Acessos sob demanda em NGN: impactos das trocas
dinâmicas entre provedores Wi-Fi para o usuário
móvel

Mário Ezequiel Augusto

SERVIÇO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO ICMC-USP

Data de Depósito:

Assinatura: _____

Acessos sob demanda em NGN: impactos das trocas dinâmicas entre provedores Wi-Fi para o usuário móvel

Mário Ezequiel Augusto

Orientador: Prof. Dr. Edson dos Santos Moreira

Tese apresentada ao Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - ICMC-USP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências - Ciências de Computação e Matemática Computacional. *VERSÃO REVISADA.*

**USP – São Carlos
Fevereiro de 2013**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Achille Bassi
e Seção Técnica de Informática, ICMC/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A923a Augusto, Mário Ezequiel
Acessos sob demanda em NGN: impactos das trocas
dinâmicas entre provedores Wi-Fi para o usuário móvel
/ Mário Ezequiel Augusto; orientador Edson dos
Santos Moreira. -- São Carlos, 2012.
115 p.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em
Ciências de Computação e Matemática Computacional) --
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação,
Universidade de São Paulo, 2012.

1. acesso sob demanda. 2. gerenciamento de
handover. 3. NGN. 4. MIH. 5. simulação de rede. I.
Moreira, Edson dos Santos, orient. II. Título.

À minha esposa, Geane Célia, e meus filhos
Marcelo Henrique, André Vinicius e Thiago
Ezequiel, razão do meu viver.

Agradecimentos

A Deus pela minha vida e pelas oportunidades que nela surgem.

A minha esposa, Geane Célia, e filhos Marcelo Henrique, André Vinicius e Thiago Ezequiel, por compreenderem os momentos de ausência, pelos créditos e confiança depositados nesta empreitada, e pelo carinho de sempre.

Aos meus pais, Gilberto e Fátima, pelo apoio incondicional em todos os momentos de minha vida, e aos meus irmãos, Ricardo e Giovana, pela amizade em família.

Ao meu orientador, Edson Moreira, pela oportunidade, por acreditar no meu trabalho, e pelos direcionamentos no decorrer desta tese.

Ao Hélio Guardia e Renata Vanni pelo tempo cedido nas reuniões relacionadas à montagem da arquitetura MYHand e contribuições para o artigo.

Ao Glenford Mapp e Mahdi Aiash da Universidade de Middlesex, Inglaterra, pelo apoio com alguns artigos.

Aos amigos Roberto Melani, Flávio Santana, Chidambaram, Hermes Irineu, e outros que, em algum momento, expressaram sincera confiança em mim e me deram o apoio moral para eu alcançar este objetivo.

Aos amigos do ICMC, Roberto Rigolin, Roberto Sadao, Bruno Kimura, Renata Vanni, e demais integrantes do Intermídia pela amizade e apoio.

Aos membros da banca de qualificação, professores Edmundo Madeira, Luis Trevelin, e Rodrigo Mello, pelos valiosos direcionamentos do trabalho, e aos membros da banca de defesa pelo tempo dedicado à leitura e análise desta tese.

À Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC por conceder o afastamento durante o período de doutorado.

Ao Programa de Pós-Graduação do ICMC-USP.

