

# FHDRA: Uma Proposta para Redução da Latência de *Handoff* Layer-3 em Redes Sem Fio de Múltiplos Saltos

Rômulo Albuquerque<sup>1,3</sup>, Billy Pinheiro<sup>2,3</sup>, Vagner Nascimento<sup>2,3</sup>, Antônio Abelém<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ciências Exatas e Naturais – Universidade Federal do Pará (UFPA)

<sup>2</sup>Instituto de Tecnologia – Universidade Federal do Pará (UFPA)

<sup>3</sup>Grupo de Pesquisa em Redes de Computadores e Comunicação Multimídia (GERCOM)  
Caixa Postal 479 – 66075-110 – Belém – PA – Brasil

{albuquerque, billy, vagner, abelem}@ufpa.br

**Abstract.** *In the last years many mobile solutions have been proposed for traditional wireless networks, such as cellular and IEEE 802.11 networks. Multihop networks are another kind of wireless network which have received much attention recently. However, mobility in these networks is not a simple extension of traditional wireless networks. Thus, new mobile solutions are required for wireless multihop networks. Aiming at this goal, this paper proposes a DHCP adaptation intended for wireless multihop networks. The proposal adds intelligence to the DHCP relay agent in order to speed IP address configuration process to mobile clients during handoff.*

**Resumo.** *Nos últimos anos houve expressivo esforço em prol de soluções de mobilidade para redes sem fio tradicionais, tais como redes de celulares e IEEE 802.11. Outro tipo de rede sem fio que vem se destacando mais recentemente são as redes de múltiplos saltos. Porém a questão da mobilidade neste tipo de rede não é uma simples extensão das redes sem fio tradicionais. Assim, são necessárias soluções específicas de mobilidade que atendam os requisitos dessas novas redes. Visando este objetivo, o presente trabalho propõe uma adaptação ao DHCP, voltado para redes sem fio de múltiplos saltos. A proposta agrega inteligência ao agente DHCP relay, tornando-o capaz de acelerar o processo de configuração de endereço IP aos clientes móveis durante o handoff.*

## 1. Introdução

As redes sem fio já se consolidaram como um dos principais meios de comunicação, compreendendo um domínio que vai das *Wireless Personal Area Networks* (WPANs) às *Wireless Metropolitan Area Network* (WMANs). Dentro desse contexto, existe um tipo especial de rede sem fio que se caracteriza sobretudo pela capacidade de comunicação par-a-par, sem a necessidade de uma estação base que coordene a comunicação. Devido a este atributo, as redes *ad hoc* são conhecidas como redes de múltiplos saltos. Neste grupo suas principais representantes são as *Mobile Ad Hoc Networks* (MANETs), *Wireless Mesh Networks* (WMNs) e *Wireless Sensor Networks* (WSNs).

As WMNs são apontadas por [Akyildiz and Wang 2009] como o futuro das redes sem fio, já que trazem o conceito de autoconfiguração e auto-organização, possibilitando fácil manutenção, poder de resiliência e aumento da área de cobertura através de enlace

sem fio, sem o custo da infraestrutura cabeada. Por isso diversos padrões de redes sem fio, tais como IEEE 802.11, IEEE 802.15 e IEEE 802.16, têm manifestado esforço para incluir o modo *mesh* nas suas especificações.

O desenvolvimento das tecnologias sem fio contribuiu para o barateamento e popularização dos dispositivos móveis. Junto com o crescimento da Internet as redes sem fio propiciaram conectividade a qualquer tempo e em qualquer lugar culminando no que se denomina por ubiquidade. Nesse terreno fértil a mobilidade é uma área de pesquisa bastante explorada que oferece uma gama de soluções transversais a pilha de protocolo TCP/IP. [Zhu et al. 2011] oferecem uma rica pesquisa a respeito da mobilidade na Internet nas últimas duas décadas.

Contudo, a comunicação sem fio através de múltiplos saltos oferece ainda mais desafios. Segundo [Xie and Wang 2008], a gerência de mobilidade em redes de múltiplos saltos não é uma simples extensão das redes infraestruturadas, visto que neste tipo de rede a gerência de mobilidade recai sobre a rede cabeada, enquanto que nas redes *ad hoc* esse processo se dá por meio do enlace sem fio cujos recursos são mais escassos e o meio mais propenso a erros. Desta maneira, a sobrecarga de mensagens de sinalização imposta pelos protocolos de mobilidade mais tradicionais, como o Mobile IP [Perkins 2010] e Cellular IP [Valkó 1999], dificulta a adoção destes protocolos em redes sem fio de múltiplos saltos por questões de escalabilidade.

Assim, são necessárias soluções específicas que atendam os requisitos de mobilidade em redes sem fio de múltiplos saltos. Visando este esforço, o presente trabalho propõe uma modificação no protocolo de configuração dinâmica de *host* (DHCP - *Dynamic Host Configuration Protocol*) [Droms 1997]. A proposta intitulada *Fast Handoff DHCP Relay Agent* (FHDRA) tem como objetivo minimizar o atraso gerado no processo de aquisição de IP durante o *handoff* em redes sem fio de múltiplos saltos. Para isso foi feita a modificação dos agentes DHCP *relay* com o objetivo de agilizar a obtenção de endereço IP sempre que o cliente móvel (CM) realizar a transição entre os roteadores. A proposta foi implementada em roteadores sem fio utilizando a distribuição Linux Openwrt [OpenWrt 2012] e analisada em *testbed*.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: A seção 2 apresenta uma breve descrição sobre o DHCP e os agentes DHCP *relay*; a seção 3 aborda a questão do processo de *handoff*; na seção 4 são mostrados os trabalhos relacionados; logo em seguida, as seções 5 e 6 apresenta os detalhes e avaliação da proposta FHDRA; a seção 7 conclui o artigo apontando também os trabalhos futuros.

