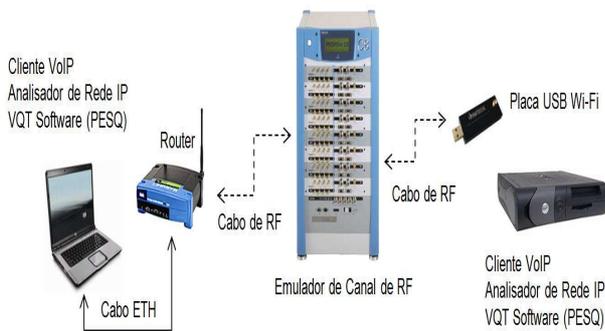


Fig. 2. Cenário de testes para avaliação de qualidade do sinal.

**D. Analisador de Rede Wireshark**

O Wireshark 1.4.3 System [21] é um software freeware que suporta uma grande quantidade de protocolos, entre suas

características destacam-se:

- Os dados que trafegam na rede podem ser observados em tempo real ou podem ser capturados em arquivos para sua posterior análise;
- Possui opções de diversos filtros de informação, como por exemplo, de endereços IP. Devido à grande quantidade de informação de análise, facilita o monitoramento de determinadas mensagens.
- Suporta os principais protocolos de rede como: Ethernet, PPP, IEEE 802.11 e Token-Ring.
- Possui avançadas opções para aplicações de telefonia e principalmente para VoIP onde é possível a partir dos arquivos salvos, reproduzir a voz, determinar o *jitter* e o número de pacotes RTP perdidos durante uma chamada.

**E. Equipamentos adicionais**

Na montagem do cenário de testes foram utilizados os seguintes elementos:

- Caixa blindada, conhecida como *shieldbox*, onde foi colocado o roteador para evitar que os sinais de RF proveniente de equipamentos de comunicações wireless presentes nas proximidades do ambiente de teste interfiram e degradem a comunicação entre os elementos envolvidos no cenário de emulação. A *Shield Box* utilizada é do fabricante Ramsey (STE3000) que possui isolamento de 90 dB.
- A separação do sinal de Uplink e de Downlink foi feita com a utilização de um circulador da marca Quest, modelo SM2327C01, que opera na faixa de 2.3 a 2.7 GHz com isolamento entre portas de 20 dB.
- Para interligação do emulador de canal foram utilizados cabos RG-59 com impedância de 75 ohms e com conectores BNC (*Bayonet Neill-Concelman*).

A Figura 2 apresenta o cenário de teste para a avaliação da qualidade do sinal de voz transmitido e dos parâmetros de rede.

**V. RESULTADOS**

Nesta seção serão apresentadas as considerações para a realização dos testes e os resultados obtidos para os diferentes cenários testados.

A Tabela I apresenta os valores dos índices *MOS* obtidos em cenários de teste, onde a taxa de transmissão foi configurada para 54 Mbps, 24 Mbps e 1 Mbps, sendo realizados 10 testes para cada cenário.

TABELA I  
ÍNDICE MOS-LQO VS. TAXA DE TRANSMISSÃO.

Taxa de Tx.	MOS (médio)	MOS (mínimo)	MOS (máximo)	Standard Deviation
54 Mbps	4.46	4.46	4.47	0.00
24 Mbps	4.46	4.46	4.47	0.00
1 Mbps	4.31	3.25	4.47	0.38

Estes resultados foram obtidos em condições ideais, ou seja, sem aplicação de sinais interferentes, nem de degradações

forçadas na rede IP. Como era de se esperar, para taxas mais altas de transmissão a qualidade da comunicação é melhor e mais estável.

O SNR (*Signal Noise Ratio*) é definido como a relação entre a potência do sinal recebido em Watt e a potência do sinal do ruído em Watt, segundo a equação (1).

$$SNR_{dB} = 10Log_{10}(S/N) \tag{1}$$

Onde: *S* representa a potência do sinal recebido em dBm e *N* representa a potência do ruído em dBm.

Segundo [22], uma faixa ótima de SNR é de 34 a 90 dB para aplicações em tempo real como comunicações VoIP e videoconferência.

