

# Redes Sem Fio Heterogêneas com Dispositivos Móveis de Múltiplas Interfaces para Conexões Simultâneas utilizando Sistema *Fuzzy*

Fabio Silva, Jorge Cardoso, Tássio Carvalho, José Jailton, Renato Francês

**Resumo**— Com o aumento exponencial das redes sem fio heterogêneas na atualidade, houve um crescente interesse da comunidade acadêmica por questões voltadas a problemas de *handover* vertical. O principal objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade de serviço e desempenho, de um dispositivo com *dual-interface* que se conecta simultaneamente a duas redes heterogêneas para que não haja concorrência na troca de pacotes entre as mesmas, propondo assim, uma solução viável para mitigação dos impactos de *handover*. A ferramenta utilizada para avaliação foi o *Network Simulator 2*, os resultados mostraram um aproveitamento de 92,5% da banda em relação ao cenário com utilização de dispositivo móvel tradicional.

**Palavras-Chave** — *Handover Heterogêneo Simultâneo, Sistema Fuzzy, Qualidade de Experiência.*

**Abstract**— With the exponential increase of heterogeneous wireless networks today, there has been a growing interest in the academic community for issues of vertical handover problems. The main objective of this paper is to evaluate the quality of service and quality of experience of a dual-interface device that simultaneously connects to two heterogeneous wireless networks. So that there is no competition between the two interfaces, thus proposing a viable solution to mitigate handover impacts. The tool used for evaluation was the *Network Simulator*. All the results were satisfactory, where there was a use of 92.5% of the bandwidth in relation to the scenario using traditional mobile device.

**Keywords** — *Simultaneous Heterogeneous Handover, Fuzzy System, Quality of Experience.*

## I. INTRODUÇÃO

A demanda por banda larga móvel passa por um aumento sem precedentes, especialmente com o advento de uma grande quantidade de dispositivos portáteis inteligentes. Esta tendência de comportamento do usuário se manifesta como uma enorme pressão sobre os sistemas de comunicação celular em termos de exigências de capacidade, Qualidade de Serviço (QoS), Qualidade de Experiência (QoE) e eficiência energética, devido ao crescimento de aplicações com altos requisitos de largura de banda, como *streaming* de vídeo e compartilhamento de arquivos multimídia [1].

Com o aumento dos serviços convergentes entre redes de diferentes tecnologias de acesso e a evolução das redes de telecomunicações é de fundamental importância o desenvolvimento de mecanismos de gerência de mobilidade e algoritmos de *handover*. Tais mecanismos são implementados geralmente nos núcleos das redes ou em sua borda, com o intuito de reduzir os impactos causados na migração dos dispositivos móveis entre redes heterogêneas sem fio, estes

dispositivos são fabricados com múltiplas interfaces de tecnologias de redes sem fio.

Em visão geral, as redes heterogêneas são compostas de diversos tipos de elementos, com diferentes potências de transmissão, áreas de cobertura e larguras de banda. Também é conhecido que o usuário utiliza somente o nível de sinal recebido para a seleção da célula a qual se conectará, não levando em consideração outros fatores como largura de banda disponível, número de usuários conectados na célula ou o tipo de aplicação que será utilizada pelo usuário móvel. Diante disso, é provável um cenário totalmente desbalanceado, com células que estejam totalmente sobrecarregadas, enquanto outras estejam com pouco ou nenhum usuário conectado.

Objetivo deste trabalho é propor um dispositivo móvel com múltiplas interfaces com capacidade de múltiplas conexões simultâneas para obter o máximo de largura de banda disponível. Este artigo avaliou a qualidade de serviço, qualidade de experiência e desempenho de um dispositivo com múltiplas-interface que se conecta simultaneamente a duas redes heterogêneas para que não haja concorrência na troca de pacotes entre as duas interfaces.

Este artigo também propõe um Sistema *Fuzzy* para decisão de *handover*. Neste novo cenário o dispositivo móvel estará conectado a duas redes simultaneamente e poderá realizar múltiplas trocas de conexões simultâneas, dessa forma o Sistema *Fuzzy* auxiliará o processo de decisão e seleção de conexão.

As seções deste artigo estão organizadas da seguinte forma: A Seção 2 discute os principais trabalhos envolvendo o uso de múltiplas interfaces de tecnologia sem fio. A Seção 3 descreve o ambiente das redes sem fio heterogêneas com conexões simultâneas. A Seção 4 descreve os resultados obtidos com as simulações. A Seção 5 conclui o artigo.