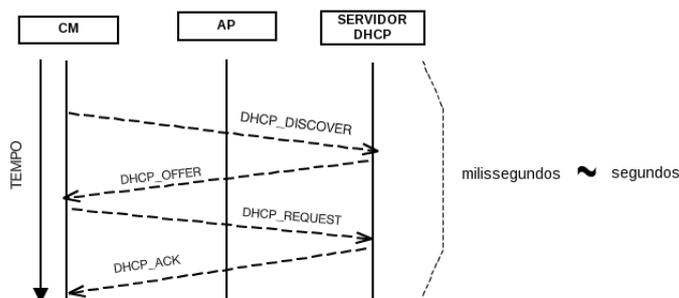
## 2. DHCP e Agente DHCP Relay

O DHCP [Droms 1997] provê um mecanismo que permite a configuração automática de parâmetros de rede para estações clientes. É um protocolo baseado no modelo cliente/servidor, onde o cliente requisita informações necessárias para configurar sua interface de rede e o servidor é o responsável por repassar essas informações e gerenciar os endereços IP disponíveis.

O cliente pode assumir basicamente cinco estados: INIT, INIT-REBOOT, SELECTING, RENEWING, REBINDING. Assim que o cliente acessa a rede pela primeira vez, estará no estado INIT, onde enviará uma mensagem DHCP\_DISCOVER. Posteriormente, entrará no estado SELECTING, quando enviará uma mensagem DHCP\_REQUEST

para o servidor selecionado. Antes do término do tempo de validade do endereço IP, o cliente entra no estado RENEWING, tentando renovar o tempo de permanência (*lease time*) do IP fornecido pelo servidor. Caso não haja sucesso durante esta fase, o cliente entrará no estado REBINDING, tentando desta vez renovar seu IP com qualquer outro servidor existente. O estado INIT-REBOOT ocorre quando o cliente, após seu desligamento ou reinício, ainda possui uma *lease time* válida e portanto faz uma requisição de renovação.

O processo de aquisição de um endereço IP envolve a troca de quatro mensagens, como mostra a Figura 1. No primeiro momento, quando o cliente se encontra no estado INIT, é enviada uma mensagem em *broadcast*, denominada DHCP\_DISCOVER, através da qual é solicitado um endereço IP. O servidor DHCP que receber esta mensagem responderá com um DHCP\_OFFER, oferecendo um endereço IP disponível. Ao receber esta mensagem, o cliente deverá solicitar o respectivo endereço, com um mensagem DHCP\_REQUEST. Só então o servidor finaliza o processo enviando uma mensagem DHCP\_ACK.



**Figura 1. Processo de configuração de IP realizado pelo DHCP**

Entretanto, a interação entre cliente e servidor nem sempre envolverá as quatro mensagens. Isso ocorre, por exemplo, quando um cliente que já possui um endereço IP configurado deseja renovar a *lease time* do seu IP. Neste caso, o cliente envia um tipo de mensagem DHCP\_REQUEST que é entendida pelo servidor como uma renovação e pode ser respondida diretamente com uma mensagem DHCP\_ACK. De acordo com [Droms 1997], existem quatro tipos de mensagens DHCP\_REQUEST conforme os estados em que o cliente DHCP se encontra. A Tabela 1 mostra as diferenças entre elas.

**Tabela 1. Mensagem DHCP\_REQUEST enviada em diferentes estados.**

	INIT-REBOOT	SELECTING	RENEWING	REBINDING
<b>broad/unicast</b>	broadcast	broadcast	unicast	broadcast
<b>ip_servidor</b>	não	sim	não	não
<b>ip_requisitado</b>	sim	sim	não	não
<b>ciaddr</b>	não	não	sim	sim

A primeira linha indica os estados em que o cliente DHCP pode se encontrar ao enviar uma mensagem DHCP\_REQUEST para o servidor. A primeira coluna representa alguns campos presentes na mensagem DHCP. *ip\_servidor* é um dos subcampos de OPTIONS e representa o endereço IP do servidor para o qual a mensagem está sendo endereçada. *ip\_requisitado* é outro subcampo de OPTIONS e representa o IP dese-

jado pelo cliente. *ciaddr* representa o endereço IP do cliente. *sim* e *não* representam a condição desses campos estarem preenchidos nas mensagens DHCP.

Como se pode observar, as mensagens DHCP\_REQUEST podem ser enviadas em *broadcast*, que dependendo do tamanho do domínio de *broadcast* pode gerar considerável carga na rede. Esse efeito pode causar consequências indesejáveis como aumento da taxa de erro e redução da vazão da rede. Tais problemas se tornam ainda mais críticos para redes sem fio de múltiplos saltos, já que estas sofrem de maior limitação de banda e altas taxas de perda.

