



## IPTV: Avaliação da Perda de Pacotes na Rede

Não é surpresa que a Qualidade de Experiência (QoE - Quality of Experience) do IPTV tenha se tornado popular no mercado de Telecomunicações e junto aos fornecedores de produtos IPTV. Assegurar o QoE é hoje prioridade nesses mercados. O principal desafio é aferir o QoE em uma rede IPTV, com os parâmetros de qualidade do vídeo de maneira simples e eficiente.

Este tutorial tem como objetivo exibir um modelo para aferição do QoE em função das características de perdas de pacote IP na rede IPTV, além de propor um modelo para realizar as aferições de perda de pacotes e taxa de erro IP.

A perda de pacote será o alvo principal das aferições em função de seu impacto na qualidade do vídeo oferecida ao usuário. Os resultados mostram que perda de pacote e taxa de erro afetam substancialmente a qualidade do vídeo na rede IPTV, porém os limites de taxa de erro serão estabelecidos, obtendo o traçado de QoE para uma rede IPTV.



### Luciano Henrique Duque

É Engenheiro Eletricista, com Ênfase em Eletrônica e Telecomunicações, pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL, 1994) e Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade de Brasília (UnB, 2008).

Atualmente é professor Mestre da Faculdade ANHANGUERA/FACNET (Brasília, DF) e professor Mestre no Instituto de Educação Superior de Brasília (IESB) no curso de Engenharia Elétrica. Atua ainda como Consultor de Telecomunicações da Oi/Brasil Telecom desde 1997.

Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Telecomunicações, atuando principalmente nas áreas de TV Digital, IPTV e TI.

Email: [luciano.duque@brturbo.com.br](mailto:luciano.duque@brturbo.com.br)

---

**Categoria:** Banda Larga

**Nível:** Introdutório

**Duração:** 15 minutos

**Enfoque:** Técnico

**Publicado em:** 01/03/2010

---

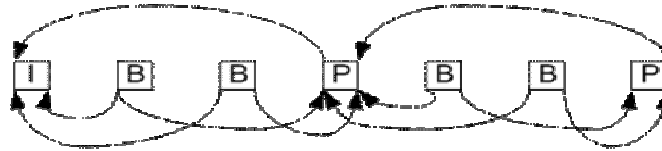
O IPTV [2,3,8,9] consiste na transmissão de sinais de multimídia tais como áudio, vídeo, texto e gráficos, utilizando o protocolo mais difundido na internet, o protocolo IP, porém em redes dedicadas de um provedor qualquer. O Transporte do sinal de vídeo sobre a rede IP do provedor deve ser feito de forma cuidadosa, pois além de tráfego de vídeo teremos também o de dados. Dessa maneira, torna-se viável assegurar a qualidade de vídeo garantindo uma qualidade mínima igual aos serviços existentes, seja de TV a cabo ou de TV convencional.

O fator que determina a qualidade do vídeo é chamado de [12] QoE (*Quality of Experience*). Aferi-la uma rede IPTV é uma tarefa complicada, porém essencial para controle e monitoramento da rede. Converter uma perda de pacote IP em medida de qualidade de vídeo, é de suma importância para a rede IPTV, pois a coleta da perda na rede IP é uma tarefa simples. O [5] modelo de aferição de QoE a ser mostrado para a rede IPTV é o rPSNR. Ele visa converter perda de pacote IP em qualidade de vídeo, partindo de um limite inicial definido, de taxa de erro e perda de pacote. Medidos utilizando ferramentas simples de coletas de estatísticas da rede IPTV.

Este tutorial está organizado segundo os seguintes tópicos:

- Apresentação do modelo de aferição de QoE.
- Proposição das ferramentas de medidas de taxa de erro e perda de pacotes.
- Apresentação de simulações de traçado QoE na rede IPTV.
- Apresentação das conclusões obtidas

São métricas de qualidade de serviço (QoS): Perda de Pacotes, *Delay*, *Jitter* e Vazão. Iremos avaliar a métrica denominada Perda de Pacote, pois ela provoca um prejuízo maior no sinal de vídeo recebido pelo usuário IPTV. O sinal de vídeo compactado em MPEG-4 no *headend* é formado por [19] quadros I, P e B. A figura abaixo ilustra os quadros:



**Figura 1: Formação dos quadros MPEG**

Os quadros I não dependem dos quadros P e B, ao serem decodificados, porém são necessários para a codificação dos quadros P e B. Eles representam uma imagem completa, codificada individualmente. Os quadros P são necessários para a decodificação dos quadros B e são baseados em previsão antecipada. Os quadros P são codificados com previsão relativa [19] ao último quadro P. O quadro B é a diferença entre o último e o próximo quadro P. Portanto uma perda de pacote IP poderá provocar, por exemplo, a perda de um frame I, nesse caso não será possível decodificar os quadros que chegam antes do próximo I.

