

# Predição QoE Baseado em QoS Utilizando Neuro-Fuzzy em Transmissão de Vídeo em Redes Wi-Fi

Hugo A. O. Cruz, Allan S. Braga, Jasmine P. L. de Araújo, Simone G. C. Fraiha e Gervásio P. S. Cavalcante

**Resumo** — Neste trabalho, estuda-se uma metodologia que auxilia o planejamento de sistemas de comunicações móvel *indoor*. O procedimento metodológico adotado é baseado na abordagem *cross-layer*, que demonstra o impacto da camada de rede em relação à camada de aplicação, com o objetivo de analisar o comportamento de métricas de QoS (Qualidade de Serviço) e QoE (Qualidade de Experiência) em transmissões de vídeo em uma rede 802.11g em ambientes *indoor*, possibilitando a predição de métricas de QoE, como a PSNR (*Peak signal-to-noise ratio*), SSIM (*structural similarity*) e VQM (*Video Quality Metric*) a partir dos parâmetros de entrada, isto é, métricas de QoS (*jitter*, perda de pacotes, atraso), por meio da aplicação de uma técnica de inteligência computacional chamada *Neuro-Fuzzy*. O método de predição obteve uma boa precisão, com taxa erro RMS aceitáveis.

**Palavras-chave:** *Predição. Métricas de QoE e QoS. Vídeo. 802.11g. Neuro-Fuzzy.*

**Abstract** — In this paper a methodology is studied aiming to aid the planning indoor mobile communication systems. The methodology is based on cross-layer approach, which demonstrates the impact of the network layer on the application layer, in order to analyze the QoS metrics behavior (Quality of Service) and QoE (Quality of Experience) in video broadcasting in a 802.11g network in indoor environments, enabling the prediction of QoE metrics, such as PSNR (Peak signal-to-noise ratio), SSIM (structural similarity) and VQM (video quality metric) from parameters entry, QoS metrics (jitter, packet loss, delay), applying a computational intelligence technique called *Neuro-Fuzzy*. The prediction method obtained good accuracy with acceptable RMS error rate.

**Keywords:** *Prediction, Metrics QoE and QoS, Video, 802.11g. Neuro-Fuzzy.*

## I. INTRODUÇÃO

Com o aumento das aplicações que envolvem tráfego de conteúdo multimídia em redes sem fio, sobretudo redes Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) [1], tornam-se cada vez mais necessários estudos que considerem o comportamento de métricas de avaliação da qualidade de vídeo. Isto significa que além de se investigar como o sinal se propaga, é necessário estudar o comportamento de métricas de QoS (qualidade de serviços) oferecidos pela rede e, conseqüentemente, a QoE (qualidade de serviço) fornecida ao usuário.

Assim, este trabalho estuda uma metodologia que auxilia o planejamento de sistemas de comunicações móvel *indoor*. Para tanto, é feita a análise do sinal, através de uma abordagem empírica estatística, que leva em consideração alguns fatores que influenciam na propagação do sinal *indoor*: arquitetura dos prédios; disposição de móveis no interior dos compartimentos; números de paredes e pisos de diversos materiais, além do espalhamento das ondas de rádio.

Dessa forma, a proposta deste artigo é utilizar uma técnica de inteligência computacional chamada *Neuro-Fuzzy*, a fim de prever métricas de QoE (PSNR, SSIM e VQM) em transmissões de vídeo em redes sem fio do padrão 802.11g, tendo como parâmetros de entrada métricas de QoS (*jitter*, perda de pacotes, atraso).

É importante destacar que a correlação das métricas de QoE e QoS em rede computadores já vem sendo abordada por outros trabalhos como em [2]. Já em [3-4] foi realizado um estudo dos impactos causados na qualidade de vídeos transmitidos através de uma rede sem fio (Wi-Fi) analisando as métricas QoE e QoS.