## II. TRABALHOS RELACIONADOS

Esta seção discute sobre os trabalhos relacionados que também abordam sobre as novas arquiteturas heterogêneas sem fio que oferecem suporte aos quesitos de mobilidade vertical transparente e também de que forma proporcionam os benefícios de sua utilização.

O artigo [2] propõe um novo esquema de descarregamento de tráfego de *uplink* dos equipamentos móveis através de uma otimização conjunta da alocação de largura de banda da Estação Base (BS), bem como do escalonamento de tráfego e alocação de energia. O esquema proposto leva em conta as interferências co-canal dos dispositivos móveis ao transferir dados para o Ponto de Acesso (AP) e visa minimizar o custo total do sistema, incluindo o uso da largura de banda da BS e o

Fábio Silva, Universidade Federal do Pará (UFPA), e-mail:fabioyaacov@gmail.com; Jorge Cardoso, UFPA, e-mail:jcardoso217@gmail.com, Tássio Carvalho, UFPA, email: tassio@ufpa.br, José Jailton, UFPA, email: jjj@ufpa.br, Renato Francês, UFPA, email: rfrances@ufpa.br.

consumo total de energia dos equipamentos móveis. Resultados numéricos mostram que o algoritmo proposto pelos autores, pode alcançar a solução ótima com um tempo computacional significativamente reduzido. Porém o mesmo não propõe um mecanismo de evitar concorrência entre as interfaces do próprio dispositivo.

Em [3] propõe uma arquitetura de rede heterogênea, na qual os dispositivos são equipados com duas interfaces sem fio, permitindo a transmissão e recepção simultâneas de pacotes. Porém o artigo não possui nenhum mecanismo de gerenciamento de *handover* vertical, a proposta do artigo considera apenas cenários estáticos e sem mobilidade, além de não realizarem avaliação sob métricas de QoE.

No artigo [4] os dispositivos móveis não se conectam em múltiplas interfaces de redes sem fio simultaneamente, os autores propõem coordenar e combinar duplas interfaces de tecnologias móveis celulares (por exemplo, LTE ou 3G) e não-celulares (por exemplo, Wi-Fi ou TV *White Space*) dentro do mesmo dispositivo de modo simultâneo. Porém não há nenhum algoritmo proposto para o gerenciamento de *handover* vertical transparente, assim como não há avaliação utilizando métricas de QoE.

O artigo [5] utiliza a *Dual Connectivity* (DC) como técnica para resolver o problema do aumento de *handovers* em redes heterogêneas com o objetivo de minimizar o atraso médio do sistema, sujeito a uma restrição na probabilidade de bloqueio dos usuários em segundo plano e em primeiro plano. Embora o artigo tenha um mecanismo de gerenciamento de *handover*, o mesmo não possui um algoritmo de concorrência entre as interfaces do próprio dispositivo tendo que bloquear as chamadas para diminuir a saturação da rede.

### III. REDES SEM FIO HETEROGÊNEAS COM CONEXÕES SIMULTÂNEAS

As Redes Sem Fio Heterogêneas oferecem, independentemente da tecnologia, diversas oportunidades de conectividade aos usuários móveis, cabendo ao mesmo escolher dentre as opções disponíveis a melhor para o momento. É recomendável, que a tomada de decisão sobre a escolha da melhor conexão deve ser feita principalmente com base em parâmetros/métricas de Qualidade de Serviço e/ou de Qualidade de Experiência.

Em determinadas situações, devido à mobilidade do usuário móvel, o mesmo tem que trocar de ponto de acesso, tal processo é denominado de *handover*. Quando a troca de ponto de acesso ocorre entre tecnologias diferentes, o procedimento é denominado de *handover* vertical. O *handover* vertical ocorre quando o usuário móvel se desconecta do atual ponto de acesso e inicia uma conexão com um novo ponto de acesso (Figura 1).