Em relação às métricas de qualidade de vídeo, avaliaremos o [18] MSE e o PSNR. O MSE representa o erro quadrático médio entre uma imagem transmitida e uma imagem recebida.

O PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*) [21] representa a relação sinal ruído em função do erro quadrático médio, o MSE. Quanto mais próxima a imagem transmitida em relação da recebida, maior será o PSNR. A equação abaixo mostra o PSNR:

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{(2^n - 1)^2}{MSE} \quad (1)$$

Onde  $n$  representa o número de bits por amostra da imagem (esse valor geralmente é de 8 bits). O MSE é a diferença da imagem transmitida pela imagem recebida pelo usuário, a equação abaixo define o MSE:

$$MSE = \left(\frac{1}{MN}\right) \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (u_{ij} - u'_{ij})^2 \quad (2)$$

Onde  $u_{ij}$  e  $u'_{ij}$  representam os pixels das imagens original e reconstruída, respectivamente.

Seja uma seqüência de vídeo mostrada na figura 2, caso ocorra um erro em um frame  $k$  dessa seqüência, o erro se propagará para o frame  $(k+i)$ . Sendo o erro representado por  $\sigma s 2$ .



**Figura 2: Seqüência de vídeo**

Logo podemos aproximar o erro quadrático médio da seguinte forma:

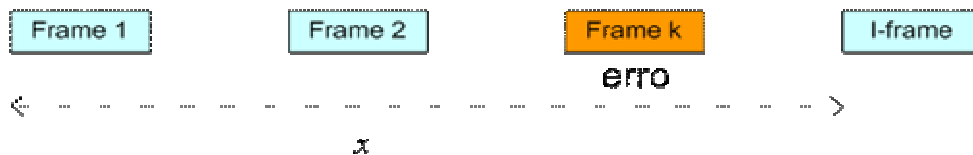
$$\sigma_s^2[k+i] = \sigma_s^2[k] \gamma^i \quad (3)$$

Onde  $\gamma$  ( $0 < \gamma < 1$ ) representa o fator de atenuação do decodificador do Set-Top-Box e  $i$  representa o  $i$ -ésimo frame. Assim para um instante (T-1) de codificação da imagem, os frames são codificados em P-frames, entre dois frames I-frames. A figura 3 ilustra a seqüência de vídeo:



**Figura 3: Codificação dos frames**

Modelando o Erro Quadrático Médio (MSE), onde  $x$  representa o número de frames, no ponto que ocorreu a perda original até o próximo frame I, representando uma variável aleatória, com distribuição uniforme de  $[0, T-1]$ . A figura 4 ilustra a variável  $x$ .



**Figura 4: Representação da variável x**

Pode-se escrever o erro quadrático médio da seguinte maneira:

$$MSE = \sum_{i=0}^{T-1} \sigma_s^2[k+i] \quad (4)$$

Supondo que a distorção inicial é causada pela perda de uma fatia do frame, representado por uma constante, dada por:  $\sigma_s^2$ . Logo o MSE é modelado da seguinte forma:

$$D_1 = \sum_{i=0}^{T-1} \sigma_s^2 \gamma^i \left( \frac{T-i}{T} \right) = \frac{\gamma^{T+1} - (T+1)\gamma + T}{T(1-\gamma)^2} \sigma_s^2 = \alpha \sigma_s^2 \quad (5)$$

Podemos afirmar que  $D_1$  é função da atenuação e do tempo T. O valor de  $D_1$  (MSE) representa o erro quadrático médio para a perda de uma única fatia do pacote. Como o erro propaga durante a transmissão, poderá haver mais de uma fatia perdida no pacote.