Então, este artigo está organizado em cinco seções: II é referente ao ambiente de medições onde foram coletados os dados; III é descrita a metodologia (aquisição de dados, tratamentos dos dados e o desenvolvimento de um ANFIS - *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*); IV é a seção dos resultados ligados à capacidade de predição do sistema desenvolvido. Por fim, a seção V reúne as conclusões.

## II. CENÁRIO DE MEDIÇÕES

As aferições foram realizadas nas dependências da UFPA (Universidade Federal do Pará), no Campus de Belém, mais precisamente no bloco B de salas de aulas no segundo andar do prédio, que tem a dimensão de 26x11 metros, constituído de quatro salas com 6x8 metros cada, que continham em seu interior mobília (cadeiras e mesas) feitas de materiais plástico e metal, como mostrado na Figura 1. O prédio de sala de aulas é construído por paredes de tijolos e concreto com esquadrias de alumínio e vidro um lado e uma parede de madeira que dá para um corredor.

O cenário escolhido faz parte de um conjunto de blocos similares, de modo que o estudo de um andar pode ser replicado para os demais, possibilitando, assim, fazer um estudo mais geral a respeito da propagação do sinal da rede sem fio nesses prédios.

Hugo Alexandre Oliveira da Cruz, Allan dos Santos Braga, Jasmine Priscyla Leite de Araújo, Simone da Graça de Castro Fraiha, Gervásio Protásio dos Santos Cavalcante, Faculdade de Engenharia da Computação e Telecomunicações, Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil, E-mails: hugo.oliveira@itec.ufpa.br, allan.braga@itec.ufpa.br, jasmine@ufpa.br, fraiha@ufpa.br, gervasio@ufpa.br.



Fig. 1. Cenário onde foi realizada a campanha de medições. Fonte: [5]

### III. METODOLOGIA

Nesta seção, apresenta-se a metodologia aplicada na execução da pesquisa. Cada etapa do processo será descrita no decorrer desta seção. A Figura 2 mostra o fluxograma da metodologia.

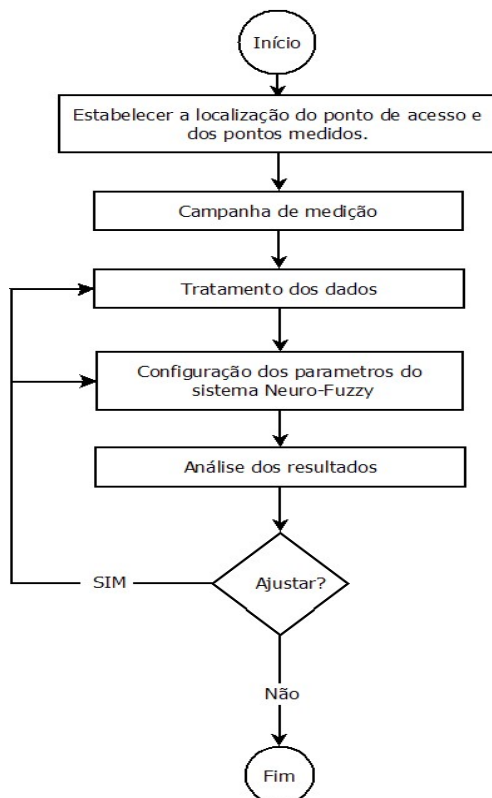


Fig. 2. Fluxograma da metodologia aplicada.

#### A. Localização do ponto de acesso e dos pontos de medições.

Nesta etapa da metodologia, é feito o levantamento das informações sobre o ambiente a ser estudado, estabelecendo as

localizações dos pontos a serem medidos e a localização do ponto de acesso [6]. É necessário também ter conhecimento sobre o tipo de material e da quantidade de pisos e paredes presentes no ambiente.

A Figura 3 mostra um esquema do cenário onde foram realizadas as medições. Estão marcadas as localizações dos 80 pontos divididos em 10 radiais, distribuídos de forma simétrica e logarítmica pelo cenário, assim como a localização do ponto de acesso.

