

# Avaliando o protocolo PMIPv6 quanto ao Suporte à Qualidade de Experiência para Tráfego de Vídeo em um Testbed 802.11

Edson Adriano M. Avelar<sup>1</sup>, Lorena Lima Marques<sup>1</sup>, Thiago Bemerguy<sup>2</sup>, Kelvin Lopes Dias<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Pará

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro

<sup>3</sup> Centro de Informática – Universidade Federal de Pernambuco

{edson.avelar,eng\_lorena}@yahoo.com.br, thiagobemerguy@gmail.com, kld@cin.ufpe.br

**Abstract-** *The efficient mobility management is a key factor to the success of mobile multimedia applications. In particular, the IETF has proposed a new protocol in which mobility management is not delegated to the terminal, as done by the Mobile IP, but to the entities belonging to the network provider. This novel protocol is named PMIPv6 (Proxy Mobile IPv6). This paper describes and evaluates an implementation of PMIPv6 developed by a Brazilian research group. The performance study is carried out through an IEEE 802.11 testbed considering QoS and QoE metrics to evaluate the protocol support for multimedia traffic. Furthermore, we propose an optimization based on the received signal strength by the terminal in order to anticipate the handoff mechanism.*

**Resumo-** *O gerenciamento de mobilidade eficiente é um aspecto fundamental para o sucesso de aplicações móveis multimídia. Em particular, o IETF propôs um novo protocolo onde a gerência de mobilidade não é delegada ao terminal, como ocorre com o IP Móvel, mas sim, a entidades pertencentes à rede do provedor. Este protocolo é denominado PMIPv6 (Proxy Mobile IPv6). Este artigo descreve e avalia uma implementação do PMIPv6 desenvolvida por um grupo de pesquisa nacional. A avaliação é realizada através de um testbed IEEE 802.11 considerando métricas de QoS e QoE para avaliar o suporte do protocolo para tráfego multimídia. Além disso, propomos uma otimização baseada no nível de sinal do terminal para antecipar o handoff.*

## I. INTRODUÇÃO

Diversas propostas para viabilizar o *handover* ou *handoff* transparente (*seamless*), no qual a aplicação e o usuário não percebem a transferência entre pontos de acesso (APs) ou estações rádio-base (BS), foram desenvolvidas considerando diferentes camadas da pilha TCP/IP. Na camada de rede, a maioria das propostas baseia-se em mudanças e otimizações no protocolo IP,

principalmente, devido a sua flexibilidade de utilização conjuntamente a diferentes tecnologias sem fio.

Um dos grandes entraves à penetração de serviços móveis em redes IP da próxima geração decorre das constantes otimizações e alterações na pilha de protocolos que devem estar presentes nos dispositivos dos usuários que desejam usufruir da mobilidade entre diferentes pontos de acesso ou coberturas sem fio. Entretanto, recentemente, um protocolo de gerenciamento de mobilidade baseado na rede, denominado de PMIPv6 (Proxy Mobile IPv6), padronizado pelo grupo de trabalho NETLMM do IETF (RFC 5213) começa a atrair considerável atenção das comunidades de telecomunicações e Internet. Diferentemente dos protocolos existentes para o gerenciamento de mobilidade IP, tais como o IP Móvel versão 6 (MIPv6), que são abordagens baseadas no host, o PMIPv6 possui características importantes que possibilitarão o acelerar do emprego efetivo do gerenciamento de mobilidade IP.

Com o intuito de resolver as limitações das tradicionais técnicas de controle de qualidade e desempenho da rede, no que diz respeito à percepção humana e aspectos subjetivos relacionados a conteúdos multimídia, uma nova abordagem está sendo utilizada nas avaliações de novas arquiteturas. Os novos estudos de desempenho em sistemas multimídia têm como base as métricas de Quality of Experience (QoE). Operações referentes ao controle de recursos da rede e, inclusive, mobilidade baseadas em métricas de QoE podem ser usadas para configurar e medir elementos de rede de forma a otimizar os recursos e garantir uma melhor percepção do conteúdo por parte dos usuários finais. Vários pesquisadores e organizações, como por exemplo, International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector (ITU-T), Video Quality Experts Group (VQEG) estão estudando formas de aplicar QoE em diferentes cenários fixos e móveis, porém isto ainda é um desafio.

Nesse contexto, este artigo apresenta e avalia uma implementação do protocolo PMIPv6 desenvolvida na plataforma GNU/Linux para um testbed IEEE 802.11 (Wi-Fi) com o intuito de avaliação de desempenho para aplicações de vídeo. Depois de implementado, foram feitas avaliações de serviços de vídeos em cenários experimentais onde o foco era analisar a qualidade do vídeo na troca do ponto de acesso, isto é, durante o procedimento de *handoff*. Além disso, propomos uma otimização onde o MAG detecta o nível de sinal do terminal para antecipar o *handoff*.