Quando ocorrer uma perda de  $n$  pacotes consecutivos, sendo  $n > 1$ , temos uma quantidade de  $f(n)$  fatias perdidas do pacote, logo,  $f(n)$  irá depender do tipo de codificação, neste caso a MPEG-4. Assumindo  $s$  fatias por pacote,  $L$  pacotes por frame e considerando a perda uma distribuição uniforme de 1 pacote até L pacotes por frame,  $f(n)$  para o MPEG-4 é dada por:

$$f(n) = sn \quad (6)$$

Modelando a distorção quadrática (MSE), para mais de uma fatia perdida por frame, o erro quadrático médio pode ser escrito como:

$$MSE = D_n = f(n) D_1 \quad (7)$$

Estamos à procura de um modelo simples, onde medimos a perda de pacotes e convertemos em qualidade de vídeo. Definiremos  $m$  como número de pacotes transmitidos entre dois eventos consecutivos com perda, ou seja, é a distancia onde ocorreu a perda. A figura 5 ilustra a perda:



**Figura 5: Pacotes transmitidos entre dois eventos de perda.**

Denotamos  $P_n$  a probabilidade de termos  $n$  pacotes consecutivos perdidos, e,  $P_m$  representa probabilidade de termos dois eventos consecutivos, separados por  $m$  pacotes. Considerando  $m$  e  $n$  variáveis independentes, podemos determinar o MSE do IPTV reconstruído da seguinte forma:

$$MSE = \bar{D} = \frac{\sum_n P_n D_n}{\sum_m P_m (m/L)} = \frac{f(n)}{m} LD_1(8)$$

Esta equação é equivalente a:

$$MSE = \bar{D} = P_e \bar{f(n)} LD_1(9)$$

Onde  $P_e$  representa a probabilidade de ocorrer um evento de perda dentro de um *stream* de vídeo.  $P_e$  e  $f(n)$  são em função das características do processo de perda visto no *stream* de vídeo, específicos do Codec utilizado.

Se  $L$  é tipicamente grande, quando o vídeo é codificado em uma taxa elevada, ao substituir o valor de MSE da equação acima temos:

$$MSE = \bar{D} = P_e \bar{n} LD_1(10)$$

Assim, computamos a qualidade de vídeo QoE em um trajeto da rede IPTV, usando a relação sinal ruído de pico:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{255^2}{MSE} \right) (11)$$

O valor estimado de PSNR requer não somente as estatísticas de perda na rede, mas o conhecimento das características da aplicação. O modelo procurado dependerá apenas de coletas das características da rede IPTV, uma delas é a perda de pacotes. Dessa forma, vamos estimar a métrica de um PSNR relativo, sem, no entanto, estimar o valor de  $D_1$ . No primeiro momento devemos definir para [9] a rede IPTV, as características mínimas de perdas de pacotes, e probabilidade de erro admissível à operação normal. Isto é, baseado tipicamente em algum limite mais baixo da qualidade da rede IPTV entregue ao usuário, deve-se fazer:

$$\bar{n} = n^0$$

$$P_e = P_e^0$$

Vamos considerar ainda o desempenho da perda no trajeto da rede como:

$$\begin{aligned}\bar{n} &= n' \\ P_e &= P_e'\end{aligned}$$

Desta forma, a qualidade relativa no trajeto IPTV é definida como a diferença do PSNR real e o PSNR alvo (PSNR transmitido dentro da rede IPTV). O rPSNR mede qual distância estamos da qualidade de vídeo alvo da rede observada em um caminho IPTV, conforme a fórmula:

$$rPSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{D^0} - 10 \log_{10} \frac{255^2}{D'} \quad (12)$$

Aplicando a equação (9) em (12), admitindo o mesmo valor para  $D I$ , obtém-se o rPSNR final igual a :

$$rPSNR = 10 \log_{10} \frac{\binom{n^0}{n'} P_e^0}{\binom{n^0}{n'} P_e'} \quad (13)$$

Na equação (13) observa-se que a qualidade de vídeo relativa pode ser estimada utilizando somente os valores de  $n^0$ ,  $n'$ ,  $P_e^0$  e  $P_e'$ , sendo  $n^0$  e  $P_e^0$  valores definidos pela WT-126. Este será o modelo utilizado para determinar a trajetória do QoE em uma rede IPTV. Nas simulações no trajeto da rede IPTV será utilizado o modelo de Gilbert [11], estimando a probabilidade de erro e perda de pacotes.