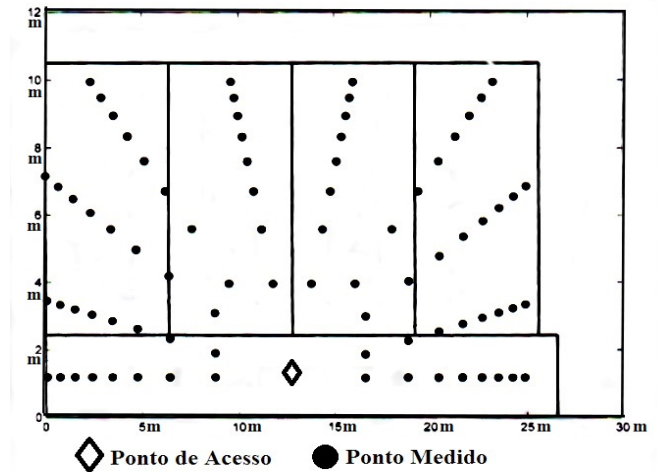


Fig. 3. Esquema do cenário de medições.

#### B. Campanha de Medições

A fase de campanha de medições objetiva a obtenção de dados que descrevam como ocorre a transmissão de um vídeo em uma rede de computadores *wireless*, a fim de observar como se comporta o sinal irradiado e a degradação que sofrem os vídeos transmitidos no cenário específico.

O vídeo escolhido tem duração de 20 segundos e apresenta intensa movimentação nas imagens por quase toda área do quadro [5]. Amostras de *frames* do vídeo estão presentes na Figura 4. Outras configurações são dadas abaixo:



Fig. 4. Quadros do vídeo utilizado. Fonte: [5]

- Codificação utilizada: H264 - MPEG-4 AVC
- Resolução: 1920x1080
- Taxa de quadros: 25
- Formato decodificado: Planar 4:2:0 YUV

Ressalta-se que o processo de medição é constituído da transmissão do vídeo descrito anteriormente em uma rede WLAN, sendo coletados dados a respeito de como ocorreu a transmissão. Em cada ponto medido, foram realizadas três

transmissões a fim de obter-se a média para conseguir uma maior precisão nos dados coletados.

Foram utilizados os seguintes equipamentos: um ponto de acesso e quatro notebooks, conforme a Tabela I:

Tabela I. Equipamentos Utilizados

<b>Um - Roteador SIROCO NETWORKS Wireless N broadband Router</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo Evo-W301AR</li> <li>• Nome (SSID) "LCT_TESTE"</li> <li>• Canal 3 - 2422 MHz</li> <li>• Modo 802.11g</li> <li>• Largura do canal 20 MHz</li> <li>• Taxa de transmissão Máxima 54 Mbps</li> <li>• Potência de transmissão de Máxima 20 dBm</li> </ul>
<b>Quatro - Notebooks</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatíveis com o padrão 802.11g</li> <li>• Sistema Operacional Windows 7</li> </ul>

Desses quatro notebooks, dois foram utilizados para gerar tráfego concorrente (Tx-Iperf e Rx-Iperf) e os outros dois para transmissão e recepção do vídeo (Tx-vídeo e Rx-vídeo).

Com o intuito de simular uma rede com outros serviços concorrentes, isto é, em que há competição pela largura de banda disponível, foi criada uma transmissão constante de dados utilizando o protocolo UDP de 4 Mbps [5] através da aplicação Iperf na rede [7]. Sendo assim, os dois notebooks Tx-Iperf e Rx-Iperf foram utilizados para transmitir e receber a aplicação Iperf na rede para concorrer com a transmissão do vídeo.

A ferramenta EvalVid [8] foi utilizada nas transmissões do vídeo na rede. Nestas medições, foram coletados os seguintes parâmetros durante o processo: três arquivos referentes à transmissão, um no Rx-vídeo (rd.txt) e dois no Tx-vídeo (st.txt e sd.txt), além do nível de potência recebida (dBm), coletado com o auxílio da ferramenta WirelessMon [9] instalada no dispositivo Rx-vídeo.