Ao inserir alguns modelos de fading ao cenário de teste e também fixando uma taxa de transmissão de 54 Mbps e de 24 Mbps, não foi possível completar uma chamada de VoIP, pois se obteve, por exemplo, para o caso do modelo de fading TU50, um SNR de 19 dB, onde a potência do sinal recebido foi de -68 dBm. A Tabela II apresenta os valores de SNR obtidos no mesmo cenário com diferentes modelos de fading.

TABELA II

VALORES SNR EM CENÁRIOS COM FADING E TAXA DE TRANSMISSÃO DE 54 MBPS.

Modelo de Fading	S (dBm)	N (dBm)	SNR (dB)
TU50	-68	-87	19
Constant	-68	-88	20
IndoorOffice	-68	-88	20

Baseado nos resultados da Tabela II e com o intuito de obter um cenário de testes com todos os parâmetros devidamente controlados, os seguintes testes que já consideram os modelos de fading, foram realizados com uma taxa de transmissão fixa de 1 Mbps. No roteador é possível configurar como automática a taxa de transmissão onde esta pode variar entre 1 e 54 Mbps de acordo com as condições do meio de transmissão, e conseqüentemente com a qualidade do sinal recebida empregando mecanismos de controle de potência. Esta funcionalidade não será considerada neste trabalho, sendo que apenas taxas de transmissão fixas serão utilizadas.

A Figura 3 apresenta os valores *MOS* obtidos para os cenários onde foram utilizados diferentes modelos de fading.

A Figura 4 mostra como um determinado modelo de fading afeta a qualidade da comunicação e como o *jitter* tem uma evidente relação com o índice *MOS*. Os testes foram realizados com o codificador ITU-T G.711 na direção do usuário A para o usuário B e vice-versa, obtendo-se em alguns casos, resultados diferentes para cada sentido da comunicação. Pode-se observar que quando a média do *jitter* aumenta para valores superiores a 2.5 ms o índice *MOS* começa a diminuir consideravelmente. Nota-se que tanto em cenários com velocidade de deslocamento baixa (3 km/h) com em altas (120 km/h) a qualidade da comunicação é degradada de forma não linear, o que indica que a degradação não teve relação direta com a velocidade de descolamento do Rx, ao menos neste teste.

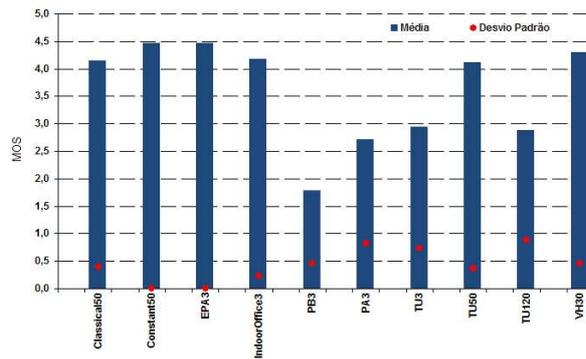


Fig. 3. MOS vs. Modelos de Fading.

Para o caso da porcentagem de perda de pacotes RTP, na maioria de testes se obteve valores baixos, menores a 1%, que não influenciaram diretamente na qualidade da comunicação, como mostrado na Figura 4. Deve-se mencionar que os valores dos gráficos são valores médios, e que existiram alguns casos onde esta porcentagem de perda de pacotes alcançou valores perto de 12% com um índice *MOS* menor que 2. Estes valores foram obtidos para o cenário com modelo de fading TU120.

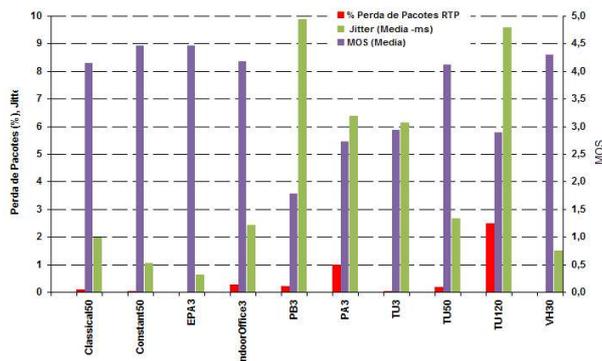


Fig. 4. Relação entre MOS, Jitter e Perda de Pacotes RTP.