Este artigo está organizado da seguinte forma: A Seção II apresenta os trabalhos relacionados, a Seção III introduz os conceitos de QoE. A Seção IV apresenta o protocolo PMIPv6. As principais características da implementação do PMIPv6 no Linux são apresentadas na Seção V. A Seção VI apresenta a proposta para otimização do *handoff* baseada no nível do sinal. A Seção VII mostra a avaliação da proposta e os resultados obtidos nos testes. A conclusão e os trabalhos futuros são descritos na Seção VIII, que finaliza o artigo.

## II. PROXY MOBILE IPV6

A evolução das tecnologias de rede sem fio popularizou a utilização de dispositivos móveis conectados à Internet. Logo surgiram diversos protocolos propondo meios de manter a conexão de um dispositivo enquanto ele muda seu ponto de acesso à rede, entre eles o IPv6 Móvel [12] ou Mobile IPv6 (MIPv6) desenvolvido pela IETF (Internet Engineering Task Force). Este protocolo é uma extensão do IPv6 para fornecer gerência de mobilidade e definiu a base dos protocolos que surgiram posteriormente, entre eles o Proxy MIPv6.

Porém o overhead ou sobrecarga criado pelo MIPv6 nos dispositivos portáteis parece ter dificultado o processo de implantação deste protocolo e contribuído para que ele não tivesse uma boa aceitação no mercado. Espera-se que o PMIPv6 tenha uma melhor aceitação principalmente por não necessitar de modificações nos dispositivos móveis.

Assim como Soliman et al. [13] e Koodli [14] o PMIPv6 utiliza-se da base introduzida pelo MIPv6. O PMIPv6 herda algumas das características trazidas pelo precursor, como o cabeçalho de mobilidade, o formato de algumas mensagens e estruturas de dados. A principal diferença ocorre pela retirada da função de gerenciamento de mobilidade do MN (*Mobile Node*).

O serviço de mobilidade do PMIPv6 é disponibilizado no contexto de um domínio administrativo denominado domínio PMIPv6, ilustrado na Figura 1. Ele é composto por dois tipos de dispositivos com funções específicas relacionadas à mobilidade neste domínio, o Local

Mobility Anchor (LMA) e o Mobility Access Gateway (MAG).

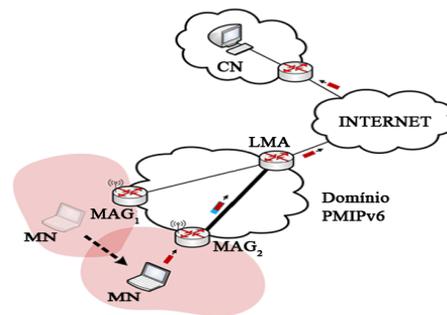


Figura 1 Visão geral do PMIPv6

O MAG tem a função de detectar a chegada de um MN e realizar os procedimentos necessários para oferecer o serviço de mobilidade a ele. Por outro lado, o LMA tem uma função similar a do HA (*Home Agent*) no MIPv6, controlando a disponibilidade do serviço de mobilidade. Pelo LMA passam todos os pacotes da comunicação entre o MN e dispositivos externos ao domínio.

Quando estiver no domínio do PMIPv6, o MN manterá sempre o mesmo endereço IPv6, ainda que mude seu ponto de acesso, sem se preocupar com qualquer sinalização de mobilidade, que diferente do MIPv6, é realizada pelo núcleo da rede. A Figura 2 ilustra a operação do PMIPv6.

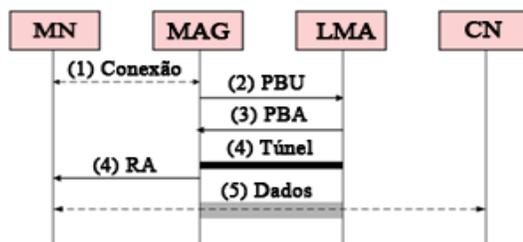


Figura 2 Fluxo de mensagens do PMIPv6.

Inicialmente, ao detectar a conexão de um MN, o MAG verifica se este é autorizado ao serviço de mobilidade. Caso positivo, o MAG registra o MN com o LMA. A partir desse ponto, o dispositivo móvel pode realizar *handoff* para qualquer outro MAG no domínio e manterá seu endereço IPv6 e suas conexões de camadas superiores. A seguir, os passos que o usuário móvel realiza para entrar no domínio PMIP, segundo a Figura 2.

**Passo 1:** Inicialmente, o MN solicita conexão ao MAG para ingressar no domínio PMIP. O MAG detecta sua presença por sinais da camada de enlace que carregam o identificador do MN. O MAG utilizará este identificador para verificar no Perfil de Política do MN ou *MN Policy Profile* (MNPP) se o serviço de mobilidade está disponível e autorizado para o MN.

