

# DETERMINAÇÃO DO FATOR DE DEGRADAÇÃO DO CODIFICADOR DO E-MODEL EM UM CENÁRIO DE REDE EXPERIMENTAL

**Demóstenes Zegarra Rodríguez**

*University of Sao Paulo*

*Sao Paulo - Brazil*

&

**Miguel Arjona Ramírez**

*University of Sao Paulo*

*Sao Paulo - Brazil*

**Resumo**– A perda de pacotes e atrasos tem influência na qualidade em uma conversação de voz interativa em uma rede IP. Em este artigo se apresenta uma metodologia utilizando os métodos objetivos PESQ e E-MODEL, ambas recomendações da ITU-T para medir o desempenho de codificadores que ainda não tenham parâmetros definidos em diferentes cenários com perda de pacotes e atrasos em uma conversação bidirecional utilizando um cenário emulado de rede com ferramentas open source.

**Abstract**– Packet loses and delays have influence in the quality of an interactive voice conversation in an IP network. This article exhibits a methodology, use objectives models as PESQ and E-Model Recommendation from ITU-T to measure the performance of new codecs or that do not have defined parameters in different scenarios of packet loses and delays in a bidirectional communication using a network emulated with software open source.

*Index Terms*—VoIP, MOS, codec, E-Model, NistNet, QoS

## 1. INTRODUCAO

No projeto de redes de pacotes devem-se considerar diversos parâmetros como: perda de pacotes, atrasos fixos e variáveis, taxa de codificação, taxa total de transmissão e o eco (Jonhatan, *et al.*, 2007; Jeang, *et al.*, 2002; Makropoulou, *et al.*, 2002; Minoli, *et al.*, 2002) que afetam diretamente a qualidade da transmissão e, conseqüentemente, a qualidade do sinal no receptor.

É necessário que o projetista de rede conheça em que medida cada parâmetro afeta a qualidade em uma comunicação. Este trabalho esta orientado ao estudo do fator de degradação do codificador definido na recomendação ITU-T G.107 (ITU-T, 2005), mais conhecida como: *E-model*.

A recomendação ITU P.862 (ITU-T, 2001) geralmente conhecida como PESQ (*perceptual evaluation of speech quality*), em termos gerais, descreve um método objetivo para avaliar a qualidade subjetiva de codificadores.

É importante considerar que este algoritmo estabelece uma avaliação precisa em comunicações unidirecionais, mas não permite medir a qualidade da transmissão em uma comunicação bidirecional, sendo possível obter resultados altos de qualidade mesmo com uma conexão global ruim, assim, por exemplo, o atraso “ponto a ponto” em uma rede de transmissão de pacotes afeta a qualidade de voz somente nas comunicações bidirecionais.

No caso de uma transmissão em uma rede ideal (sem perdas e nem atrasos) ou que apresente somente perda de pacotes, os resultados do PESQ são confiáveis e estes

podem ser utilizados junto com a Recomendação ITU-T G.107 para calcular o parâmetro que corresponde às características próprias de cada codificador, e que é denominado nesta recomendação como  $I_e$ , fator de degradação do codificador. Conhecendo este parâmetro, pode-se estimar o comportamento do codificador em estudo em diferentes cenários de atraso e perdas de pacotes.

Na Recomendação ITU G.108 (ITU-T, 1999) se apresenta uma explicação de como se devem interpretar as equações da Recomendação ITU-T G.107 apresentando-se alguns casos práticos que amostra como este método é corretamente utilizado.

Na recomendação ITU-T G.113 Anexo I (ITU-T, 2002) são apresentados os valores de  $I_e$  para diferentes codificadores que já foram estudados pela ITU-T, estes valores são obtidos de maneira experimental e são atualizados periodicamente.

Portanto, neste artigo se propõe a fazer medidas experimentais com os codificadores de voz Rec. ITU-T G.723.1 (ITU-T, 2006) e iLBC (IETF, 2004) em um cenário de rede emulada e utilizando a ferramenta PESQ para estimar o índice MOS (*mean opinion score*) descrito na Recomendação ITU-T P.800 (ITU-T, 1996) para diferentes cenários de probabilidade de perda de pacotes (incluindo perda de pacotes igual a zero). Com estes valores obtidos e empregando as equações do E-Model que relacionam o valor do índice MOS com o valor de determinação do índice de transmissão  $R$ , pode-se calcular o parâmetro  $I_e$  do codificador em estudo.