A Tabela III apresenta os valores de índice *MOS*, porcentagem de pacotes RTP perdidos e o *jitter* para os dois codificadores empregados: ITU-T G.711 (64 kbps) e ITU-T G.729A (8kbps). Desta mesma tabela ressaltamos que para o caso do cenário com modelo de fading TU120, o valor do índice *MOS* obtido para o codificador G.729 é maior que o valor obtido para o codificador G.711. Para os outros modelos de fading testados (*Constant*, *IndoorOffice*, *VH30*) os valores *MOS* obtidos para o codificador G.711, como era de se esperar, foram maiores.

O atraso ponto-a-ponto obtido nos testes não apresentou uma relação direta com o valor do índice *MOS*, como pode ser observado na Tabela IV, onde são apresentados os resultados para um cenário com fading VH30. Este comportamento é explicado, pois a recomendação ITU-P.862 na etapa inicial possui um alinhamento temporal, entre os sinais original e degradado, eliminando desta forma a relevância do atraso ponto-a-ponto nestes testes. Em uma comunicação bidire-

TABELA III

COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS CODIFICADORES DE VOZ G.711 E G.729 EM DIFERENTES CENÁRIOS COM FADING.

Codific. de voz	Modelo de Fading	Perda de Pac. RTP (%)	Jitter (ms)	Índice MOS
G.711	Constant	0.03	1.05	4.47
G.711	Indoor	0.26	2.43	4.18
G.711	TU120	12.0	18.79	1.25
G.711	VH30	0.0	1.92	4.28
G.729	Constant	0.1	1.31	3.33
G.729	Indoor	0.1	2.35	3.05
G.729	TU120	0.1	2.56	2.56
G.729	VH30	0.9	2.04	2.04

cional, este tipo de atraso é um fator a ser considerado devido a percepção do usuário final.

TABELA IV

ATRASO PONTO-A-PONTO E ÍNDICE MOS.

Atraso ponto a ponto (ms)	Índice MOS
40.5	4.47
0.5	4.47
0.5	4.46
20.5	4.47

## VI. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Para que se possa estabelecer uma chamada VoWLAN a uma determinada taxa de transmissão, por exemplo, de 54 Mbps, são necessárias condições aceitáveis no canal de RF, que podem ser medidas através do SNR. Dos resultados apresentados, quando o valor de SNR foi menor ou igual a 20dB a chamada de voz não foi estabelecida. Quando a configuração dos elementos da rede permite uma seleção automática da taxa de transmissão, as degradações existentes no meio de transmissão exigem a redução da taxa para valores onde seja possível continuar com a chamada, mas a experiência do usuário final pode ser afetada.

Existe uma evidente relação entre os valores do índice MOS-LQO e o valor médio do jitter em cada um dos testes realizados. Pode-se destacar que para valores médios de jitter menores do que 2.5 ms a qualidade da comunicação conserva um índice de qualidade alto, quando este parâmetro começa a aumentar os valores do MOS decrescem de uma maneira acentuada.

Para o caso da porcentagem de perda de pacotes RTP, a maioria dos testes apresentou valores baixos, menores a 1%, que não influenciaram diretamente na qualidade da comunicação. No cenário onde foi inserido o modelo de fading TU120, valores extremos foram obtidos em testes individuais de perda de pacotes RTP que chegaram a um valor máximo de 12% e que estiveram relacionadas com um índice MOS de 1.25. O atraso ponto-a-ponto não apresentou uma relação direta com o valor do índice MOS obtido nos testes, explicado pela forma de avaliar do algoritmo PESQ que possui uma fase de alinhamento temporal entre os dois sinais avaliados.

Em trabalhos futuros serão avaliados um maior número de codificadores de voz em cenários de testes que considerem diferentes modelos de fading. Também, será estudada com maior profundidade a relação existente entre um modelo de fading em particular e os parâmetros da rede IP.