Resumo

Atualmente tem crescido o uso de aparelhos móveis com mais de uma interface de rede para o acesso à Internet, caracterizando em parte as Redes de Próxima Geração (NGN). Outras características da NGN são o acesso sob demanda, no qual o cliente de acesso não seria, necessariamente, usuário de um único provedor e usaria a rede de outros provedores conforme a necessidade, e o gerenciamento de *handover* (trocas de rede) centrado no usuário, no qual o usuário é quem decide à qual rede vai se conectar e em que momento. Existem algumas implicações relacionadas ao acesso sob demanda que podem melhorar ou piorar a experiência de acesso do usuário e causar certos impactos relacionados à vazão recebida, valor gasto, número de *handovers*, entre outros. Para o dispositivo móvel gerenciar os *handovers*, ele precisa obter informações sobre as redes disponíveis como, por exemplo, preço e incentivos, além das informações já obtidas atualmente como força do sinal recebido e identificador do provedor (SSID). Porém, os provedores não possuem um sistema automatizado para fornecer tais informações aos dispositivos móveis. Esta tese apresenta uma avaliação dos impactos das trocas dinâmicas entre provedores Wi-Fi para o usuário móvel, comparando o acesso sob demanda com o acesso tradicional (como é feito atualmente). Como metodologia para esta avaliação, foram realizadas simulações de redes em um cenário com provedores Wi-Fi com perfis diferentes, nas quais foram analisados o número de *handovers* realizados, a quantidade de bytes recebidos e o valor gasto com o acesso. Nestas simulações o usuário pôde priorizar o custo da conexão, a força do sinal recebido e a carga de trabalho no ponto de acesso para decidir a troca de rede. Esta tese também apresenta uma arquitetura para provimento de informações adicionais sobre as redes disponíveis em um ambiente de acesso sob demanda com gerenciamento de *handover* centrado no usuário, chamada MYHand (*MIH-based and Y-Comm-based Handover Management*). Para isso foi utilizada a arquitetura para acesso sob demanda chamada Y-Comm e o padrão IEEE 802.21 (*MIH – Media Independent Handover*). Os resultados desta tese contribuem no gerenciamento das trocas de rede e ubiquidade do acesso à Internet em NGN. A arquitetura MYHand auxiliará o dispositivo móvel a obter mais informações necessárias à decisão de *handover*, podendo otimizá-la. Com os resultados das simulações, o dispositivo móvel poderá prever o quanto determinada decisão poderá beneficiar a experiência do usuário em termos de qualidade da conexão e custo.

Palavras-chave: acesso sob demanda, gerenciamento de handover, NGN, Y-Comm, MIH, simulação

Abstract

Currently, the usage of mobile devices with multiple network interfaces for Internet access has been growing, characterizing partially the Next Generation Networks (NGN). Other features of the NGN are access on demand, in which the customer is not, necessarily, user of a single provider and would use the network of other providers as needed, and the user-centric handover management, in which the user decides which network to connect to and at which time. There are some implications related to access on demand which can improve or worsen the user access experience and cause some impacts related to throughput, paid value, number of handovers, among others. The mobile can manage the handovers but he needs to obtain information about available networks as, for example, price and incentives, in addition to the information already obtained currently as received signal strength and provider identifier (SSID). However, providers do not have an automated system to provide such information to mobile devices. This thesis presents an evaluation of the impacts of dynamic switching between Wi-Fi providers for the mobile user, comparing access on demand to the traditional approach (as currently done). As methodology for this evaluation, simulations were performed in a scenario with Wi-Fi providers with different profiles, in which the number of handovers performed, the amount of received bytes, and the paid value were analyzed. In these simulations the mobile user could prioritize the cost of the connection, the received signal strength, and the load on the access point to decide the handover. This thesis also presents an architecture for additional information provisioning about available networks in an access on demand environment with user-centric handover management, called MYHand (MIH-based and Y-Comm-based Handover Management). For this purpose, an architecture for access on demand called Y-Comm and the IEEE 802.21 standard (MIH – Media Independent Handover) were used. The results of this thesis contribute to the handover management and ubiquity of Internet access in NGN. The MYHand architecture will assist the mobile device to obtain more information, necessary to the handover decision, optimizing it. With the results of the simulations, the mobile device can predict how much a particular decision may benefit the user experience in terms of connection quality and cost.