Ferramentas para Auxiliar a Aferição da QoE

O fluxo na figura 6 ilustra o encaminhamento das medidas de aferição do QoE na rede IPTV:

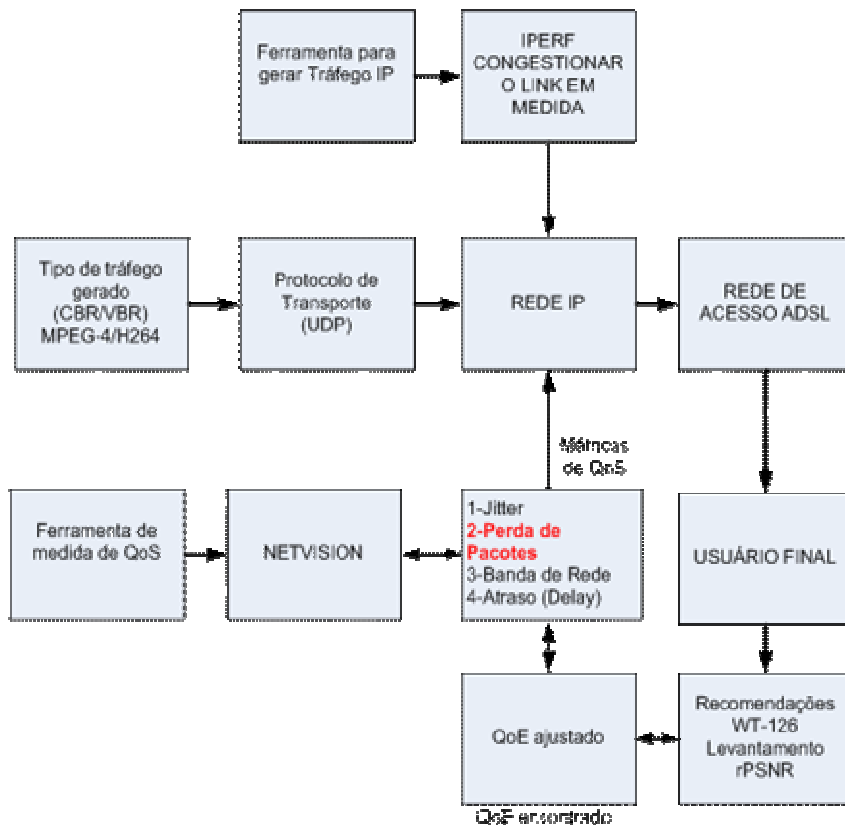


Figura 6: Fluxo para aferição de QoE

O modelo [11,14] acima propõe a forma de medição do QoE em relação à perda de pacotes e taxa de erro.

O Netvision é uma ferramenta que permite realizar medições de perda de pacotes e taxa de erro no trajeto de rede. O Iperf é uma ferramenta que permite gerar tráfego no trajeto de rede analisado, permitindo congestionar o trajeto, que não possui QoS aplicado, possibilitando o controle da taxa de perda de pacotes e taxa de erro, aplicado o resultado no modelo rPSNR para definir QoE na rede IPTV.

As medidas de taxa de erro permitem que o traçado do QoE, tenha o valor inicial recomendado pela WT-126. A topologia de rede IPTV utilizada para coleta dos dados, é apresentada na figura 7, bem como os pontos de coletas.