**Passo 2:** Em caso negativo, o MAG não envia nenhuma mensagem para o MN e ignora sua conexão. Em caso positivo, o MAG envia uma mensagem *Proxy Binding Update* (PBU) ao LMA solicitando o serviço de mobilidade ao MN.

**Passo 3:** O LMA registra o MN e envia um *Proxy Binding Acknowledgement* (PBA) ao MAG incluindo um ou mais prefixos de rede a serem utilizados pelo MN para configurar seu endereço. Então, o LMA configura um túnel para o MAG e adiciona uma rota para o prefixo dado ao MN.

**Passo 4:** O MAG, por sua vez, envia para o MN um RA (*Route Advertisement*) com o prefixo recebido no PBA

**Passo 5:** O MN configura um endereço com as informações obtidas na mensagem RA recebida do MAG e pode começar a se comunicar com um CN (*Correspondent Node*).

Caso o MN realize *handoff*, dentro do domínio PMIPv6, um novo MAG detectará a presença do MN e enviará um PBU ao LMA. O novo MAG identificará que se trata de um *handoff*, pois o endereço de origem deste PBU é diferente do endereço de origem do antigo.

A Tabela 2 mostra uma breve comparação entre os protocolos MIPv6 e PMIPv6, além dos benefícios ilustrados nesta Figura, o Proxy MIPv6 consegue reduzir significativamente a sobrecarga de mensagens em comparação com seu precursor.

**Tabela 1 Comparação entre MIPv6 e PMIPv6.**

Categoria	MIPv6	PMIPv6
Mobilidade	Baseada no MN	Baseada na rede
Escopo de mobilidade	Mobilidade Global	Mobilidade Localizada
Modificações no MN	SIM	NÃO
Tunelamento (Ipv4)	Utilizado	Não utilizado
Número extra de mensagens	2 para tunelamento 8 para otimização de rotas	nenhuma

Enquanto o MIPv6 necessita de 2 mensagens de sinalização, após o *handoff*, para reiniciar a comunicação com um CN no modo de tunelamento bidirecional e mais 8 para o modo otimização de rota, o PMIPv6 necessita apenas de 2 mensagens.

Como o PMIP não utiliza o MN no processo de *handoff*, este protocolo diminui consideravelmente a sobrecarga de mensagens trocadas pelo MN e o roteador de acesso (MAG no PMIP ou HA no MIP). Isto é muito

importante, pois, normalmente, o MN é constituído de tecnologia sem fio com baixa taxa de transmissão e recursos limitados.

### III. TRABALHOS RELACIONADOS

Esta Seção apresenta alguns trabalhos relacionados que avaliam o *handoff* no PMIPv6 utilizando simulação e modelos analíticos. Todos os trabalhos apresentam avaliações considerando apenas métricas tradicionais de QoS. Não é do conhecimento dos autores deste artigo que outros trabalhos tenham realizado avaliação e otimização baseadas em métricas de QoE similares às apresentadas neste trabalho.

Myung-Kyu et al. [1] propõe um esquema de gerenciamento de mobilidade usando o PMIPv6. Este esquema é baseado no redirecionamento de mensagens para minimizar a carga de sinalização provocada pelos constantes *handoffs* nos domínios PMIPv6. Ao invés da sinalização passar primeiro para o LMA, depois para o MAG, como no padrão PMIPv6, a proposta utiliza comunicação diretamente entre os MAGs através de túneis bidirecionais. É utilizado um modelo analítico de mobilidade baseado em cadeia de Markov para avaliar a proposta.

Moneeb Gohar et al. [2] explora um esquema de encaminhamento de pacotes para minimizar a latência e as perdas do processo de *handoff*. Na proposta, o encaminhamento de pacotes é feito criando-se túneis fim-a-fim e utilizando buffer para armazenar os pacotes durante o processo de roteamento. A análise do custo de sinalização é calculada a partir do número de mensagens trocadas no processo de *handoff*.

Hyunwoo Hwang et al. [3] aborda um esquema de *seamless handoff* baseado em *multicasting*. A idéia do artigo é bufferizar os pacotes na hora do *handoff* e transmiti-los para grupos *multicast*, onde dentre os participantes do grupo está o novo MAG, ou seja, o MAG para qual o MN está migrando. A avaliação da proposta foi realizada no *ns-2* (*Network Simulator version 2*).

Magagula et al. [4] propõe a utilização do padrão IEEE 802.21 (MIH) para prover *seamless handoff* no PMIPv6. A idéia é utilizar as sinalizações do MIH para auxiliar no processo de *handoff* do PMIPv6. A avaliação foi feito no *ns-2* a partir de um cenário simples (2 MAGs, 1 LMA e 1 CN) o MN vai do MAG1 para o MAG2.