Keywords: access on demand, handover management, NGN, Y-Comm, MIH, simulation

Sumário

<i>Lista de Figuras</i>	<i>iii</i>
<i>Lista de Tabelas</i>	<i>iv</i>
<i>Lista de Abreviaturas e Siglas</i>	<i>v</i>
Capítulo 1 Introdução	1
Capítulo 2 Tecnologias de Redes Sem Fio e NGN	7
2.1 Tecnologias de rede sem fio	7
2.1.1 Redes Wi-Fi (padrão IEEE 802.11)	7
2.1.2 Redes WiMAX (padrão IEEE 802.16).....	15
2.1.3 Rede de telefonia celular	17
2.2 Redes de Próxima Geração (NGN)	23
2.2.1 Ubiquidade de acesso	24
2.2.2 Acesso sob Demanda	25
2.2.3 Gerenciamento de handover	26
2.3 Network Simulator (NS2)	30
Capítulo 3 Gerenciamento de Mobilidade	32
3.1 Mobile IP	32
3.2 Arquiteturas para Provimento NGN	34
3.2.1 Arquitetura SOHand	34
3.2.2 Arquitetura Y-Comm	36
3.3 Handover Independente do Meio (MIH – Media Independent Handover)	38
3.3.1 Serviço de Eventos (MIES)	40
3.3.2 Serviço de Comandos (MICS)	40
3.3.3 Serviço de Informações (MIIS)	41
3.4 Trabalhos relacionados	44
Capítulo 4 Cenários simulados e resultados das simulações	48
4.1 Modificações no módulo Mobile IP	48
4.1.1 Priorizando preço de acesso	50
4.1.2 Priorizando força do sinal recebido.....	50
4.1.3 Priorizando carga no ponto de acesso	50
4.1.4 Outras alterações.....	51
4.2 Cenários simulados	51
4.2.1 Planejamento de Experimentos.....	54
4.3 Resultados das simulações	55
4.3.1 Resultados com o cenário menos povoado	56
4.3.2 Resultados com o cenário mais povoado.....	70
Capítulo 5 Arquitetura MYHand para provimento de informações	85
5.1 Esquema estendido proposto	86
5.2 Arquitetura MYHand	88
5.3 Validação da modelagem da arquitetura	96

Capítulo 6 Conclusões e trabalhos futuros.....	100
6.1 Contribuições	103
6.2 Trabalhos Futuros	104
Referências Bibliográficas.....	106
Apêndice A – Resultados do cenário menos povoado à 36 km/h	112
Apêndice B – Resultados do cenário menos povoado à 5 km/h.....	113
Apêndice C – Resultados do cenário mais povoado à 36 km/h.....	114
Apêndice D – Resultados do cenário mais povoado à 5 km/h.....	115