C. Tratamentos Dos Dados

Após a obtenção dos dados, realiza-se o tratamento para extrair conhecimentos e, assim, transformá-los em informação. Para tanto, é imprescindível organizar e manipular esses dados de forma coerente, tendo em vista colocar em ordem ou simplesmente converter um arquivo para os diferentes tipos de formatos digitais, de forma que o conteúdo dos arquivos se mantenha consistente e fiel aos dados originais, podendo assim ser utilizados.

A partir da obtenção dos dados brutos das transmissões feitas pelo EvalVid, foi necessário tratar esses dados para extrair as métricas da rede como atraso, jitter e perda de pacotes.

Para se obter as métricas de PSNR e SSIM, é preciso reconstruir o vídeo transmitido utilizando o programa etmp4 (Evaluate Traces of MP4-file Transmission), que é um dos softwares do conjunto de ferramentas do EvalVid. Este programa é usado na reconstrução do vídeo recebido para o formato MPEG4 (.mp4), para, depois, converter os arquivos

reconstruídos do formato MP4 para o formato YUV através do aplicativo Ffmpeg. Então, é possível comparar o arquivo original (sem degradação) e o arquivo reconstruído (com degradação), ambos no formato YUV, realizando os cálculos da PSNR e do SSIM utilizando o EvalVid. Para a obtenção da métrica VQM, foi utilizado o software MSU [10].

Além dos arquivos de logs utilizados na reconstrução do vídeo, há outros dois arquivos log relevantes gerados pelo EvalVid, que foram tratados no MATLAB© para extração de suas informações: o arquivo delay.txt, que contém informações como número de frame, flags perdidos, atraso fim a fim e jitter; e o outro arquivo gerado é o loss.txt, que possui as perdas dos pacotes e dos frames dos vídeos transmitido.

Após o tratamento destes dados, foi possível obter informações suficientes para a inserção em um sistema Neuro-Fuzzy, capaz de prever métricas QoE, tendo como parâmetros de entrada métricas de QoS.

D. Descrição da Configuração do Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

ANFIS são modelos híbridos que combinam redes neurais e lógica Fuzzy para incorporar em um só sistema o conhecimento explícito de especialistas e o conhecimento implícito inerente a um conjunto de dados.

A ideia básica de um ANFIS é a construção de um sistema de Inferência Fuzzy (FIS) em uma estrutura paralela, distribuída de tal forma que os algoritmos de aprendizado das redes neurais possam ser aproveitados nestes sistemas híbridos para ajustar os parâmetros do sistema de Inferência Fuzzy [11].

O ANFIS foi desenvolvido no software MATLAB© a partir da função anfisedit, composto de três entradas com parâmetros de QoS (atraso de pacote, jitter, perda de pacote), relacionadas para que gerem uma saída, representando uma métrica de QoE (PSNR, VQM, SSIM), como é mostrado na Figura 5. Logo, foram gerados três sistemas ANFIS, ou seja, um para cada métrica de QoE citadas anteriormente.

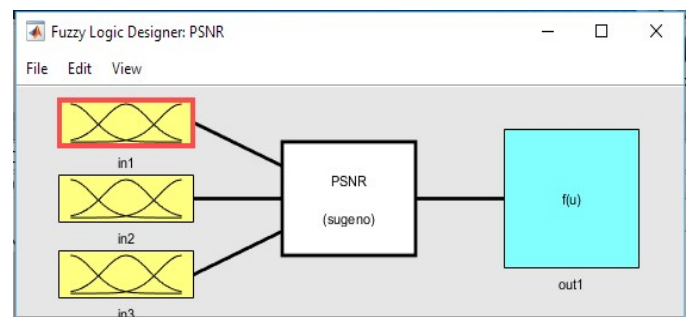


Fig. 5. Características do Sistema de Inferência Fuzzy.