Sooyeol Ryu et al. [5] apresenta o PFMIPv6 (*Fast Handoff for PMIPv6*) e propõe uma melhora deste protocolo nomeada de EPFMIPv6 (*Enhanced PFMIPv6*). O modo de operação do EPFMIPv6 faz com que os pacotes sejam enviadas do novo MAG diretamente para o LMA, e não do novo MAG (nMAG) depois para o antigo MAG como acontece com o PFMIPv6. A avaliação é

feita em cima de análise matemática utilizando um modelo de rede celular hexagonal.

Jin Seek et al. [6] propõe uma otimização de rota, do caminho antigo para o novo caminho, para prover *seamless handoff*. No PMIPv6 padrão, um túnel é estabelecido entre o nMAG e o LMA somente depois que nMAG receber a mensagem PBA do LMA. Na proposta do artigo, a otimização é feita em conjunto com o procedimento de *handoff* acelerando o processo. A análise da proposta baseia-se nas trocas de mensagens durante o processo de *handoff*.

Em Hwa-Sub Lee et al. [7] os autores criam 4 mensagens para auxiliar no processo de *handoff*, são elas: HO-Initiate (HI), Link-Up, Fast PBU e Fast PBA. A ideia está na antecipação da mensagem PBU criando uma nova mensagem que o autor chama de Fast PBU. O FBPU utiliza o endereço contido na mensagem HI para antecipação. É utilizado um buffer no nMAG para evitar a perda de pacotes. A análise da proposta baseia-se nas trocas de mensagens durante o processo de *handoff*. A proposta é comparada com o PMIPv6 e com o PFMIPv6.

Ji-In Kim et al. [8] explora uma extensão para o PMIPv6 com *bicasting* para prover *seamless handoff*, este esquema foi nomeado de B-PMIPv6. A ideia consiste no envio simultâneo de pacotes do LMA para o pMAG e nMAG (*bicasting*) no instante do *handoff*. Com isso, a perda de pacotes é reduzida. A análise da proposta é feita no ns-2 em um cenário simples. O B-PMIPv6 é comparado com o PMIPv6 e com o FLMIPv6 (*Fast Localized*). O B-PMIPv6 é superior, pois utiliza o MIH e não usa buffer de pacotes. A latência do *handoff* só é diminuída porque este utiliza o MIH e não pela proposta em si.

Obele, B.O et al. [9] propõe um esquema proativo de *handoff* sensível ao QoS, este esquema inclui um servidor de informações (PIS) consultado pelas entidades da rede a fim de auxiliar na mobilidade. No esquema o MAG percebe que o nível de sinal do MN está caindo, ele inicia de forma proativa o procedimento de *handoff*. Este envia um PBU ao LMA que consulta o servidor PIS (Proxy Information Server) e realiza o *handoff* com base nas informações obtidas. A ideia é trocar a sinalização de handover antes de o MN migrar efetivamente para outro MAG para reduzir o tempo das trocas de MAG. As informações sobre QoS são passadas do MAG para o LMA através da mensagem PBU. A análise da proposta baseia-se nas trocas de mensagens durante o processo de *handoff*.

Diferente deste artigo que avalia o PMIPv6 em um testbed 802.11, os trabalhos relacionados apresentados avaliam suas propostas de forma analítica [1,2,5,6,7,9] ou através de simuladores [3,4,8] e nenhum deles realiza avaliações em termo de métricas de QoE.

Os trabalhos [10] e [11] também implementam o PMIPv6 em cenários reais, porém são realizadas análises apenas de QoS, sem nenhuma proposta de otimização.

O PMIPv6 é um protocolo recente e bastante promissor no gerenciamento mobilidade, por isso é importante o fomento em pesquisas na área para acelerar a implementação de redes que suportem mobilidade IP transparente ao usuário e com suporte à QoE.

#### IV. QUALIDADE DE EXPERIÊNCIA (QOE – QUALITY OF EXPERIENCE)

Os aspectos e métricas de QoS (e.g., vazão, atraso e jitter) são importante para análises de desempenho de protocolos e arquiteturas do ponto de vista da rede, mas não em termos de percepção humana. Quando nos referimos às aplicações multimídia, a experiência ou percepção humana é importante para determinar a qualidade de tais aplicações. O fato de uma aplicação multimídia estar com uma boa vazão não nos permite afirmar que a qualidade da mesma está satisfazendo à necessidade ou desejo do usuário.

Desta forma, as novas arquiteturas não estão sendo mais avaliadas apenas em termos de aspectos de QoS, mas também em quanto ao suporte à QoE. As métricas de QoE servem como extensão aos parâmetros do QoS, permitindo avanços nas transmissões de aplicações de áudio e vídeo em redes IP e podem proporcionar melhorias nos protocolos. Nessa seção apresentamos as métricas PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*) e SSIM (*Structural Similarity Index*), adotadas neste artigo.

Uma métrica tradicional de QoE é o PSNR, que estima a qualidade do vídeo em decibéis, comparando o vídeo original com o vídeo recebido pelo usuário.