## REFERÊNCIAS

- [1] Hanoch Levy, Haim Zlatokrivlov, *fect of Packet Dispersion on Voice Applications in IP Networks* IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING, VOL. 14, NO. 2, APRIL 2006.
- [2] J. Han, J. Chung, Study of delay patterns of weighted voice traffic of end-to-end users on the VoIP Networks, International Journal of Network Management, 2002.
- [3] A. P. Markopoulou, F. A. Tobagi, Assessment of VoIP Quality over Internet, in Proc. of IEEE Infocom, vol. 1, New York, USA, pp. 150-159, June 2002.
- [4] Komisarczuk, P.; Koudrin, A., Effect of rerouting on NGN VoIP Quality. IEEE, Australian Telecommunication Networks and Applications Conference, pp.364-370, December 2007.
- [5] Anna Sfairopoulou, Carlos Macian and Boris Bellalta. QoS Adaptation in SIP-based VoIP calls in Multi-rate IEEE 802.11 Environments. IEEE - Wireless Communications Systems, vol. 4606, Valencia, Spain, September 2006.
- [6] IEEE 802.11, Wireless Local Network Area, disponível em <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.11.html>.
- [7] ITU-T Rec. P.800, Methods for subjective determination of transmission quality, Aug. 1996. <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.800/en>.
- [8] ITU-T Rec. P.862, Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrowband telephone networks and speech codecs, <http://www.itu.int/rec/TREC-P.862/en>.
- [9] ITU-T Rec. P.862.1 International Telecommunication Union, Mapping function for transforming P.862 raw result scores to MOS LQO, -ITU-T Recommendation P.862.1, Nov. 2003.
- [10] Zizhi Qiao, Lingfen Sun and Emmanuel Ifeachor, Case study of PESQ performance in live wireless mobile VoIP environment IEEE.
- [11] Ditech Networks, Limitations of PESQ for Measuring Voice Quality in Mobile and VoIP Networks, 2007, <http://www.ditechnetworks.com>.
- [12] Choudhury, S.; Shetty, N.; Gibson, J.D.; MOSx and Voice Outage Rate in Wireless Communications IEEE Signals, Systems and Computers, 2006, Page(s): 1303 - 1307
- [13] Tsoumanis, A.; Robertson, R.C.; Performance analysis of the effect of pulse-noise interference on WLAN signals transmitted over a Nakagami fading channel, Military Communications Conference, 2004. MILCOM 2004. IEEE, Volume 2, Page(s): 593 - 597.
- [14] Khan, U.; Baig, S.; Mughal, M.J.; Performance comparison of Single Carrier Modulation with frequency domain equalization an OFDM for wireless communications IEEE- ICET 2009. International CONFERENCE ON Emerging Technologies. Page(s): 297 - 300.
- [15] Ming-Ju Ho; Mostafa, A.; AMR Call Quality Measurement Based on ITU-T P.862.1 PESQ-LQO, Vehicular Technology Conference, 2006. VTC-2006 Fall, 2006 IEEE 64th, Page(s): 1 - 5.
- [16] ITU-T Rec. G.711, General Aspects of Digital Transmission Systems Terminal Equipments - Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies.1972. <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.711/en>.
- [17] ITU-T Rec. G.729, Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear prediction (CS-ACELP). 2007 <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.729/en>.
- [18] Rappaport, T.S., Wireless communications: principles and practice, 2<sup>o</sup> ed, Prentice Hall PTR New Jersey, 2002.
- [19] Disponível em <http://www.elektrobit.com/what-we-deliver/wireless-communications-tools/products>
- [20] Disponível em <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5968-7723E.pdf>
- [21] Disponível em [www.wireshark.org/download.html](http://www.wireshark.org/download.html)
- [22] Rivera-Lara, E.J.; Herreras-Hernandez, R.; Perez-Diaz, J.A.; Garcia-Hernandez, C.F.; Analysis of the Relationship between QoS and SNR for an 802.11g WLAN IEEE International Conference on Communication Theory, Reliability, and Quality of Service, 2008. CTRQ '08, Page(s): 103 - 107.
- [23] ElektroBit, Prosim C8 Radio Channel Emulator Operator Manual, 2007