Para a configuração do ANFIS, o método de treinamento escolhido para a rede neural foi o modelo híbrido, ou seja, uma combinação de mínimos quadrados (MQ) e backpropagation com gradiente descendente (GD), o que torna a etapa de treinamento mais eficiente, convergindo mais rapidamente os valores dos pesos de treinamento. Logo em seguida, foi definido o critério de parada para o treinamento, que são dois, o erro desejado e o número de épocas (iterações).

Outros itens importantes a serem determinados são a função de pertinência e o tipo de agrupamento, os quais foram definidos respectivamente como gaussiana e *subtractive cluster*, sendo que para o tipo de partição do espaço de entrada via agrupamento (*subtractive cluster*) especificou-se o raio de influência da função gaussiana (valor = 1,0), fator multiplicador (1,5), raio de aceitação no agrupamento (valor = 0,75) e raio de rejeição no agrupamento (0,25).

Todos os sistemas ANFIS tinham a mesma configuração, como podemos ver na Tabela II.

Tabela II. Configuração do ANFIS

Características Gerais	
•	In1 = Atraso; In2 = Jitter; In3 = Perda de Pacote;
•	out1 = Métrica de QoE;
•	Conjunto de 50 pontos aleatórios usados para treinamento;
•	Conjunto de 30 pontos aleatórios usados para teste;
•	Sistema de Inferência Fuzzy, gerado baseado em sub Clustering;
•	Método de otimização do treinamento da RNA utilizado foi o Hybrid;
•	Iterações limitadas a 100 épocas;
•	Modelo Fuzzy: Sugeno;
•	Formato das funções de pertinência: Gaussiano;
•	Método de defuzzificação: média ponderada.

Por fim, é indispensável avaliar o resultado obtido para verificar se é satisfatório à solução do problema a ser tratado, como pode ser visto na secção IV. Caso não tenha chegado a um resultado satisfatório, podem ser feitos ajustes na etapa de tratamentos dos dados ou até mesmo na configuração do ANFIS.

#### IV. RESULTADOS

A partir dos dados obtidos na saída do sistema de Inferência Fuzzy, foi possível comparar com o conjunto de pontos de teste, o qual o sistema não teve acesso para o aprendizado, a fim de aferir a capacidade de predição deste. Dessa maneira, foi possível comparar os valores dos dados referentes à QoE, que foram obtidos através das medições (valores reais) e submetidos a fase de tratamentos de dados, com os valores gerados pelo sistema de Inferência Fuzzy (valores simulados), tendo como parâmetro o cálculo do erro RMS (raiz do erro médio quadrático).

##### A. PSNR

O sistema de inferência teve um bom desempenho de predição da métrica PSNR, com uma taxa de erro aceitável, pois os valores preditos (simulados) foram próximos e seguiram a tendência dos valores de PSNR medidos (real), como mostra a Figura 6. Devido à alta variabilidade da métrica PSNR, o erro RMS de 2,33 dB apresentado foi o maior das três métricas analisadas.

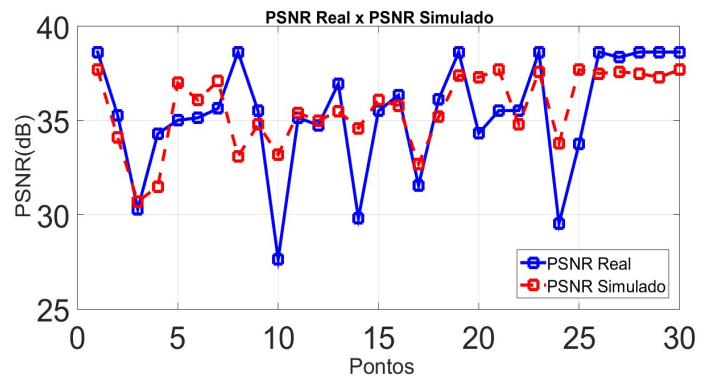


Fig. 6. Gráfico comparativo entre valores PSNR real e PSNR simulado.