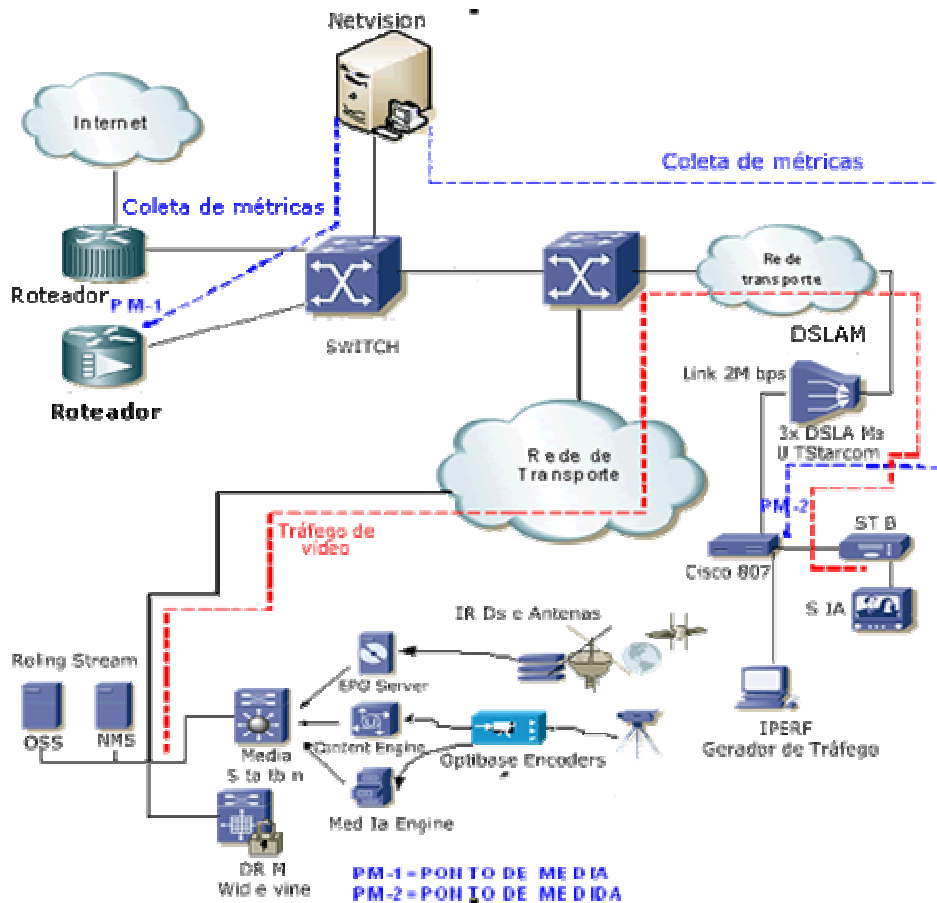


Figura 7: Topologia da rede IPTV e pontos de coleta



### Traçado do QoE na Rede IPTV

Definir o rPSNR para valores da recomendação WT-126 [1] de probabilidade de erro, é o ponto de partida para o menor valor aceito na arquitetura de rede IPTV definida anteriormente. Considerando-se uma perda de pacote igual  $n \theta = 1$ , em um período de coleta de 1 hora, recomenda-se o seguinte valor para a probabilidade de erro:

$$P_{e,r} = 3,3 * 10^{-6}$$

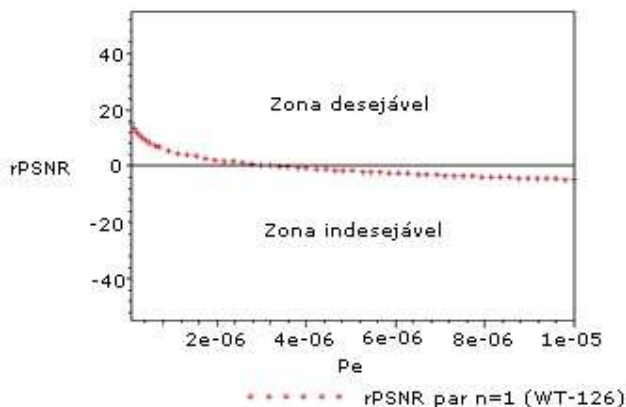
Utilizando a distribuição de Gilbert [23] para perda de 1 pacote consecutivo, adotamos a seguinte expressão para o cálculo:

$$P_n = (1 - q)^{n-1} q$$

O Traçado de QoE no trajeto da rede IPTV feito no Netvision possui valores medidos de probabilidade de erro que variam de:

$$P_{e,r} = 10^{-7} \rightarrow 10^{-5}$$

Aplicando os valores medidos da taxa de erro, o gráfico da figura 8 mostra o traçado do QoE, utilizando o Maple 10.



**Figura 8: Traçado de QoE 1 pacote perdido em 1 hora**

O eixo horizontal representa a probabilidade condicional de ocorrer erro na rede IPTV e o eixo vertical representa o rPSNR em [db]. A região acima da linha horizontal é uma região de QoE aceitável, abaixo dessa linha o serviço não tem garantias de QoE, provocando instabilidade no sinal de vídeo recebido. A medida da taxa de erro mostra um rPSNR nulo, no ponto onde WT-126 recomenda o valor mínimo de erro (ponto de partida para o mínimo funcionamento do IPTV, rPSNR=0). Conclui-se que quanto menor for o rPSNR, maior será a instabilidade na recepção do sinal recebido pelo set-top-box [9].