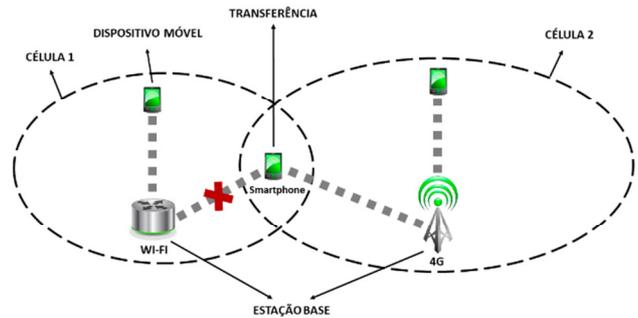


Figura 1. *Handover* Vertical Transparente

Conforme pode ser observado na Figura 1, o dispositivo móvel está dentro da área de cobertura de dois pontos de acesso tendo que obrigatoriamente ter que escolher apenas uma conexão. Dessa forma, o usuário não consegue utilizar o máximo de recursos disponíveis que as tecnologias podem oferecer, principalmente, caso o usuário esteja utilizando mais de uma aplicação (que são recebidas por uma única interface).

Diante do exposto, observou-se a necessidade da proposta de um dispositivo móvel com múltiplas-interface, que possa se conectar simultaneamente em duas (ou mais) redes sem fio heterogêneas, proporcionando aos usuários um aproveitamento total da vazão da rede, evitando assim de uma possível concorrência em uma única interface, como é comum entre os dispositivos móveis atuais.

Na Figura 2 abaixo, podemos observar um cenário, no qual o dispositivo móvel também está dentro da área de cobertura de duas tecnologias diferentes, mas nesse novo contexto, o usuário se conectará simultaneamente aos dois pontos de acesso heterogêneos. Dessa forma, existirá uma distribuição das aplicações (uma para cada interface) evitando assim concorrência entre as mesmas e consequentemente aumentando a vazão total do dispositivo móvel.

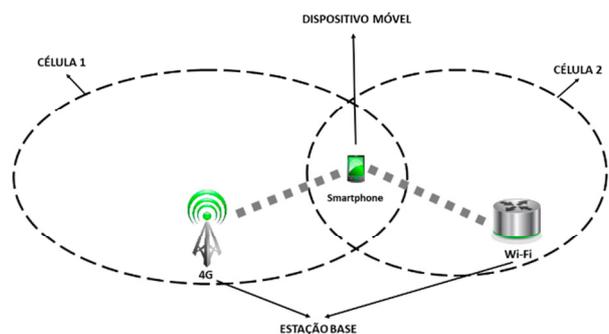


Figura 2. Dispositivo com *Dual-Interface*

Nesse novo contexto, o usuário estará conectado simultaneamente a duas redes sem fio heterogêneas. Porém o dispositivo móvel continuará a identificar novos pontos de acesso que estejam disponíveis para que um possível *handover* seja realizado. Mas, nesta proposta o *handover* não desconectará de uma tecnologia para se conectar em outra tecnologia, já que a segunda interface também estará sendo

utilizada em outra conexão. Neste novo cenário, o dispositivo móvel realizará *handover* apenas na primeira interface sem prejudicar a conexão que está ativa na segunda interface.

O dispositivo móvel estará conectado simultaneamente nas redes 4G e Wi-Fi e para que não haja concorrência entre as tecnologias, o dispositivo móvel realizará *handover* de 4G para 4G (sem interferir na conexão Wi-Fi) ou realizará *handover* de Wi-Fi para Wi-Fi (sem interferir na conexão 4G). Dessa forma, três situações podem ocorrer nesse novo cenário: 1) Permanecer conectado no 4G e realizar *handover* apenas no Wi-Fi; 2) Permanecer conectado no Wi-Fi e realizar *handover* apenas no 4G; 3) Realizar duplo *handover* simultâneo de 4G para 4G e de Wi-Fi para Wi-Fi. Nesses três tipos de situação o dispositivo móvel sempre estará conectado simultaneamente as duas tecnologias para garantir o máximo de vazão possível ao usuário.

A realização de um duplo *handover* (situação 3 do parágrafo anterior) requer um custo de decisão maior do dispositivo móvel, pois será necessário avaliar duas redes de tecnologias diferentes de modo simultâneo para inicializar o processo de *handover* ao mesmo tempo em ambas interfaces.

Para controlar o processo de *handover*, este artigo também propõe a utilização de Sistema *Fuzzy* para a tomada de decisão de seleção de ponto de acesso. O Sistema *Fuzzy* terá três parâmetros de entrada e uma saída, já que tradicionalmente os dispositivos móveis apenas consideram a Intensidade do Sinal Recebido (RSSI - *Received Signal Strength Indication*) como única métrica de decisão, podendo gerar decisões equivocadas em determinadas situações.