A metodologia seguida para estes codificadores é aplicável para os codificadores novos que ainda não tenham parâmetros definidos e a partir destes, fazer uma estimativa de sua qualidade em diferentes cenários de probabilidade de perda de pacotes e diferentes tempos de atraso em comunicações bidirecionais.

O artigo está dividido respectivamente em: Seção 2, onde é feito um resumo teórico das ferramentas utilizadas. Seção 3 que apresenta o cenário onde são realizados os testes indicando a metodologia seguida e os parâmetros avaliados. Seção 4, onde são apresentados e discutidos os resultados obtidos, e por fim, a Seção 5 que expõe a importância da determinação do fator de degradação do codificador descrito no E-Model em um cenário de rede experimental.

## 2. REVISÃO TEÓRICA

Os métodos utilizados neste trabalho foram o método intrusivo, é dizer que requer dois sinais de referência, PESQ e o método não intrusivo, que só requer de um sinal, E-Model.

O PESQ é uma ferramenta objetiva na avaliação da qualidade de voz, utilizando como entradas no seu algoritmo, dois sinais: o sinal original e o sinal degradado.

O E-model é um modelo computacional que mede os efeitos da variação dos parâmetros de uma rede de transporte e do sinal na qualidade de voz transmitida. O E-Model é definido pela seguinte equação:

$$R = R_o - I_s - I_d - I_e + A \quad (1)$$

Onde:

- $R$ : fator de Determinação do índice de transmissão, representa o parâmetro que está relacionado com o valor de qualidade e tem uma correspondência com a pontuação MOS UIT-T P.800 .
- $R_o$ : relação sinal-ruído.
- $I_s$ : fator de degradações simultâneas, representa todas as degradações que se produzem simultaneamente com o sinal de fala, como são os níveis dos sinais de fala de maior intensidade (OLR não ótima), o efeito local não ótimo (STMR) e o ruído de quantificação.
- $I_d$ : degradação da qualidade causada devido ao atraso existente na rede.
- $I_e$ : degradação da qualidade por efeito do equipamento (codificador).
- $A$ : fator de melhora, não tem relação com os demais parâmetros da transmissão.

O valor padrão de  $R_o$  é 93.2 (ITU-T, 2005), que é obtido ao se colocar todas as entradas do modelo com seus valores padrões.

O parâmetro  $I_s$  não será considerado nos cálculos, já que este descreve as condições que são relacionados com o sinal, não dependendo da rede de transporte.

O fator  $A$ , segundo [5] tem o valor 0 para redes com fio e é o que corresponde ao cenário de emulação deste trabalho.

O fator  $I_d$  é definido como:

$$I_d = I_{dte} + I_{dle} + I_{dd} \quad (2)$$

Os fatores  $I_{dte}$  e  $I_{dle}$  correspondem ao atraso causado pelo eco no emissor e no receptor, respectivamente. Estes fatores não serão considerados neste trabalho já que para o cenário de testes se assumirá uma supressão perfeita do eco.

O  $I_{dd}$  representa os atrasos produzidos na rede e no codificador.

O atraso ocasionado pelo codificador se define em (ITU-T, 1999) como:

$$2N + \text{Pré-análise} \quad (3)$$

Onde  $N$  é o tamanho da amostra de cada codificador. Valores de  $N$  e dos tempos de pré-análise para diferentes codificadores podem ser encontrados em (Arjona and Minami, 2007).

Com estas considerações, pode-se calcular o parâmetro  $R$  em função dos parâmetros: atraso ( $Id$ ) e o fator correspondente ao codificador ( $Ie$ ):

$$R = Ro - Id - Ie \quad (4)$$

### 3. CENÁRIO EXPERIMENTAL

O seguinte diagrama de blocos, Figura 1, ilustra o cenário experimental utilizado para encontrar o parâmetro de degradação do codificador  $Ie$ , empregando as recomendações descritas anteriormente.

Os codificadores de voz que foram avaliados em um cenário sem perdas e sem atrasos foram: G.723.1 e iLBC. Para o codificador G.723.1 foram feitos testes com probabilidades de perdas de pacotes de 0%, 5%, 10% e 20% com atraso ponto a ponto igual a zero.