Dados complementares referente a métrica PSNR, apresentado na Tabela III:

Tabela III. Medidas de Dispersão da PSNR

PSNR (dB)	Real	Simulado
Média	35,37	35,65
Desvio Padrão	3,04	2,00
Erro RMS entre real e simulado.	2,33	

##### B. SSIM

O sistema de Inferência Fuzzy teve um ótimo desempenho de predição em relação à métrica SSIM obtendo um erro RMS de 0,06. Esta métrica se mostrou previsível, devido ao fato de ter uma baixa variabilidade nos seus valores, como podemos ver na Figura 7. Apesar de demonstrar erro de predição, obtendo um valor de SSIM maior que 1, isso se deve ao número pequeno de amostras no conjunto de treinamento.

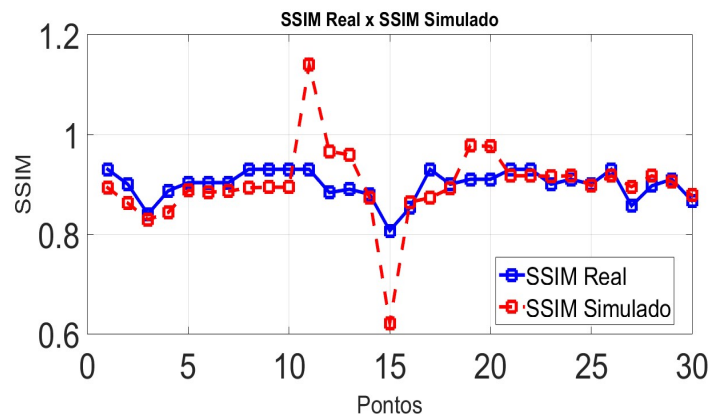


Fig. 7. Gráfico comparativo entre valores SSIM real e SSIM simulado.

Dados complementares referentes à métrica SSIM, apresentados na Tabela IV:

Tabela IV. Medidas de Dispersão do SSIM

SSIM	Real	Simulado
Média	0,89	0,89
Desvio Padrão	0,03	0,07
Erro RMS entre real e simulado.	0,06	

C. VQM

Em relação à métrica VQM, o sistema de inferência obteve bons resultados, evidenciados na Figura 8, levando em consideração o erro RMS de 0,58 entre os valores medidos (Real) e os preditos (simulados).

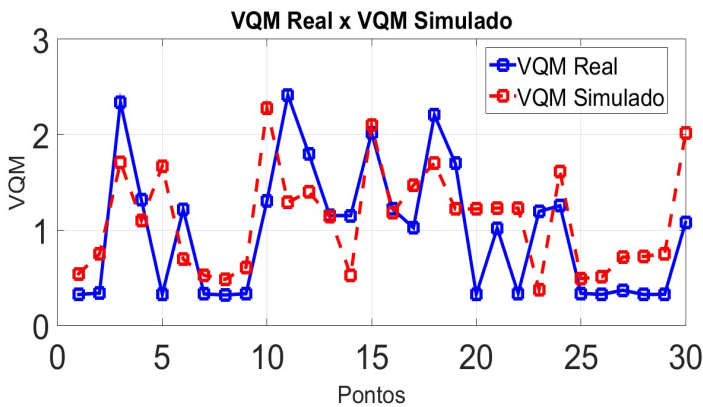


Fig. 8. Gráfico comparativo entre VQM real e VQM simulado.

Dados complementares referentes à métrica VQM, apresentados na Tabela III:

Tabela III. Medidas de Dispersão do VQM

VQM	Real	Simulado
Média	0,99	1,10
Desvio Padrão	0,68	0,53
Erro RMS entre real e simulado.	0,58	

V. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou uma metodologia com abordagem *cross-layer*, que estuda a relação entre camada de rede e a camada de aplicação, mostrando como a qualidade de um vídeo transmitido em uma rede 802.11g, em um ambiente indoor, é afetada conforme varia a qualidade do canal de transmissão.