Para cada faixa de valores de PSNR, há uma qualificação para o vídeo que foi recebido pelo usuário. Veja a Tabela 2.

**Tabela 2 Valores de classificação do PSNR.**

PSNR (dB)	> 37	31 – 37	25 – 31	20 – 25	< 20
Qualidade	Excelente	Bom	Aceitável	Pobre	Péssimo

A métrica SSIM, também utilizada para avaliação de QoE, baseia-se na medição quadro a quadro do vídeo original com o vídeo recebido pelo usuário. O SSIM compara a similaridade entre os vídeos nos seguintes aspectos: contraste, luminosidade e estrutura. O SSIM é expresso como um valor decimal entre 0 e 1. Quanto mais próximo do valor 1, melhor é a qualidade do vídeo. A seção seguinte introduz o protocolo de mobilidade utilizado neste trabalho.

## V. IMPLEMENTAÇÃO DO PMIPv6

Nossa implementação do PMIPv6 foi desenvolvida utilizando a plataforma GNU/Linux e tendo como base o projeto MIPv6 for Linux ou MIPL, mantido pelo Usagi Project, principal grupo envolvido no desenvolvimento e manutenção da pilha IPv6 para Linux, recebendo o nome de Usagi MIP ou UMIP [15]. O UMIP encontra-se na versão 0.4 e suporta as versões mais recentes do kernel do Linux, sendo testado até a versão 2.6.31. Suporta toda a funcionalidade definida na especificação do MIPv6 (RFC 3775).

O código do MIPv6 disponível em [15] foi modificado para adicionar as funcionalidades do PMIPv6 de acordo com [RFC 5213]. Foram necessárias várias modificações no código do MIPv6 para termos as funcionalidades completas do PMIPv6, abaixo estão ilustrados as modificações mais importantes.

### A. Implementação das funcionalidades do LMA

Como descrito na RFC do PMIPv6, o LMA nada mais é que uma versão modificada do HA do MIPv6. Abaixo as principais modificações:

1. Adição de funções de coordenação para o LMA.
2. Adição de um novo campo no *Binding Cache*.
3. Adição de manipulação do *Time Stamp*.
4. Modificação da mensagem BU (*Binding Update*) para PBU (*Proxy BU*).
5. Modificação da mensagem BA (*Binding Acknowledgement*) para PBA.

### B. Implementação das funcionalidades do MAG

Como descrito na RFC do PMIPv6, o MAG possui a mesma função do MN do MIPv6. Abaixo as principais modificações:

1. Adição do cabeçalho de mobilidade PMIPv6.
2. Adição de um novo campo no Binding Update List
3. Adicionar funcionalidades de detecção de movimento do MN.
4. Modificação da mensagem BU (*Binding Update*) para PBU (*Proxy BU*)
5. Modificação da mensagem BA (*Binding Acknowledgement*) para PBA

O aplicativo foi desenvolvido em linguagem C para plataforma GNU/Linux e testado na distribuição Ubuntu (9.04 e 9.10), com gcc na versão 4.3 e 4.4. O testbed montado para os testes consistiu nos seguintes equipamentos descritos a seguir com suas respectivas funcionalidades: foram utilizados 3 desktops, sendo um Pentium core 2 duo rodando como MAG2, um Pentium D como MAG1 e um Pentium 4 como LMA; um netbook Asus como MN e um notebook Sony Vaio como CN.

## VI. PROPOSTA DE ANTECIPAÇÃO

O PMIPv6 possui uma baixa latência de *handoff* [16] porém faltam soluções para melhorar ainda mais essa latência e tornar o PMIPv6 ideal para serviços multimídia de tempo real. Deste modo, propomos uma solução baseada no nível de sinal para antecipar o mecanismo de *handoff* e melhorar o atraso deste processo. O nível de sinal indica que o terminal pode estar perto ou longe do ponto de acesso e quanto mais perto, teoricamente, melhor é a conexão. Porém, quando se trata de serviços multimídia, o nível de sinal não é o suficiente para determinar a qualidade da aplicação, por este motivo, foi realizado um experimento com o objetivo de determinar os valores correspondentes de PSNR, de acordo com a intensidade do sinal do terminal. Dessa forma, considerando o cenário específico, construímos a tabela PSNR/distância, mapeando níveis de sinais em valores de PSNR para dar suporte à tomada de decisão de início do *handoff*.

O experimento consistiu em enviar o arquivo de vídeo do LMA para o MN. A transmissão do arquivo foi realizada variando-se a distância do MN em relação ao MAG. Cada variação na transmissão foi executada 10 vezes. Ao final das transmissões o arquivo de vídeo foi avaliado em termos de PSNR para a montagem da tabela PSNR/distância. Em paralelo, o nível de sinal é capturado durante toda a transmissão; a Tabela 3 mostra a média dos valores coletados durante este tempo, considerando um intervalo de confiança de 95 %. Vale ressaltar que o resultado deste experimento reflete o ambiente e a configuração dos dispositivos utilizados, outros equipamentos ou outros ambientes podem fornecer resultados distintos dos apresentados na Tabela 3.