Devido a essa questão, desde o BOOTP [Croft and Gilmore 1985], antecessor do DHCP, se mencionava uma entidade cuja finalidade era atuar no processo de configuração do cliente, evitando mensagens em *broadcast*. Em [Wimer 1993] essa entidade foi melhor definida, passou a ser denominada agente DHCP *relay* e posteriormente em [Patrick 2001] foi incluída ao conjunto OPTIONS do DHCP.

O agente DHCP *relay* não é um servidor DHCP, embora se comporte como um, utilizando a mesma porta do servidor (67) para atender as mensagens DHCP dos clientes. Ele também utiliza a mesma porta do cliente (68) para atender as mensagens encaminhadas pelo servidor. Todavia, o agente DHCP *relay* não possui qualquer inteligência para tratar as mensagens de cliente e servidor. Ou seja, sua função é apenas retransmitir as mensagens DHCP entre as duas entidades, permitindo que ambos estejam em sub-redes distintas. Assim, com o uso dos agentes DHCP *relay*, as mensagens trocadas entre cliente e servidor podem ser endereçadas em *unicast*, evitando a replicação de mensagens.

### 3. O Processo de Handoff

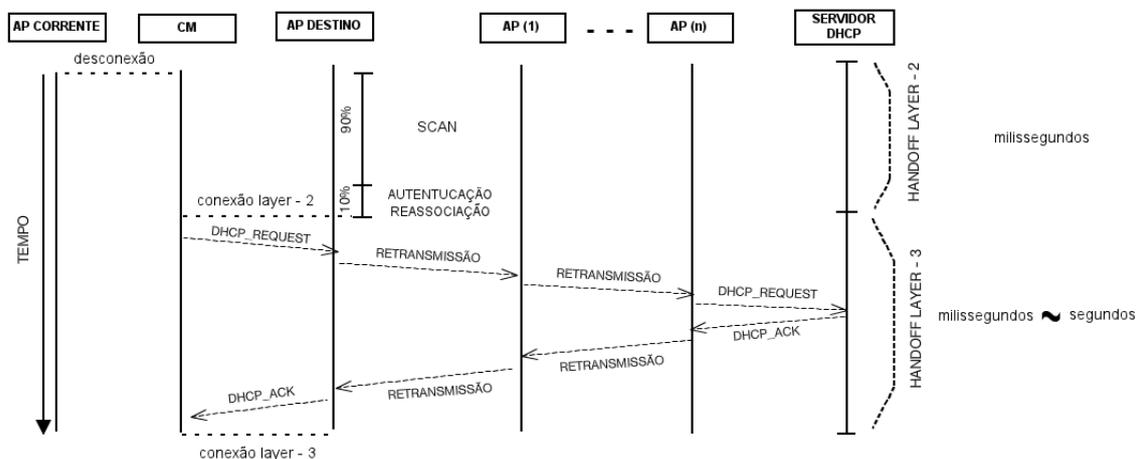
O *handoff* é um dos elementos centrais dentro do estudo de mobilidade. Por essa razão ele se torna uma questão crítica para aplicações com restrições de tempo, tais como *Voice over IP* (VoIP), teleconferência, entre outras. Portanto, é necessário mecanismos de *handoff* para prover transparência de conectividade para clientes móveis. Alguns autores dividem o processo de *handoff* de acordo com as camadas de enlace e de rede.

O *handoff* atribuído a camada de enlace ou *layer-2* compreende as fases de DESCOBERTA e ASSOCIAÇÃO, conforme [Mishra et al. 2003]. Durante a fase de DESCOBERTA, o cliente realiza o SCAN que consiste na verificação de todos os canais disponíveis a fim de detectar *Access Points* (AP) vizinhos. Após a seleção de um dos APs, o cliente entra na fase de ASSOCIAÇÃO, onde efetuará a AUTENTICAÇÃO e REASSOCIAÇÃO com o novo AP.

Mas para que o CM possa estabelecer, manter ou reativar conexões com a rede é necessário ainda que ele passe pela fase de configuração de rede, a qual se denomina *handoff* de camada de rede ou *layer-3* [Mohanty and Akyildiz 2006]. Nessa fase o CM é auxiliado por um protocolo de configuração de rede, podendo este ser um protocolo de gerência de mobilidade, como por exemplo o MIP. O protocolo comumente utilizado por estações clientes para configuração de rede é o DHCP. Neste caso, sempre que o CM se associa a um novo AP, será executado o processo DHCP cliente que tentará se comunicar com o servidor DHCP. A Figura 2 simplifica o entendimento do processo de *handoff*.

Os *handoff's layer-2* e *layer-3* imprimem um atraso que pode variar conforme certos fatores. [Mishra et al. 2003] analisaram o *handoff* da camada de enlace e mostraram

que o atraso de *handoff layer-2* pode sofrer variação de acordo com o fabricante de *hardware* utilizado, pois estes podem adotar heurísticas mais otimizadas. [Mishra et al. 2003] verificaram também que 90% do atraso de *handoff Layer-2* corresponde ao processo de SCAN.