Para a validação dos resultados do ANFIS, foram comparados os dados de saída desse sistema (dados preditos) com os dados obtidos nas campanhas de medições (dados medidos). Quanto à avaliação do ANFIS, foi escolhido como parâmetro a raiz do erro médio quadrático (erro RMS) entre os dados simulados e os reais.

Os resultados obtidos indicaram que a métrica PSNR teve um erro RMS entre os dados reais e os simulados de 2,33 dB. Já a métrica SSIM teve um erro RMS entre os dados reais e os simulados de 0,06. Por fim, a métrica VQM teve um erro RMS entre os dados reais e os simulados de 0,58.

Desse modo, através desses resultados fornecidos pelo ANFIS, é possível utilizar essa metodologia para auxiliar os futuros planejamentos de redes de computadores, levando em consideração não somente a qualidade de serviço prestada ao usuário, mas também a qualidade de experiência fornecida ao usuário em uma rede sem fio.

Para trabalhos futuros, pretende-se aperfeiçoar a capacidade de predição do ANFIS, com o objetivo de prever as métricas QoE para diferentes cenários *indoor*. Para isso, é necessário realizar medições em diferentes cenários *indoors* visando o treinamento com mais dados heterogêneos.

Nessa perspectiva, também seria interessante expandir as medições para os outros padrões de Wi-Fi, tais como o 802.11n e o 802.11ac, além de utilizar vídeos com uma resolução maior como: 2K e 4k.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à UFPA, à CAPES, ao CNPq e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - Comunicação Sem Fio (INCT-CSF) pelo apoio prestado para a pesquisa descrita neste artigo.

REFERÊNCIAS

- [1] Relatório Measuring the Information Society Report do ITU, <http://www.itu.int/en/ITU/Statistics/Documents/publications/misr2015/MISR2015-w5.pdf>, 2015.
- [2] J. Kim , H. Lee , M. Lee , H. Lee , W. Lyu and G. Choi, "The QoE evaluation method through the QoS-QoE correlation model", Proc. 4th Int. Conf. Networked Comput. Adv. Inf. Manage. (NCM), vol. 2, pp. 719-725, 2008
- [3] Gomes, R. L., Jailton, J., Moreira, W., Abelem, A. J. 2009. QoE and QoS in Wireless Mesh Networks. In: IEEE Latin-American Conference on Communications, LATINCOM'09.
- [4] P. Orosz, T. Skopko, Z. Nagy, P. Varga and L. Gyimóthi, "A Case Study on Correlating Video QoS and QoE", IEEE NOMS/QCMAN, 2014
- [5] BRAGA, Allan dos Santos. Planejamento De Redes De Comunicação Sem Fio Para Ambientes Indoor Considerando Aplicações Multimídia: Abordagem Híbrida - Simulação E Medição. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.
- [6] Fraiha, S. G. C., "Localização Ótima de Pontos de Acesso em Ambientes Indoor em Projetos de Sistemas Wireless" Tese de Doutorado, PPGEE-UFPA, 2009.
- [7] iPerf - The network bandwidth measurement tool, disponível em <https://iperf.fr/>, acessado em 15 de fevereiro de 2016.
- [8] EvalVid - Video Evaluation tool, disponível em <http://www2.tkn.tu-berlin.de/research/EvalVid/EvalVid/docEvalVid.html>, acessado em 15 de fevereiro de 2016.
- [9] Wirelessmon – Monitor, verify and locate WiFi network and signal levels, disponível em <http://www.wirelessmon.com/>, acessado em 16 de fevereiro de 2016.
- [10] MSU Graphics & Media Lab (Video Group). [http://compression.ru/video/quality\\_measure/video\\_measurement\\_tool\\_en.html](http://compression.ru/video/quality_measure/video_measurement_tool_en.html), acessado em 18 de fevereiro de 2016.
- [11] Sanchez, Eleazar Cristian Mejia. Controle Por Aprendizagem Acelerado E Neuro-Fuzzy De Sistemas Servo – Hidráulicos De Alta Frequência. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2009.