O Sistema *Fuzzy* possui três métricas de entrada: 1) Índice de mobilidade; 2) Intensidade do Sinal Recebido; 3) Percentagem de pacotes recebidos. O índice de mobilidade tende a indicar o tempo de permanência de um dispositivo móvel dentro da área de cobertura de uma célula, quando mais rápido o dispositivo, menos tempo o mesmo permanecerá na célula, quanto mais lento, mais tempo o mesmo permanecerá. O RSSI indica quando o dispositivo móvel está próximo ou não de se desconectar de um ponto de acesso e a percentagem de pacotes é um indicativo da qualidade de serviço que está sendo oferecido.

O índice de mobilidade foi dividido em três conjuntos: baixo (0 – 6m/s), médio (4 – 11m/s) e alto (acima de 10m/s). A intensidade do sinal também foi dividida em três conjuntos: baixo (-120 – -100dBm), médio (-115 – -66 dBm), alto (acima de -72dBm). A percentagem de pacotes foi classificada em três conjuntos: baixo (0 – 40%), médio (30 – 70%) e alto (acima de 60%).

A saída do Sistema *Fuzzy* indicará ao dispositivo móvel se o mesmo deverá ou não realizar o processo de *handover*, dessa maneira, a saída do Sistema *Fuzzy* está dividida em quatro conjuntos: NÃO, PROVAVELMENTE NÃO, PROVAVELMENTE SIM e SIM.

A decisão do Sistema *Fuzzy* será feita de acordo com o conjunto de regras que foi definida por meio de análises empíricas através de uma série de repetições de simulações. A Tabela 1 a seguir mostra o conjunto de regras do Sistema *Fuzzy* para realizar o *handover* (as demais situações não

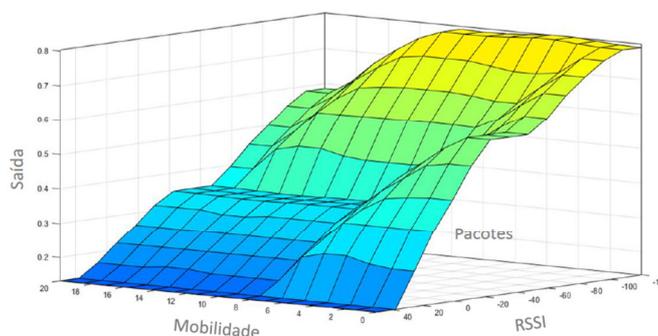
exibidas na Tabela 1 indicam forte tendência do dispositivo móvel não realizar o *handover*). De maneira geral, usuários com baixa mobilidade, ou baixa intensidade de sinal ou baixa quantidade de pacotes possuem maior tendência de realizar o *handover*.

**Tabela 1. Regras do Sistema Fuzzy**

Mobilidade	RSSI	Pacotes	Saída
BAIXA	BAIXA	BAIXA	SIM
BAIXA	BAIXA	MÉDIA	SIM
BAIXA	BAIXA	ALTA	SIM
BAIXA	MEDIA	BAIXA	PROVAVELMENTE SIM
BAIXA	MEDIA	MÉDIA	PROVAVELMENTE SIM
MÉDIA	BAIXA	BAIXA	SIM
MÉDIA	BAIXA	MÉDIA	SIM
MÉDIA	BAIXA	ALTA	PROVAVELMENTE SIM
MÉDIA	MEDIA	BAIXA	PROVAVELMENTE SIM
ALTA	BAIXA	MÉDIA	PROVAVELMENTE SIM
ALTA	BAIXA	ALTA	PROVAVELMENTE SIM

O Sistema *Fuzzy* manterá as duas conexões ativas simultaneamente, mas também monitorará as redes detectadas pelo dispositivo móvel. A cada nova conexão detectada o Sistema *Fuzzy* avaliará se o dispositivo móvel deverá ou não realizar o procedimento do *handover*. O Sistema *Fuzzy* tem como um dos objetivos evitar *handover* desnecessários e até mesmo o *handover* “ping-pong” (desconectar da rede e seguidamente ter que se reconectar na mesma rede), por isso que usuários de alta mobilidade só realizam *handover* em casos críticos (já que os mesmos tem tendência de permanecer pouco tempo dentro da área de cobertura da célula).