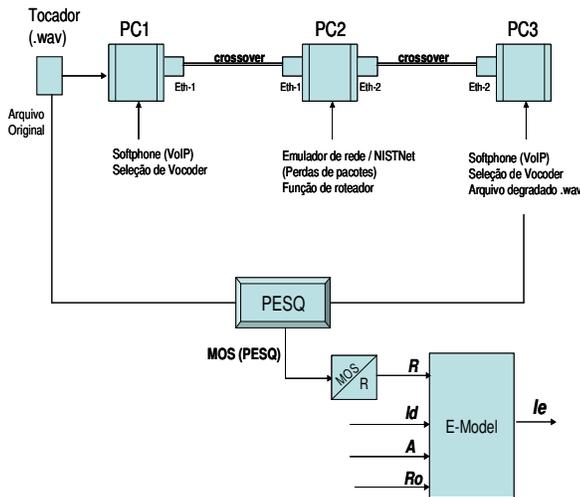


Figura 1. Diagrama de blocos do cenário de testes utilizando ferramentas open source

Este cenário é composto por uma sub-rede (PC1) conectada a uma outra sub-rede (PC3), e estes são interconectados por um roteador GNU/Linux (PC2). Sendo utilizada uma rede com fio para este cenário.

Os softwares aplicativos utilizados nos testes foram:

- PC1, PC3: clientes com *softphone* MyPhone 0.2b10 [13], analisador de pacotes Wireshark [14] e software para gravação de áudio .wav VRS Recording System [15].
- PC2: roteador com o emulador de redes Nistnet [16] utilizado para simular perda de pacotes, atrasos, variações de atrasos e largura de banda e o software ITU-T P.862 utilizado para encontrar o índice MOS da qualidade de voz.

O som transmitido, foi gerado por um reproduzidor de arquivo .wav que é conectado a entrada do microfone do PC1 mediante um cabo de áudio. Este arquivo possui uma duração de 8 segundos e foi amostrado a 8 kHz e 16 bits.

A Metodologia seguida nos testes para se obter o valor MOS utilizando a ferramenta PESQ é a seguinte:

- Inicialmente, se inicia uma comunicação entre o PC1 e o PC3 mediante os *softphones* que cada PC possui instalado e que permite escolher o codificador de voz utilizado para cada chamada VoIP, onde esta é feita de computador a computador, e a sinalização utilizada foi a recomendação H.323.
- Para cada cenário o emulador de rede é configurado com os parâmetros requeridos do teste a executar.
- O reproduzidor transmite o áudio (arq\_orig.wav) ao PC1 onde este som é gravado (arq\_orig2.wav), como a chamada já está ativa, a voz é codificada e transmitida para o PC3 através do PC2.
- Enquanto os dados são transmitidos, o programa Wireshark que está sendo executado no PC1 e no PC3, salva a informação da rede como: as mensagens de sinalização para estabelecimento, manutenção e finalização das chamadas, as mensagens do protocolo RTP, o tamanho médio do pacote (Bytes), número médio de pacotes transferidos por segundo e largura de banda média.
- No PC3, o áudio recebido é gravado em um arquivo (arq\_deg.wav). Este arquivo e o arquivo 'arq\_orig2' são comparados mediante o programa PESQ, que é executado no PC2, tendo como resultado uma pontuação MOS. Foram feitos dez testes para cada cenário, tomando-se o valor médio como resultado válido de cada cenário.

É importante mencionar, que antes de realizar cada teste, se verificou que o programa PESQ estava configurado corretamente, para isto, verificou-se todos os arquivos de teste que vêm com o software PESQ, obtendo-se resultados satisfatórios.

Da mesma forma para os cenários de perdas de pacotes e atrasos, configurados no Nistnet, foram feitos testes para avaliar se estes atrasos e perdas eram reflexos de dados anteriores da rede a fim de se obter um resultado confiável.

## 4. RESULTADOS DOS TESTES

### 4.1 Cenário sem probabilidade de perda de pacotes e sem atrasos

Para um cenário ideal: sem perdas, sem atrasos e com taxa de transmissão suficiente, conseguiram-se resultados semelhantes com a maioria da literatura como em [17], [18], [19].

A Tabela 1 apresenta as médias dos valores obtidos nos testes.

Tabela 1 – Índice MOS para os codificadores G.711, G.723.1 e iLBC em um cenário sem perdas nem atrasos.