**Figura 2. Atraso total de handoff em redes sem fio de múltiplos saltos**

De acordo com [Hsieh and Kao 2011] a aquisição de IP através do DHCP é uma das fases que mais consome tempo em todo processo de *handoff* e [Forte et al. 2006] afirmam que o tempo requerido para que o protocolo DHCP atribua corretamente um endereço IP ao CM pode chegar a ordem de segundos.

O atraso causado durante todo processo de *handoff* pode ser ainda maior no caso das redes sem fio de múltiplos saltos, já que o servidor DHCP pode estar distante do CM por vários saltos. [Xie and Wang 2008] analisaram o processo de gerência de mobilidade em WMNs; conduziram um experimento no simulador OPNET, onde empregaram o protocolo MIP sobre uma WMN, e descobriram que o atraso total de *handoff* aumenta significativamente conforme o número de saltos, sendo que o atraso de *handoff layer-2* quase não sofre alteração, ao passo que o atraso de *handoff layer-3* aumenta substancialmente.

#### 4. Trabalhos Relacionados

Muitos trabalhos têm sido realizados na tentativa de minimizar a latência gerada durante o processo de *handoff*. Porém, poucos são voltados para redes sem fio de múltiplos saltos. Da mesma forma, existem várias propostas para redução do atraso de *handoff layer-3*, mas poucos têm tratado a questão da redução do tempo de alocação de endereço IP realizado pelo DHCP durante o *handoff*. De tal forma, a pesquisa conduzida neste trabalho não encontrou qualquer outra proposta de otimização do DHCP para redes sem fio de múltiplos saltos. Contudo, vale apresentar algumas propostas encontradas sobre o protocolo DHCP.

DRCP [McAuley et al. 2000a] é uma proposta ao DHCP cujo principal objetivo é acelerar o processo de aquisição de IP. Ao invés de quatro mensagens, como ocorre no DHCP, o DRCP faz uso de apenas duas mensagens para atribuir um endereço IP ao cliente. O cliente envia uma mensagem DHCP\_DISCOVER e assim que recebe um DHCP\_OFFER irá imediatamente configurar sua interface com o endereço IP oferecido, dispensando o processo que verifica o uso de endereços duplicados na rede, como é realizado pelo DHCP.

Porém este protocolo não atenta para o problema das redes sem fio de múltiplos saltos, pois se o servidor estiver distante por vários saltos as mensagens trocadas continuariam experimentando o mesmo atraso.

A RFC 4039 [Park et al. 2005] é uma proposta que tem o mesmo objetivo do DRCP, porém se trata apenas de uma extensão ao DHCP existente. A proposta consiste em criar uma nova opção para o conjunto `OPTIONS`, denominada *Rapid Commit Option*, que deve ser utilizada tanto pelo cliente quanto pelo servidor para seu pleno funcionamento. O uso desta opção sinaliza para ambas as entidades a capacidade de trocarem menos mensagens e assim acelerar o processo de aquisição de IP. Por exemplo, um cliente envia uma mensagem `DHCP_DISCOVER` com *Rapid commit Option*, caso o servidor DHCP também suporte esta opção, ele enviará, ao invés de um `DHCP_OFFER`, uma mensagem `DHCP_ACK` já com um endereço válido. Assim como o DRCP, esta proposta não endereça a questão de múltiplos saltos.

[Hsieh and Kao 2011] propõem um mecanismo para otimizar o processo de *handoff* e uma das estratégias apresentadas é a modificação do protocolo DHCP. A proposta porém é voltada para redes infraestruturadas IEEE 802.11, não levando em conta a característica de múltiplos saltos. Além disso, a proposta incorre em um problema para o DHCP: o cliente móvel ao receber `DHCP_OFFER` passa a usar o novo IP incondicionalmente. Isso poderá gerar inconsistência para o protocolo DHCP, uma vez que o servidor espera uma mensagem `DHCP_REQUEST`, caso isso não aconteça então o IP que fora oferecido será mantido como disponível, mas nesse caso, estará sendo utilizado, podendo causar duplicidade de IP na rede.

## 5. Proposta – FHDRA

DHCP é um protocolo largamente utilizado e se tornou o mais popular para configuração de *hosts*. Entretanto, ele foi projetado para redes cabeadas, onde os *hosts* estão fixos. Apesar disso, ele ainda é bastante empregado em redes sem fio, embora não atenda certos requisitos desejáveis para esse ambiente, tomando como principal exemplo a mobilidade. [McAuley et al. 2000b] apontam esses novos requisitos e sugerem que sejam feitas extensões ao DHCP a fim de atendê-los.

Visando contemplar essa necessidade, a proposta *Fast Handoff DHCP Relay Agent* (FHDRA) é uma extensão ao DHCP indicada para redes sem fio de múltiplos saltos. Ela tem como principal contribuição a diminuição do *overhead* e a diminuição do atraso de *handoff layer-3*. A proposta não necessita modificação nos clientes bem como no protocolo de roteamento. Além disso, a proposta FHDRA mantém a total consistência do funcionamento do DHCP, já que não altera as máquinas de estado do cliente e do servidor.