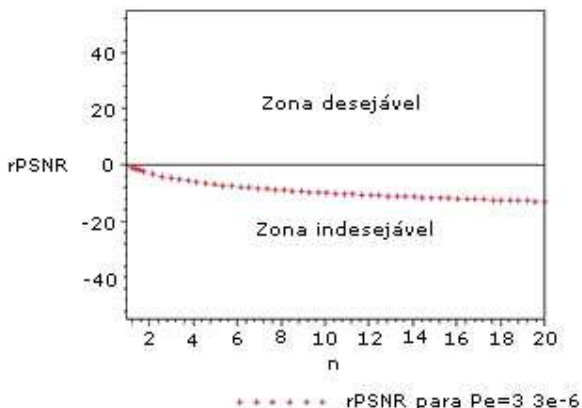
Em outro caso, o traçado do rPSNR para valores de recomendação WT-126, considerando uma perda de pacote  $n \theta = 1$ , tem uma probabilidade de erro de:

$$P_{e,r} = 3,3 * 10^{-6}$$

Utilizando a distribuição de Gilbert [23] para perda de 1 pacote, adotamos a seguinte expressão para o cálculo:

$$P_n = (1 - q)^{n-1} q$$

Variando a quantidade de perda de pacotes obtemos o gráfico na figura 9.



**Figura 9: Traçado de QoE para variação de perda de pacotes**

O eixo horizontal representa a perda de pacotes na rede IPTV, já o eixo vertical representa o rPSNR em [db]. A região acima a linha horizontal a partir de zero é uma região onde o QoE é adequado ao usuário. Abaixo dessa linha o serviço não tem garantias de QoE adequado ao usuário final do IPTV.

Observa-se, nesse exemplo, que com a perda de 1 pacote, conforme a recomendação WT-126, garante-se o valor mínimo para um QoE aceitável ao usuário IPTV.

Por último, traçamos um rPSNR para uma perda consecutiva de 2 pacotes, valores da recomendação WT-126, utilizando perda de pacote  $n \theta = 1$ , e probabilidade de erro de:

$$P_e = 3,3 \cdot 10^{-6}$$

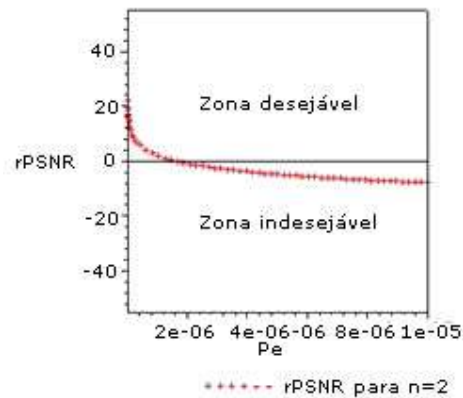
Utilizando a distribuição de Gilbert [23] para esse exemplo, adotamos a seguinte expressão para o cálculo:

$$P_n = (1 - q)^{n-1} q$$

Utilizou-se ainda a mesma taxa de erro medida anteriormente:

$$P_e = 10^{-7} \rightarrow 10^{-5}$$

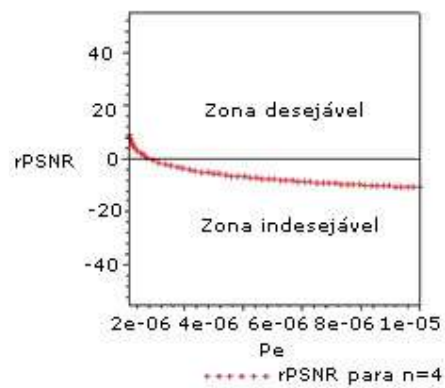
Obtém-se, então, o traçado do QoE mostrado na figura 10 abaixo.



**Figura 10: Traçado de QoE perda consecutiva de 2 pacotes**

Nesse caso com uma perda consecutiva de 2 pacotes, para garantir o QoE aceitável temos que minimizar a taxa de erro para  $2 \cdot 10^{-6}$  no percurso de uma rede IPTV.

Já para uma perda consecutiva de 4 pacotes, a taxa de erro deve se ainda menor, conforme gráfico da figura 11 abaixo:



**Figura 11: Traçado de QoE perda consecutiva de 4 pacotes**

Neste tutorial foram analisadas as qualidades de vídeo em função das características simples da perda de pacotes e a taxa de erro, coletadas em uma rede IPTV.

Os resultados obtidos, foram aplicados no modelo rPSNR traduzindo as perdas em qualidade de vídeo, o QoE.