**Tabela 1 Resultado do experimento**

Distância MAG/MN (m)	< 1	5	10	15	20
Média do Nível do Sinal (dbm)	-66.766	-73.766	-78.616	-79.983	-88.200
PSNR	30.7712	30.7712	30.6012	30.2737	27.2276
Perda (%)	0	0	0.05	2.45	8.35

A partir dos resultados obtidos e da análise dos vídeos no receptor, percebe-se, segundo a Tabela 2 e Tabela 3, que, para um nível de sinal de -79,98 dBm, o vídeo é avaliado como **BOM**, porém com um nível de sinal em -88,200 dBm o vídeo recebido torna-se **ACEITÁVEL**.

Deste modo, para manter o nível do vídeo em **BOM**, optou-se por utilizar o valor -80 dB m como limiar para o gatilho do *handoff*.

## VII. AVALIAÇÃO DA PROPOSTA

Figura 3 mostra o cenário utilizado no testbed 802.11. O tráfego de vídeo é transferido no sentido downlink (Servidor/Cliente), neste caso, do CN para o MN.

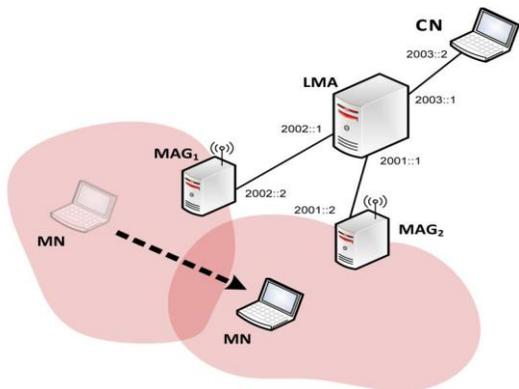


Figura 3 Cenário de avaliação do Testbed.

Na política proposta, o MAG monitora a intensidade do sinal do terminal móvel (MN) e inicia o processo de *handoff* de forma antecipada evitando que a desconexão do terminal. A avaliação do vídeo foi feita de duas formas, sem e com a política de antecipação baseada no nível de sinal do MN.

Para injetar o tráfego de vídeo na simulação e avaliar a implementação, utilizou-se o framework Evalvid [17]. Este framework possui várias ferramentas para codificar, decodificar, analisar, transmitir e receber vídeos em redes reais ou simuladas. O vídeo utilizado nos testes foi o Bridge (close), que possui cerca de um minuto de duração e 130 MB de tamanho. A velocidade média do usuário é equivalente a uma pessoa andando, ou seja, aproximadamente 1 m/s. Nos testes, o MN inicia a comunicação (tráfego de vídeo) com o MAG1 e vai em direção ao MAG2, conforme topologia apresentada na Figura 3.

A Figura 4 mostra a variação do atraso dos pacotes durante todo o processo de envio do arquivo de vídeo do CN para o MAG1. A ocorrência do *handoff* é evidenciada pela variação brusca no jitter exibido na figura 4. O jitter nulo é o valor considerado ideal, principalmente, para transmissões de dados em tempo de áudio e vídeo.

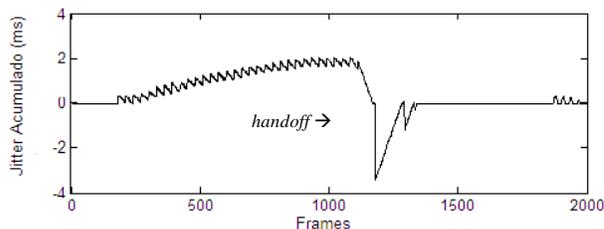


Figura 4 Jitter sem a política.

Se nessas transmissões houver uma grande variação do jitter, a transmissão poderá sofrer degradação na qualidade do serviço experimentada pelo assinante, no caso atraso (para jitter positivo) ou da transmissão acelerada (no caso de perda dos frames).

Na borda da rede, o atraso torna-se maior, pois com a redução do nível de sinal, a perda de pacotes aumenta. Em aplicações de vídeo, o jitter negativo ocorre pela perda dos frames, pois a aplicação tenta recuperar a perda acelerando a transmissão dos pacotes seguintes.

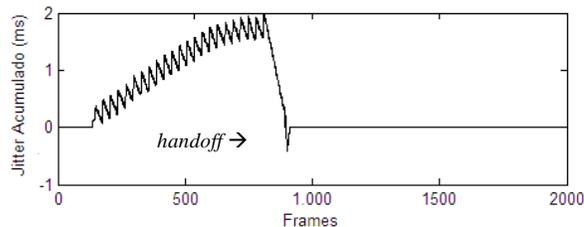


Figura 5 Jitter com a política.