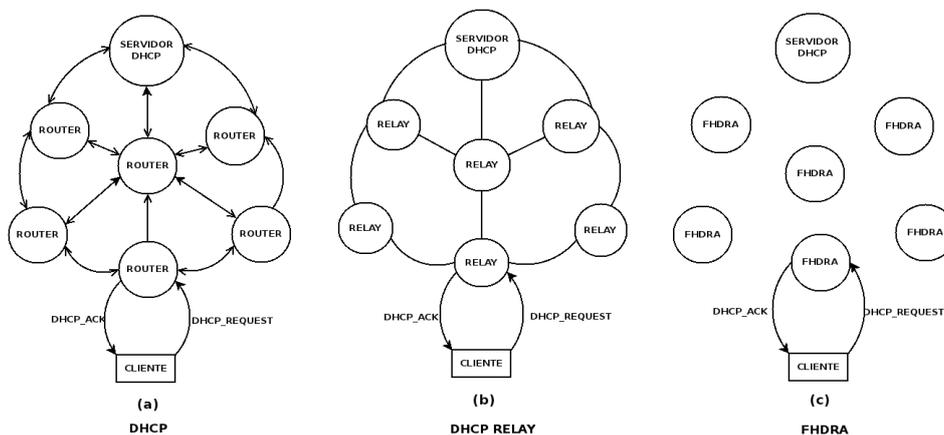
Tomando como exemplo de rede sem fio de múltiplos saltos uma WMN, esta possui um *gateway*, e como elemento central da rede, pode acumular certas funções, entre elas, a de servidor DHCP. Os demais nós são roteadores atuando como APs para os clientes. Quando um CM ingressa na rede, será executado o procedimento padrão do DHCP que inclui as quatro mensagens: `DHCP_DISCOVER`, `DHCP_OFFER`, `DHCP_REQUEST`, `DHCP_ACK`, respectivamente. Mas a medida que o CM se desloca, irá perdendo alcance do seu AP corrente até que se desassocia e efetua *handoff*, quando então se associará a outro AP da mesma rede.

O processo de *handoff* discutido passou pelas duas fases já mencionadas: *handoff*

layer-2 e layer-3. Durante o *handoff* layer-3, ainda que o CM continue na mesma sub-rede, irá executar o processo DHCP cliente. A diferença agora é que a máquina de estados do cliente DHCP reconhecendo que ainda possui uma *lease time* válida para seu endereço atual, requisitará o mesmo IP. E por sua vez, o servidor DHCP, verificando o mesmo, irá responder diretamente com uma mensagem DHCP\_ACK. Ou seja, durante o *handoff* não é realizado o procedimento inicial, em que ocorria a troca das quatro mensagens.

Observando esta característica do DHCP, percebeu-se que mesmo com a diminuição do número de mensagens, o *handoff* layer-3 apresentava ainda alta latência devido a questão dos múltiplos saltos e poderia gerar um *overhead* considerável de acordo com o tamanho da rede. A solução pensada para minimizar essa latência foi abstrair o número de saltos que separa o cliente do servidor. Para isso, seria necessário que o AP se tornasse um pseudo servidor DHCP, mas logo se percebeu que isso poderia prejudicar o funcionamento adequado do DHCP, gerando inconsistência de informações entre servidor e pseudo servidor. Descobriu-se então os agentes DHCP *relay* que funcionam em total acordo com o protocolo. Os agentes DHCP *relay* atuando em cada AP atenuariam o problema do *overhead*, possibilitando o envio de mensagens DHCP em *unicast*.

Porém o agente DHCP *relay* não possui inteligência para definir um tratamento mais adequado as mensagens. Como já foi explicado, ele atua apenas como um retransmissor de mensagens DHCP entre cliente e servidor. A proposta FHDRA agrega inteligência ao agente DHCP *relay*, tornando-o capaz de identificar um *handoff* e assim responder de imediato a mensagem DHCP\_REQUEST do cliente, ao invés de repassá-la ao servidor e aguardar sua resposta. Para as demais mensagens DHCP, o FHDRA oferece o mesmo tratamento dado pelo agente DHCP *relay*, isto é, retransmite as mensagens entre cliente e servidor.



**Figura 3. Comparação da proposta FHDRA com DHCP e DHCP Relay.**

A Figura 3 mostra três cenários para a mesma WMN, onde o cliente que efetuou *handoff* está enviando uma mensagem DHCP\_REQUEST. No cenário (a) ocorre a situação mais simples, onde não há a presença de agentes DHCP *relay*. Neste cenário se nota o *overhead* gerado pelas mensagens DHCP\_REQUEST em *broadcast* até o servidor. O cenário (b) conta com os agentes DHCP *relay*, neste caso, a mensagem será transmitida em *unicast* por um dos caminhos disponíveis até o servidor. O cenário (c) mostra o ganho do FHDRA em relação ao *overhead* e a latência. Após o *handoff*, o cliente recebe

instantaneamente um `DHCP_ACK` do FHDRA conectado.

O primeiro passo para efetuar a modificação nos agentes `DHCP relay` foi identificar o formato da mensagem `DHCP_REQUEST` gerada pelo cliente durante o *handoff*. Para isso, foi realizado um teste com três roteadores sem fio, um *notebook* e a ajuda da ferramenta *sniffer* Wireshark [Orebaugh et al. 2007]. Com essa ferramenta foi possível capturar os pacotes DHCP trocados no momento do *handoff*.