A Figura 3 mostra a tendência de iniciar ou não o processo de *handover*, a região azul do gráfico corresponde a um dispositivo móvel com alta mobilidade, alto RSSI e alta quantidade de pacotes recebidos, nessas condições, o dispositivo móvel não realizará o *handover* para a nova rede. A região amarela do gráfico corresponde a um usuário móvel com baixa mobilidade, baixo RSSI e baixa quantidade de pacotes recebidos, nessas condições o dispositivo móvel realizará o *handover* para a nova rede.



**Figura 3. Gráfico do Sistema Fuzzy**

#### IV. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Esta seção descreve a metodologia e métricas para avaliar os benefícios da proposta. Para obter o estudo da pesquisa, foi utilizada a técnica de uso de simulações de eventos discretos. A avaliação de desempenho foi realizada através de simulações utilizando o *Network Simulator 2* (NS2). Nos cenários de simulações os dispositivos móveis tinham mobilidades e deslocamentos aleatórios, a proposta do artigo foi comparada aos protocolos originais tradicionais. A comparação foi feita através de métrica de QoS (vazão) e também através de métricas de QoE (*Peak Signal to Noise Ratio* - PSNR, *Structural Similarity Index* - SSIM e *Video Quality Metric* - VQM). A Tabela 2 mostra os parâmetros de simulação utilizados.

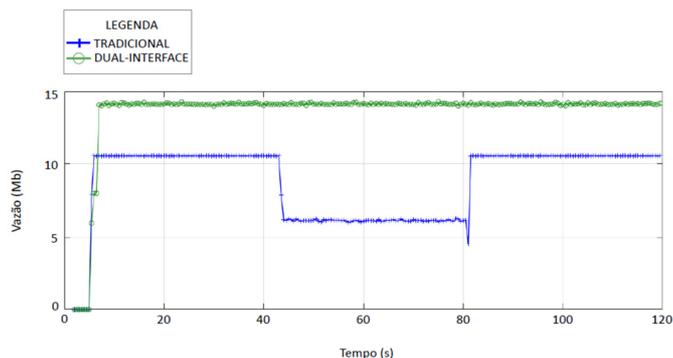
**Tabela 2. Parâmetros Gerais**

PARÂMETRO	VALOR
ÁREA DE SIMULAÇÃO	2KM <sup>2</sup>
QTDE ESTAÇÕES	2
QTDE DE DISPOSITIVOS MÓVEIS	2
CHANNEL WIRELESS	WI-FI / LTE
RATE	54 / 124 MB
POTÊNCIA TRANSMISSÃO	50 / 500 m
FREQUÊNCIAS	2.4 / 3.5 Ghz
APLICAÇÕES	CBR / VÍDEO
TAMANHO PACOTE	1024 KB
TEMPO DE SIMULAÇÃO	120 s

##### A. Primeiro Cenário

Para as simulações do primeiro cenário, foram utilizadas duas aplicações do tipo Taxa Constante de Transmissão (CBR - *Constant Bit Rate*) (cada uma de 8 Mbps) nos dispositivos móveis. No cenário tradicional, o dispositivo móvel inicialmente recebeu as duas aplicações na interface 4G e ao detectar a rede Wi-Fi, realizou *handover* para a nova interface (se desconectando da rede 4G e se conectando na rede Wi-Fi), recebendo assim, as duas aplicações pela interface Wi-Fi. No cenário com a proposta implementada, o dispositivo móvel recebeu uma aplicação na interface 4G e a outra aplicação na interface Wi-Fi, evitando assim a concorrência das aplicações pelo mesmo canal físico e evitando também a realização de um *handover* desnecessário.

Conforme mostra a Figura 4, o tráfego da vazão recebido pelo dispositivo com *dual-interface* teve um melhor aproveitamento da banda em relação ao dispositivo tradicional, com um aproveitamento de 92,5% da banda e uma estabilidade constante em todo tempo de simulação. Sendo que o dispositivo tradicional obteve um aproveitamento de 63,75% da banda, isso em relação ao seu maior índice de alcance no gráfico, sendo que houveram oscilações durante a troca da estação base, que reduziu seu aproveitamento da banda.