A Figura 5 mostra o jitter com a política de antecipação, observa-se que, neste caso, a variação negativa do jitter torna-se menos visível no momento do *handoff*.

A Figura 6 exibe o valor do PSNR sem a política. Neste caso o *handoff* ocorre entre os frames 600 e 700. O PSNR do frame 687 é 31.884 e no frame seguinte este cai para 19.628 mostrando que, segundo a Tabela 1, a qualidade do vídeo cai de **BOM** para **PÉSSIMO**.

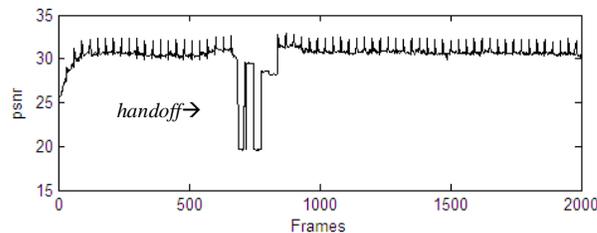
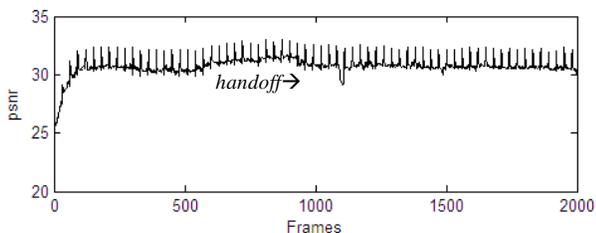


Figura 6 PSNR sem a política

De acordo com a Figura 7, com a antecipação da associação do usuário no novo MAG, a queda é quase imperceptível, pois antes do vídeo começar a perder qualidade (queda do sinal), o MAG realiza o *handoff* do MN de forma proativa. Neste caso, o PSNR do frame

1093 é 31.146 e cai para 29, nos frames seguintes. Neste caso, a qualidade do vídeo cai de BOM para ACEITÁVEL, porém, volta para o valor BOM poucos frames depois.

Observa-se que como, neste artigo, se trata de cenários reais, o *handoff* ocorre em tempos distintos, pois este depende do momento que o usuário adentra no novo domínio PMIPv6 e sai do domínio antigo.

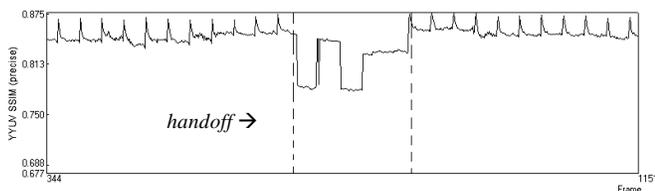


**Figura 7 PSNR com a política.**

Além de PSNR, outra métrica é avaliada e que também confirma esta superioridade do vídeo recebido com política de antecipação em relação ao vídeo sem a antecipação de *handoff* é o SSIM (Structural Similarity Index).

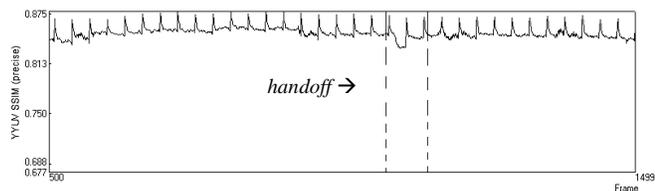
Para obter a avaliação do SSIM, utilizou-se o framework MSU [18], que é gratuito para fins acadêmicos. A Figura 10 mostra o SSIM do vídeo sem a política. A média do SSIM sem a política foi de 0.812 enquanto que a média do SSIM com a política foi de 0.868. O momento do *handoff* é indicado pelos traços pontilhados.

A figura 8 mostra o SSIM sem a política de antecipação, durante o *handoff* o SSIM degrada bastante por causa das perdas de frames durante o processo.



**Figura 8 SSIM do vídeo sem a política.**

A Figura 9 mostra o SSIM do vídeo com a política. Percebe-se que como o *handoff* é realizado de forma rápida, o SSIM se mantém constante.



**Figura 9 SSIM do vídeo com a política.**

A Figura 10 mostra o frame 688 do vídeo sem a política no momento do *handoff*, observa-se que a qualidade do vídeo é prejudicada pela perda de alguns frames no processo de transferência. A Figura 11 mostra o frame 1095 durante o *handoff*. Com a política, as perdas são quase imperceptíveis ao usuário.



**Figura 10 Frame no *handoff* sem a política.**



**Figura 11 Frame no *handoff* com a política.**

A Tabela 4 mostra uma breve comparação entre as duas propostas, nesta tabela a sigla MOS refere-se à métrica *Mean Opinion Score* que avalia os serviços multimídia de 1 a 5, dependendo do PSNR, onde 1 é péssimo e 5 é excelente. A métrica MIV informa quantos quadros do vídeo ultrapassam o nível péssimo. O vídeo utilizado nos testes possui 2000 quadros.