Codificador	Pontuação PESQ
G.711	4.09
G.723.1	3.52
iLBC	3.79

Segundo [20] estes valores MOS podem ser convertidos em valores MOS-LQO (*Mean Opinion Score – Listening Quality Objective*), que é a pontuação do PESQ mais comparável com o índice MOS pela seguinte equação:

$$\text{Para } \text{MOS} = x > 1.7 \\ \text{MOS-LQ} = -0.156278x^3 + 1.386609x^2 - 2.504699x + 2.023345$$

$$\text{Para } \text{MOS} = < 1.7 \\ \text{MOS-LQ} = 1 \quad (5)$$

Com estes valores e utilizando a equação 6 definida em [5], pode determinar-se o valor de  $R$  a partir do índice MOS

$$\text{Para } \text{MOS} = 1.0 \quad R=0 \\ \text{Para } 1.0 < \text{MOS} < 4.5 \\ \text{MOS} = 1 + 0.035R + R(R-60)(100-R)x7x10^{-6} \\ \text{Para } \text{MOS} \geq 4.5 \quad R=100 \quad (6)$$

E para se obter o parâmetro  $I_e$  utilizou-se a equação 7, considerando  $I_d=0$  e  $R_o$  igual ao valor obtido para o codificador da recomendação ITU-T G.711 [21] no cenário de rede de testes apresentado.

$$I_e = 86.5 - R \quad (7)$$

Com estas equações obtiveram-se os valores apresentados na Tabela 2:

Tabela 2 – Valores de  $I_e$ , PESQ e PESQ-LQO para os codificadores G.723.1 e iLBC

	PESQ	PESQ-LQO	$I_e$
G.723.1	3.52	3.53	18
iLBC	3.79	3.88	13

Desta tabela pode-se observar que o valor do  $I_e$  obtido para o codificador iLBC apresenta um melhor resultado segundo a equação 2 onde um menor valor de degradação ( $I_e$ ) reflete uma maior qualidade do sinal.

É importante ressaltar que o valor obtido para o  $I_e = 18$  do codificador G.723.1 é muito próximo ao valor apresentado pela ITU-T no anexo I da Rec. G.113 que é igual a 19.

Com os valores da Tabela 2 para o codificador G723.1 obteve-se o gráfico da Figura 2, que apresenta a relação entre o MOS<sub>c</sub> (MOS conversacional) obtido do valor  $R$  do *E-Model* e os diferentes valores de atraso (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 e 500 ms) para um cenário de perdas de pacotes igual a zero.

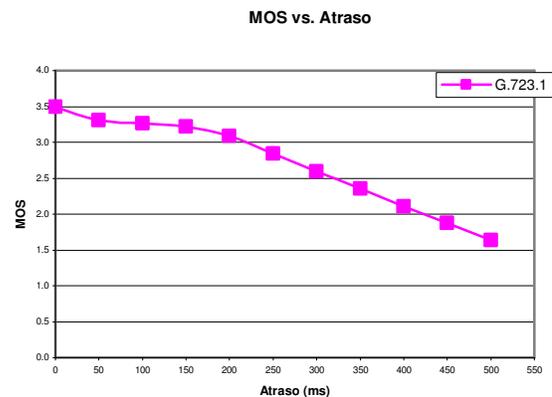


Figura 3. Cálculo de MOS x Atraso obtido por E-model.

Desta última figura, pode-se constatar que a qualidade de voz se conserva aceitável até 150 ms que é o atraso especificado na Recomendação ITU-T G.114 [22].

### 4.2 Cenário com probabilidade de perdas de pacotes e atrasos

Para um cenário de probabilidade de perdas de pacotes e atrasos iguais a zero, e seguindo a metodologia explicada, mediu-se a qualidade de voz para o codificador: G.723.1

As probabilidades de perdas consideradas nos testes realizados foram de 5%, 10% e 20%.

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores MOS e Ie para o codificador G.723.1 em um cenário com perdas de pacotes

Codificador G.723.1	Probabilidade de Perda de Pacotes		
	5%	10%	20%
MOS	2.85	2.60	2.14
Ie	37	44	60

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho pretende ser útil para projetistas de rede na **avaliação do valor de Ie de codificadores novos ou que não tenham parâmetros definidos pela ITU-T e a partir deste predizer o índice de qualidade MOS do codificador em estudo para diferentes cenários de rede**, ou seja, com diferentes probabilidades de perda de pacotes e atrasos tanto em conversações unidirecionais quanto em conversações bidirecionais.

**Os resultados obtidos foram bastante aceitáveis considerando que são valores muito próximos aos descritos na documentação da ITU-T, dando um grau de confiabilidade ao método utilizado** em estes testes e que podem ser facilmente reproduzíveis já que o cenário de teste foi baseado em software *open source*.