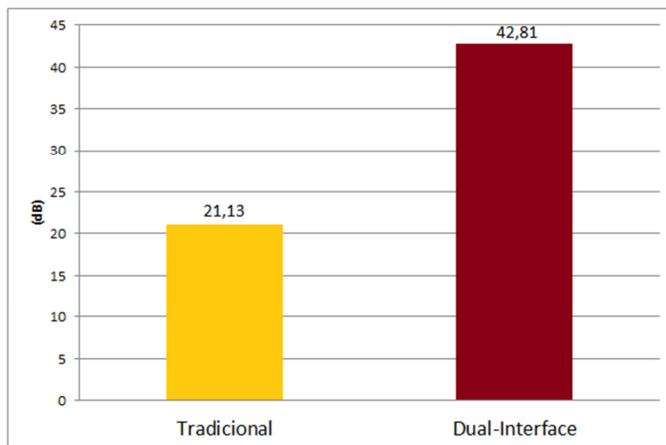
**Figura 4. Comparação dos Resultados da Vazão**

##### A. Segundo Cenário

Para as simulações no segundo cenário, foram utilizadas duas aplicações sobre os dispositivos móveis. A primeira do tipo CBR, com tráfego de vazão equivalente a 8 Mbps e uma segunda aplicação, do tipo vídeo (*streaming*), composto por 1999 frames.

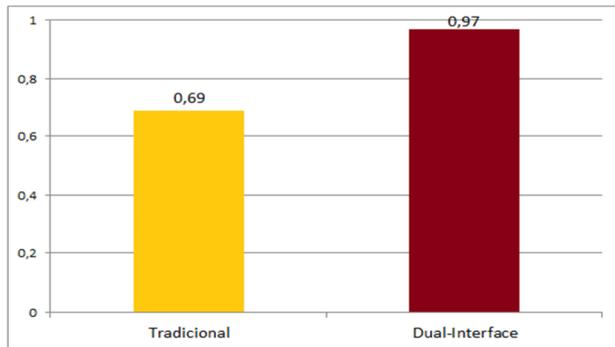
No cenário tradicional, o dispositivo móvel recebeu duas aplicações, uma do tipo CBR e outra de vídeo pela mesma interface (4G) e mesmo após a realização do *handover*, o dispositivo móvel, continuou recebendo as duas aplicações na nova interface (Wi-Fi). Enquanto no cenário com a proposta implementada, o dispositivo móvel recebeu a aplicação de vídeo pela interface 4G e a aplicação CBR na interface Wi-Fi, novamente assim, evitando concorrência entre as tecnologias. Neste segundo cenário, a avaliação foi realizada através das métricas de QoE: PSNR, SSIM e VQM.

O PSNR mostra o nível de qualidade de um vídeo, quanto maior for a média, melhor será sua visualização. O gráfico da Figura 5, ressalta um nível de 42,81dB do PSNR atingido pelo dispositivo com *dual-Interface*, sendo classificado com um vídeo de excelente qualidade. Já o dispositivo tradicional, obteve apenas 21,13dB do PSNR, demonstrando assim, não suportar as duas aplicações em sua única interface, sendo classificado com um vídeo de qualidade regular.



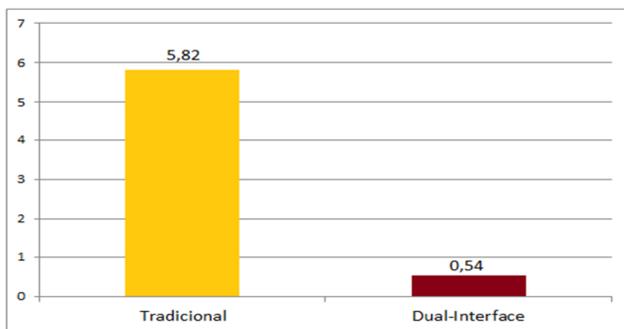
**Figura 5. Média PSNR dos Dispositivos**

Já o SSIM é equiparado também ao PSNR, ou seja, quanto maior for seu índice de porcentagem, melhor será a qualidade de transmissão do vídeo. O dispositivo com *dual-interface* atingiu 0,97 de SSIM, mostrando uma alta qualidade de transmissão. Já o dispositivo tradicional alcançou apenas 0,69 de SSIM, não adquirindo um percentual aceitável (Figura 6).