De acordo com a Tabela 1, o tipo de mensagem `DHCP_REQUEST` enviado pelo cliente no momento do *handoff* corresponde ao caso em que ele se encontra no estado `INIT-REBOOT`. A partir dessa informação se modelou o código do agente `DHCP relay` para que ele fosse capaz de relacionar esse tipo de mensagem ao *handoff* e responder com um `DHCP_ACK` instantaneamente.

Para evitar que os CMs permaneçam com endereços IP duplicados, é necessário manter a correspondência da *lease time* entre cliente e servidor DHCP. Em outras palavras, se o cliente permanecer com um IP que não foi renovado dentro do tempo estipulado pelo servidor, este endereço se tornará disponível e o servidor poderá atribuí-lo a outro cliente. Para manter essa fidelidade com o DHCP, o FHDRA atribui ao CM, quando este faz um *handoff*, uma *lease time* que corresponde a metade da *lease time* original. Desta forma, antes do término da *lease time* original, o CM realizará a renovação com o servidor.

Utilizou-se a distribuição Linux Openwrt para dispositivos embarcados. A proposta foi implementada usando como base o *software dhcp-forwarder*, disponível no repositório do Openwrt. O *software* é escrito na linguagem C. Como se trata de dispositivos embarcados é necessário compilar o código fonte para arquitetura utilizada nos roteadores. Isso foi feito através do *Software Development Kit*(SDK) oferecido pela comunidade Openwrt.

## 6. Avaliação da Proposta

Para avaliação da proposta foi montado um *testbed* no campus da Universidade Federal do Pará. Foram utilizados cinco roteadores TP-LINK TL-WR1043ND, cada um executando a distribuição Openwrt com uma implementação do protocolo IEEE 802.11s [Open80211s 2012]. O modelo mencionado vem de fábrica com três antenas omnidirecionais destacáveis com  $3dBi$  de ganho, mas foram substituídas por apenas uma antena de  $2dBi$  em cada roteador com o objetivo de diminuir o alcance.

A intenção era implantar um cenário onde os roteadores tivessem um alcance somente até seus vizinhos de um salto, para que desta forma pudessem efetuar múltiplos saltos até o servidor DHCP. Por esse motivo foram substituídas as antenas e graduada a potência do sinal dos roteadores. A distância entre os roteadores era de aproximadamente 20 metros. Outro fator a ser mencionado era o fluxo de pessoas ao redor do *testbed*. A Figura 4 mostra o cenário criado.

Foram realizados dois experimentos: o primeiro sem tráfego de *background* e o segundo com tráfego de *background* gerado na rede. Em ambos foram executados três testes: Teste 1, somente DHCP, sem a presença de agentes `DHCP relay`; Teste 2, com a presença de agentes `DHCP relay`; Teste 3, com a proposta FHDRA. Em cada um dos testes foram coletadas dez amostras. Não foi extrapolado o número de amostras porque dez foi um número suficiente para validar o desempenho da proposta, haja vista que em

todos os casos a proposta FHDRA se sobressaiu.

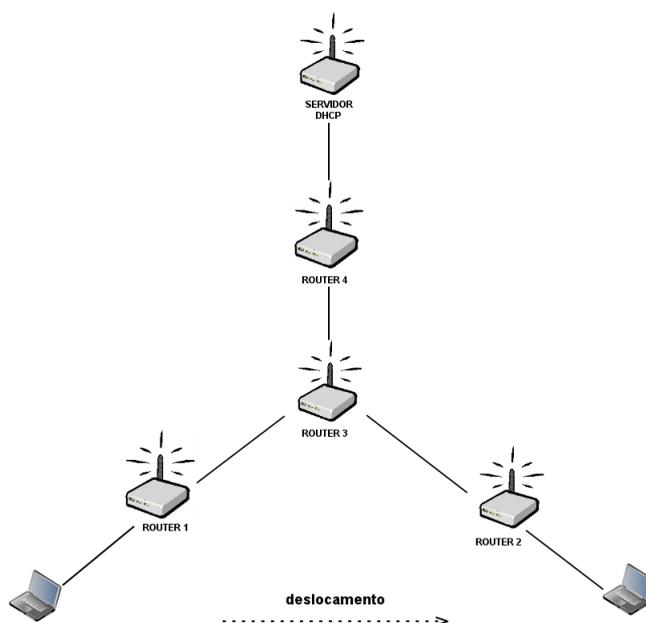


Figura 4. Cenário de teste.

O objetivo dos experimentos é avaliar a latência provocada pelo DHCP durante o processo de *handoff*. Em outras palavras, é a diferença entre o momento em que o CM requisita um endereço IP e o servidor lhe responde. Sendo assim, a mensuração da latência em todos os testes foi a diferença de tempo entre a primeira mensagem DHCP\_REQUEST e a mensagem DHC\_PACK. A medição foi realizada com o auxílio da ferramenta Wireshark.