## 6. TRABALHOS FUTUROS

Propõe-se realizar testes adicionais para cenários com probabilidades de perda de pacotes igual a: 1%, 3%, 5%, 7%, 10%, 15%, 20% e 25% e baixo estas condições fazer os testes para o codificador *iLBC* ou qualquer outro codificador que não tenha o parâmetro *Ie* definido.

## 7. Referências Bibliográficas

[1] Jonhatan Davidson, James Peters, Manoj Bathia, Satish Kalindini, Sudipto Mukherjee, “Voice Over IP Fundamentals” Second Edition, CiscoSystems, Aug. 2007.  
 [2] Jeang –Soo Han, Seang-Jin and Jin Wook 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, and M. Karam, “Assessment of VoIP Quality over Internet Backbones,” in Proc. of IEEE Infocom, vol. 1, (New York, USA), pp. 150–159, June 2002.  
 [4] D. Minoli and E. Minoli, Delivering Voice over IP Networks, 2nd Edition. John Wiley and Sons, 2002.  
 [5] ITU-T Rec. G.107, “The E-model, a computational model for use in transmission planning”, Mar. 2005. Disponível em: [www.itu.int/rec/T-REC-G.107/en](http://www.itu.int/rec/T-REC-G.107/en)  
 [6] ITU-T Rec. P.862, “Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs”. Disponível em: [www.itu.int/rec/T-REC-P.862/en](http://www.itu.int/rec/T-REC-P.862/en)  
 [7] ITU-T Rec. P.G.108, “Aplicación del modelo E: Directrices para la planificación”, Set. 1999. Disponível em: [www.itu.int/rec/T-REC-G.108/en](http://www.itu.int/rec/T-REC-G.108/en)  
 [8] ITU-T Rec. G.113, “Degradaciones de la transmisión debido al tratamiento de los señales vocales”, May. 2002. Disponível em: [www.itu.int/rec/T-REC-G.113/en](http://www.itu.int/rec/T-REC-G.113/en)  
 [9] ITU-T Rec. G.723.1, “General Aspects of Digital Transmission Systems – Dual Rate Speech Coder for Multimedia Communications Transmitting at 5.3 and 6.3 kbit/s”, May. 2006. Disponível em: [www.itu.int/rec/T-REC-G.723.1/en](http://www.itu.int/rec/T-REC-G.723.1/en)  
 [10] IETF RFC 3951, “Internet Low Bit Codec Rate”, Dec. 2004. Disponível em <http://www.ietf.org/rfc/rfc3951.txt>  
 [11] ITU-T Rec. P.800, “Methods for subjective determination of transmission quality”, Aug. 1996. Disponível em: [www.itu.int/rec/T-REC-P.800/en](http://www.itu.int/rec/T-REC-P.800/en)  
 [12] Miguel Arjona, Mario Minami, “Technology and Standards for Low-Bit-Rate Voding Methods”, University of Sao Paulo – Brazil, 2007  
 [13] Disponível em: <http://myphone.sourceforge.net/>  
 [14] Disponível em: [www.wireshark.org/download.html](http://www.wireshark.org/download.html)  
 [15] Disponível em: [www.nch.com.au/vrs/index.html](http://www.nch.com.au/vrs/index.html)  
 [16] Disponível em: [www-x.antd.nist.gov/nistnet/](http://www-x.antd.nist.gov/nistnet/)  
 [17] Comparisons of fec and codec robustness on voip quality and brandwidht efficiency, wenyu jiang and henning schulzrinne. Columbia University, Department o computer Science, USA.  
 [18] Voice over packet, an assessment of voice performance on packet networks, Nortel Networks. 2002  
 [19] Mick Grant, Shane Tonissen, “Voice Quality Monitoring for VoIP Networks”, Calyptech. 2003  
 [20] A. W. Rix, “Comparison between Subjective Listening Quality and P.862 PESQ Score,” in Proceedings of Online Workshop Measurement

of Speech and Audio Quality in Networks, (Czech Republic), May 2003.

- [21] ITU-T Rec. G.711, "General Aspects of Digital Transmission Systems Terminal Equipments - Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies", 1972. Disponível em: [www.itu.int/rec/T-REC-G.711/en](http://www.itu.int/rec/T-REC-G.711/en)
- [22] ITU-T Rec. G.114 "One way transmission time", May. 2003. Disponível em: [www.itu.int/rec/T-REC-G.114/en](http://www.itu.int/rec/T-REC-G.114/en).