**Tabela 2 Comparação entre as políticas**

	PSNR	PSNR ( <i>handoff</i> )	Perdas de frames	MOS	SSIM	MIV
SEM	29.3025	25.4572	7.30 %	3.14	0.768	100
COM	31.7636	31.7598	0.6 %	3.28	0.812	4

## VIII. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste artigo apresentou-se o Proxy Mobile IPv6 que é um dos protocolos mais promissores de gerenciamento de mobilidade atualmente. Mostrou-se como o protocolo funciona e suas vantagens em relação ao seu precursor MIPv6. Criou-se um testbed para avaliar a transmissão de vídeo no processo de troca de *Access Point (handoff)* e avaliou-se o vídeo em termos de métricas de QoS e QoE, onde esta última é mais abrangente pois reflete a percepção, a visão, a experiência do usuário diante de uma aplicação multimídia. Este artigo propôs uma antecipação do *handoff* baseado no nível de sinal do MN. Os resultados mostraram os benefícios desta abordagem em comparação com o método sem antecipação.

Este trabalho contribui com uma nova proposta, bem como, com a possibilidade de gerar novas ideias para as pesquisas nacionais relacionadas aos protocolos e desafios para os cenários vindouros da Internet sem fio do Futuro. Para trabalhos futuros serão realizados testes utilizando o PMIPv6 em redes heterogêneas, além de propostas de novos algoritmos de redução dos atrasos devido ao procedimento de *handoff* em conjunto com algoritmos de otimização de roteamento entre o MN e o CN.

## REFERÊNCIAS

- [1] Myung-Kyu et al., “A Pointer Forwarding Scheme for Minimizing Signaling Costs in Proxy Mobile IPv6 Network”, IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), Page(s): 1 – 5 (Feb/2010)
- [2] Moneeb Gohar et al., “Seamless Multicast Handover in PMIPv6-based Wireless Networks”, IEEE Advanced Communication Technology (ICACT). Page(s): 502 – 507 (April/2010)
- [3] Hyunwoo Hwang et al., “Fast Handoff Scheme Using Multicast Group for Intra-domain in PMIPv6 Networks”, IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), Page(s): 1 – 2 (Feb/2010)
- [4] Magagula et al., “PMIPv6 and MIH-enhanced PMIPv6 for mobility management in heterogeneous wireless networks”, IEEE AFRICON, Page(s): 1 – 4, (Nov/2009)
- [5] Sooyeol Ryu et al., Enhanced Fast Handovers for Proxy Mobile IPv6, IEEE Computational Science and Its Applications (ICCSA), Page(s): 39 – 43, (Sept/2009)
- [6] Jin Seek et al., LMA initiated route optimization protocol for improving PMIP handover performance, IEEE Communications Letters. Vol. 13, No 11, (Nov/2009)
- [7] Hwa-Sub Lee et al., A network-based fast handover scheme over IEEE 802.16e access networks, IEEE Communications and Information Technology. Page(s): 1084 – 1089, (Dec/2009)
- [8] Ji-In Kim et al., B-PMIPv6: PMIPv6 with bicasting for soft handover, IEEE Advanced Communication Technology, Page(s): 218 – 221, (April/2009)
- [9] Obele, B.O et al., Mobility management: A proactive QoS-Aware proxy MIP with improved handover latency for end-to-end QoS provisioning in a proxy MIP domain, IEEE Advanced Communication Technology, Page(s): 1867 – 1869, (April/2009)
- [10] Iapichino et al., “Experimental Evaluation of Proxy Mobile IPv6: An Implementation Perspective”, IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), page(s): 1 – 5, (Jul/2010)
- [11] Jianfeng Guan, “Implementation and analysis of proxy MIPv6”, Wireless Communications and Mobile Computing, (Sep/2009)
- [12] Johnson, D. et al. RFC 3775: Mobility Support in IPv6. 2004.
- [13] Soliman, H. et al. RFC 5380: Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6) Mobility Management. 2008.
- [14] Koodli, R. RFC 5568: Mobile IPv6 Fast Handovers. 2009.
- [15] UMIP, “Usage Mobile Ipv6”, <http://umip.linux-ipv6.org/>
- [16] Jianfeng Guan et al. Implementation and analysis of proxy MIPv6, Wiley Wireless Communications and Mobile Computing, 9:1-15,(2009)
- [17] Evalvid. <http://www.tkn.tu-berlin.de/research/evalvid/>
- [18] MSU Quality Measurement Tool. [http://compression.ru/video/quality\\_measure/vqmt\\_download\\_en.html#free](http://compression.ru/video/quality_measure/vqmt_download_en.html#free).