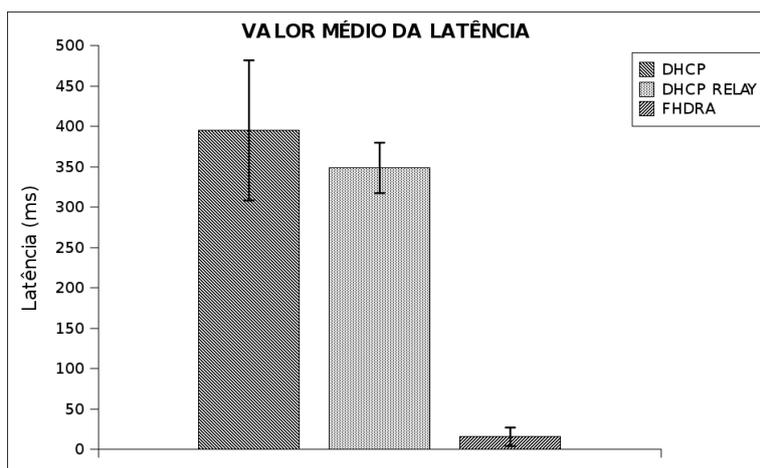


Figura 5. Resultado do experimento sem tráfego de *background*.

O gráfico da Figura 5 mostra a média e o desvio padrão das amostras no primeiro experimento. Sem tráfego de *background* interferindo nesse experimento, percebe-se que nos três testes a latência não passou da ordem de milissegundos. Mas a proposta FHDRA teve desempenho superior obtendo uma média de  $15ms$  contra  $395ms$  do Teste 1 (DHCP) e  $348ms$  do Teste 2 (DHCP Relay).

Os gráficos das Figuras 6 e 7 são referentes ao segundo experimento, no qual induzimos tráfego de *background* na rede com o intuito de representar uma rede em produtividade. Com o auxílio da ferramenta Iperf [Iperf 2012], foi gerado tráfego CBR de 100Kbps dos dispositivos ROUTER 1, ROUTER 2 e ROUTER 3 para o servidor DHCP, durante todo o tempo decorrido em cada um dos três testes.

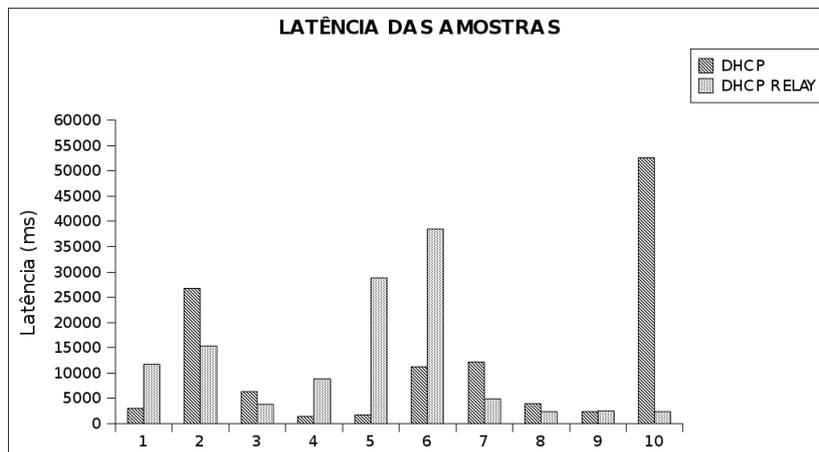


Figura 6. Resultado do Teste 1 e Teste 2 com tráfego de *background*.

Percebe-se com o gráfico da Figura 6, que agora com carga na rede, os valores de latência passam dos milissegundos chegando a marcar até 52s, como se observa na décima amostra do Teste 1 (DHCP). Neste gráfico todas as amostras foram maior que 1s. Isso mostra o efeito da latência em uma rede de múltiplos saltos com tráfego constante gerado pelas aplicações de usuários.

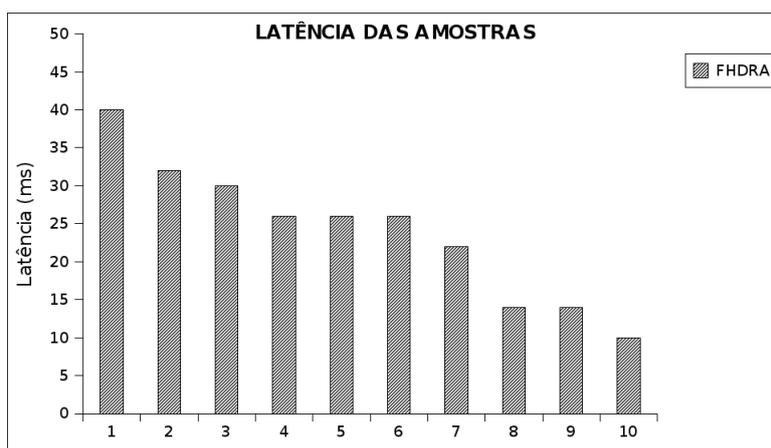


Figura 7. Resultado do Teste 3 com tráfego de *background*.

A oscilação dos valores do gráfico da Figura 6 reflete o comportamento do DHCP nos casos de retransmissão. O cliente DHCP é o único responsável por fazer retransmissão, além disso, o processo de retransmissão obedece a um algoritmo de *backoff* exponencial. O cliente DHCP pode tentar retransmitir por quatro vezes a mensagem DHCP\_REQUEST, em um total de 60s, antes de reiniciar o procedimento de aquisição de endereço voltando para o estado INIT [Droms 1997].