Com tais resultados será possível planejar a rede IPTV em nível de política de prioridade de descarte, possibilitando um ajuste dos mecanismos de QoS a ser implementados.

Por fim este trabalho mostra o modelo para as coletas de estatísticas da rede IPTV, possibilitando a aferição do QoE.

### Referências

[1] DSL Forum, “*Triple-play Services Quality of Experience Requirements and Mechanism*”, Working text WT-126 version 0.5, February 21, 2006.

[2] Joseph Weber, “*PTV Crash Course*”, MacGraw-Hill, June 2006.

[3] Gagan Choudhury e Jennifer Yastesy, “*Case Study: Resilient Backbone Design for IPTV Services*”, Paper, December 2004.

[4] White Paper, “*Assuring Quality of Experience for IPTV*”, Prepared by Heavy Reading, July 2006.  
<http://www.heavyreading.com>

[5] White Paper, “*RealTime Monitoring of Video Quality in IP Networks*”, Prepared by Shu Tao University of Pennsylvania, Philadelphia, PA 19104, June 2006.

[6] Lawrence Harte e Avi Ofrane, “*Introduction To IPTV Billing*”, Althos, June 2006.

[7] DSL Forum 2006, “*IPTV Network distribution*”, Intelllon.

[8] White Paper issued by Siemens Communications and Juniper Networks, “*High Quality and resilient ITV Multicast Architecture IPTV*”, June 2005.

[9] White Paper, “*IPTV Architecture Overview*”, Sven Ooghe, Working Group, April 2006.

[10] Broadband Services Forum, <http://www.broadbandservicesforum.org>.

[11] Documentação Interna, “*Sistema de Distribuição de Conteúdo*”, SDC/IPTV, SEP-300724/2005-0100002135, Brasiltelecom.

[12] White Paper, “*Validating IPTV service quality under realistic triple play network conditions*”, prepared by Tara Van Unen, June 2006.

[13] Recommendation H.610, ITU-T, “*Distribution of xDSL at client*”, 07/2003.

[14] White Paper, “*Validating IPTV service quality under treple play network*”, prepared by Tara Van Unen, june 2005.

[15] Srinivas Vegesna, “*IP Quality of Service*”, Published by Cisco Press 2001.

[16] QoS Protocols & Architectures, white paper

<http://www.qosforum.com>

[17] Kershenbaum, Aaron, “*Telecommunications Network Design Algorithms*”, McGraw-Hill Inc, New York,1993.

[18] “*Telchemy Video Quality Metrics*”, TVQM, IPTV Troubleshooter.com

<http://www.iptvtroubleshooter.com>

[19] “VQEG Final report on the validation of objective models of video quality assessment”, august 2003.

<http://www.vqeg.org/>

[20] A.R Reiman e V.Vaishampayan, “*Quality monitoring for compressed video subject to packet loss*”, In Proc. Of IEEE ICME, july 2003.

[21] Artur A.Webstre, Colen T. Jones, Margaret H. Pinson, “*An Objective Video quality assessment system based on human perception*”, Institute for Telecommunication and Information Administration, 325 Broadway, Boulder, CO80303.

[22] Agilent Technologies, “IPTV QoE Test Solution”

<http://www.agilent.com/comns>

[23] S.Tao e R.Guerin, “On-line estimation of Internet path performance: An application perspective”, In Proc of IEEE INFOCOM, march 2004.

### 1. O que é IPTV?

- Consiste na transmissão de conteúdos de multimídia da mesma forma que a Web TV.
- Consiste na transmissão de conteúdos de multimídia, em redes IP dedicadas de um provedor qualquer.
- Consiste exclusivamente na transmissão de vídeo e áudio, em rede IP dedicadas.
- Consiste na transmissão de conteúdos de multimídia, transportados em redes IP, sem garantia de qualidade.

### 2. Quais dos parâmetros abaixo afetam com maior intensidade a qualidade do sinal de vídeo em uma rede IPTV?

- Perda de pacotes.
- Perda de voz.
- Erro de canal de sinalização.
- Perda de pacotes de voz.

### 3. O que é rPSNR?

- Representa a relação sinal ruído da imagem original pela imagem recebida no set-top-box.
- Representa a relação sinal ruído em função do erro quadrático médio.
- Representa a relação relativa do sinal ruído de pico entre a imagem recebida e a imagem original.
- Representa a relação sinal ruído em função da amplitude do sinal .