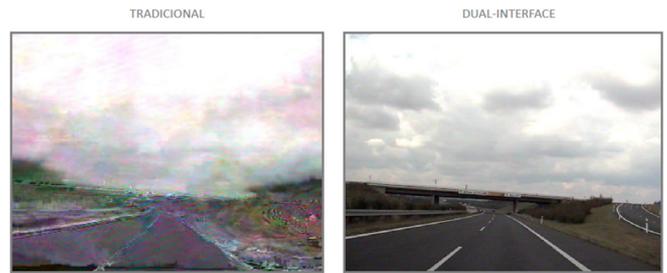
**Figura 6. Média SSIM dos Dispositivos**

A métrica VQM fornece uma medida objetiva para a qualidade de vídeo percebida e também prova que a transmissão realizada pelo dispositivo com dupla-interface proposto foi superior em relação ao dispositivo tradicional, pois obteve um índice de 0,54 de VQM. Isto é, inversamente proporcional ao PSNR e SSIM, quanto mais próximo do valor do zero, maior será a qualidade do vídeo transmitido. Já o dispositivo tradicional ficou bastante afastado do valor zero, com 5,82 de VQM, demonstrando o quanto ruim foi a qualidade de transmissão do vídeo ao usuário do dispositivo (Figura 7).



**Figura 7. Média VQM dos Dispositivos**

Na Figura 8, foram comparados os *frames* (quadro) do vídeo recebido nos cenários tradicional e da proposta de *dual-interface*. Devido à interface do dispositivo móvel tradicional não fornecer garantida de qualidade as duas aplicações concorrentes na sua interface, a qualidade do *frame* 1139 ficou distorcido. Já o contrário ocorreu no dispositivo móvel com *dual-interface* proposto por esse trabalho, onde não ocorreu nenhuma distorção do *frame* 1139, e a qualidade do vídeo transmitido, trouxe uma maior comodidade ao usuário.



**Figura 8. Frame 1139 do Vídeo Highway**

## V. CONCLUSÃO

Com o crescimento exponencial dos dispositivos móveis na atualidade, é de suma importância observar a escalabilidade das redes sem fio heterogêneas. E propor estudos voltados para os impactos causados pelo *handover* e soluções cada vez mais eficazes para contribuição da manutenção das redes de diferentes tecnologias. Nesse contexto, o artigo propôs a utilização de um dispositivo móvel que mantenha múltiplas conexões simultâneas para otimizar os recursos de redes disponíveis.

Neste sentido, o presente trabalho também propõe a utilização de um Sistema *Fuzzy* para controlar a troca de ponto de acesso. Essa troca de ponto de acesso deverá ocorrer apenas quando necessário ao usuário, principalmente para evitar o *handover ping pong*, ou seja, realizar *handover* para um novo ponto de acesso e logo em seguida ter que se reconectar no antigo ponto de acesso.

Os benefícios da proposta demonstraram que melhora no QoS e QoE. Para trabalhos futuros, a proposta incluirá novas tecnologias, assim como também a implementação de novas técnicas de inteligência computacional.

## REFERÊNCIAS

- [1] Aliu, O.G.; Imran, A.; Imran, M.A.; Evans, B.; “A Survey of Self Organization in Future Cellular Networks”. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, Vol.15, No.1, Pp.336,361, First Quarter 2013.
- [2] Wu, Y.; He, Y.; Qian, L. P.; Huang, J.; Shen, X.; Fellow. “Optimal Resource Allocations For Mobile Data Offloading Via Dual-Connectivity;” *IEEE Transactions On Mobile Computing*, Vol. 17, No. 10, October 2018 2349.
- [3] Karim, M. S.; Douik, A.; Sadeghi, P.; Sorour, S.; “On Using Dual Interfaces With Network Coding For Delivery Delay Reduction”; *IEEE Transactions On Wireless Communications*, Vol. 16, No. 6, June 2017.
- [4] Elsherif, A. R.; Chen, W.; Ito, A. And Ding, Z.; “Resource Allocation And Inter-Cell Interference Management For Dual-Access Small Cells”; *IEEE Journal On Selected Areas In Communications*, Vol. 33, No. 6, June 2015.
- [5] Taksande, P. K.; Roy, A. And Karandikar, A.; “Optimal Traffic Splitting Policy In LTE-Based Heterogeneous Network”; *IEEE Wireless Communications And Networking Conference (WCNC)*, 2018.