O gráfico da Figura 7 reafirma o desempenho da proposta FHDRA, mesmo com tráfego de *background*. A mensagem DHCP\_REQUEST, que é trocada durante o *handoff*, não precisa enfrentar a carga da rede imposta pelo tráfego de *background*. A latência, neste caso, continua na casa dos milissegundos, isso demonstra que a proposta é adequada para suportar aplicações com restrições de tempo.

## 7. Conclusão e Trabalhos Futuros

FHDRA é a primeira proposta de adaptação do DHCP para redes de múltiplos saltos apropriada para cenários de mobilidade. Conclui-se, com os resultados obtidos, que a proposta reduz consideravelmente o atraso de *handoff layer-3*, possibilitando aos CMs manterem suas conexões com mínimas latências da ordem de algumas dezenas de milissegundos. Essa característica assinala que a proposta FHDRA é indicado para o uso de aplicações de tempo real como voz e vídeo, cujo atraso máximo suportável é de  $150ms$  de acordo com [ITU-T 2003].

A redução do *overhead* causado pelas mensagens de *broadcast* do DHCP é outro benefício da proposta. Esse fator se torna ainda mais relevante para as redes sem fio de múltiplos saltos pois este tipo de rede apresenta maior escassez de recursos, altas taxas de erro e menor vazão, se comparada com as redes infraestruturadas.

Outros benefícios da proposta são: não requer modificação nos dispositivos clientes; não requer modificação no protocolo de roteamento; é uma solução barata pois não requer estratégias que adotem técnicas de múltiplos rádios, assim como equipamento ou protocolos especializados; possibilita transparência de mobilidade, permitindo que os CMs mantenham seus endereços IP após o *handoff* e continuem com suas conexões ativas.

Como trabalhos futuros, pretende-se expandir o cenário de teste com a criação de um *testbed* maior espalhado no campus da Universidade Federal do Pará. Pretende-se também realizar experimentos para verificar o impacto da proposta em aplicações de tempo real.

## Agradecimentos

Agradecimento ao apoio financeiro concedido pelo governo do Estado do Pará através da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Pará (FAPESPA).

## Referências

- Akyildiz, I. and Wang, X. (2009). *Wireless mesh networks*, volume 1. John Wiley & Sons Inc.
- Croft, B. and Gilmore, J. (1985). Rfc 951 - bootstrap protocol (bootp). <http://tools.ietf.org/html/rfc951>.
- Droms, R. (1997). Rfc 2131 - dynamic host configuration protocol (dhcp). <http://tools.ietf.org/html/rfc2131>.
- Forte, A., Shin, S., and Schulzrinne, H. (2006). Improving layer 3 handoff delay in ieee 802.11 wireless networks. In *Proceedings of the 2nd annual international workshop on Wireless internet*, page 12. ACM.

- Hsieh, I. and Kao, S. (2011). Handoff optimization in 802.11 wireless networks. *EURASIP Journal on wireless communications and networking*, 2011(1):1–16.
- Iperf (2012). Iperf: The tcp/udp bandwidth measurement tool. <http://iperf.sourceforge.net/>. [Online; acessado em Maio de 2012].
- ITU-T (2003). G. 114 - one-way transmission time. <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.114/>.
- McAuley, A., Das, S., Baba, S., and Shobatake, Y. (2000a). Ietf draft - dynamic registration and configuration protocol (drpc). <http://tools.ietf.org/html/draft-itsumo-drcp-01>.
- McAuley, A., Das, S., Baba, S., and Shobatake, Y. (2000b). Ietf draft - requirements for extending dhcp into new environments. <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-dhc-enhance-requirements-00>.
- Mishra, A., Shin, M., and Arbaugh, W. (2003). An empirical analysis of the ieee 802.11 mac layer handoff process. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 33(2):93–102.
- Mohanty, S. and Akyildiz, I. (2006). A cross-layer (layer 2+ 3) handoff management protocol for next-generation wireless systems. *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, 5(10):1347–1360.
- Open80211s (2012). The open80211s project. <http://open80211s.org/open80211s>. [Online; acessado em Maio].
- OpenWrt (2012). Openwrt wireless freedom. <https://openwrt.org/>. [Online; acessado em Maio de 2012].
- Orebaugh, A., Ramirez, G., and Burke, J. (2007). *Wireshark & Ethereal network protocol analyzer toolkit*. Syngress Media Inc.
- Park, S., Kim, P., and Volz, B. (2005). Rfc 4039 - rapid commit option for the dynamic host configuration protocol version 4 (dhcpv4). <http://tools.ietf.org/html/rfc4039>.
- Patrick, M. (2001). Rfc 3046 - dhcp relay agent information option. <http://tools.ietf.org/html/rfc3046>.
- Perkins, C. (2010). Rfc 5944 - ip mobility support for ipv4, revised. <http://tools.ietf.org/html/rfc5944>.
- Valkó, A. (1999). Cellular ip: A new approach to internet host mobility. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 29(1):50–65.
- Wimer, W. (1993). Rfc 1542 - clarifications and extensions for the bootstrap protocol. <http://tools.ietf.org/html/rfc1542>.
- Xie, J. and Wang, X. (2008). A survey of mobility management in hybrid wireless mesh networks. *Network, IEEE*, 22(6):34–40.
- Zhu, Z., Zhang, L., and Wakikawa, R. (2011). Rfc 6301- a survey of mobility support in the internet. <http://tools.ietf.org/html/rfc6301>.