Lista de Figuras

Figura 1 - Componentes físicos de uma rede 802.11.....	8
Figura 2 - BSS Independente	10
Figura 3 - BSS Infraestruturado.....	10
Figura 4 - Processo de associação.....	11
Figura 5 - Conjunto de Serviço Estendido (ESS).....	13
Figura 6 - Arquitetura de um provedor Wi-Fi, adaptada de [Bresil, 2004]	14
Figura 7 - Arquitetura de rede GSM/GPRS, adaptada de [Bresil, 2004].....	19
Figura 8 - Arquitetura de rede UMTS, adaptada de [Bresil, 2004].....	21
Figura 9 - Classificação de tipos de handover, extraído de [Mapp, 2009]	28
Figura 10 - Funcionamento do MIPv6, extraído de [Martins, 2003].....	33
Figura 11 - Arquitetura SOHand, extraída de [Yokoyama, 2008].....	35
Figura 12 - Arquitetura Y-Comm, extraída de [Mapp, 2007].....	36
Figura 13 - Modelo de entidade habilitada com MIH, extraído de [IEEE, 2009a]	39
Figura 14 - Esquema Básico do IEEE 802.21.....	42
Figura 15 - Cenário menos povoado.....	52
Figura 16 - Cenário mais povoado	52
Figura 17 - Vazão à 36 km/h, tráfego VoIP, acesso tradicional, cenário menos povoado	57
Figura 18 - Valor gasto, cenário menos povoado, à 36 km/h, priorizando preço.....	59
Figura 19 - Valor gasto, cenário menos povoado, à 5 km/h, priorizando preço.....	59
Figura 20 - Vazão à 36 km/h, tráfego VoIP, priorizando preço, cenário menos povoado.....	60
Figura 21 - Bytes recebidos, cenário menos povoado, à 36 km/h, priorizando força do sinal	62
Figura 22 - Bytes recebidos, cenário menos povoado, à 5 km/h, priorizando força do sinal	63
Figura 23 - Vazão à 36 km/h, tráfego VoIP, priorizando RSSI, cenário menos povoado.....	63
Figura 24 - Valor gasto, cenário menos povoado, à 36 km/h, priorizando força do sinal	65
Figura 25 - Valor gasto, cenário menos povoado, à 5 km/h, priorizando força do sinal	65
Figura 26 - Bytes recebidos, cenário menos povoado, à 36 km/h, priorizando carga no AP.....	66
Figura 27 - Bytes recebidos, cenário menos povoado, à 5 km/h, priorizando carga no AP	67
Figura 28 - Vazão à 36 km/h, tráfego VoIP, priorizando carga no AP, cenário menos povoado	67
Figura 29 - Valor gasto, cenário menos povoado, à 36 km/h, priorizando carga no AP	69
Figura 30 - Valor gasto, cenário menos povoado, à 5 km/h, priorizando carga no AP	69
Figura 31 - Vazão à 36 km/h, tráfego VoIP, acesso tradicional, cenário mais povoado.....	72
Figura 32 - Valor gasto, cenário mais povoado, à 36 km/h, priorizando preço	74
Figura 33 - Valor gasto, cenário mais povoado, à 5 km/h, priorizando preço	74
Figura 34 - Vazão à 36 km/h, tráfego VoIP, priorizando preço, cenário mais povoado.....	76
Figura 35 - Bytes recebidos, cenário mais povoado, à 36 km/h, priorizando força do sinal	77
Figura 36 - Bytes recebidos, cenário mais povoado, à 5 km/h, priorizando força do sinal.....	78
Figura 37 - Vazão à 36 km/h, tráfego VoIP, priorizando RSS, cenário mais povoado.....	78
Figura 38 - Valor gasto, cenário mais povoado, à 36 km/h, priorizando força do sinal.....	79
Figura 39 - Valor gasto, cenário mais povoado, à 5 km/h, priorizando força do sinal.....	80
Figura 40 - Bytes recebidos, cenário mais povoado, à 36 km/h, priorizando carga no AP.....	81
Figura 41 - Bytes recebidos, cenário mais povoado, à 5 km/h, priorizando carga no AP.....	81
Figura 42 - Vazão à 36 km/h, tráfego VoIP, priorizando carga no AP, cenário mais povoado.....	82
Figura 43 - Valor gasto, cenário mais povoado, à 36 km/h, priorizando carga no AP.....	83
Figura 44 - Valor gasto, cenário mais povoado, à 5 km/h, priorizando carga no AP.....	83
Figura 45 - Esquema estendido proposto	87
Figura 46 - Arquitetura MYHand.....	89
Figura 47 - Procedimento de handover alternativo	92
Figura 48 - Procedimento de handover imperativo reativo.....	95
Figura 49 - Cenário para validação da modelagem da arquitetura	97

Lista de Tabelas

<i>Tabela 1 - Comparação entre padrões 802.11.....</i>	<i>8</i>
<i>Tabela 2 - Alguns eventos do Serviço de Eventos.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 3 - Descrição dos elementos da Figura 14.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 4 - Código RDF/OWL para tipo de enlace (link type).....</i>	<i>44</i>
<i>Tabela 5 - Comparação entre os trabalhos relacionados à política de decisão</i>	<i>47</i>
<i>Tabela 6 - Comparação entre os trabalhos relacionados à descoberta de redes.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabela 7 - Características dos provedores de acesso.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabela 8 - Parâmetros de configuração da camada MAC.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 9 - Bytes recebidos no cenário menos povoado (TRAD – acesso tradicional).....</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 10 - Número de handovers feitos no cenário menos povoado (TRAD – acesso tradicional).....</i>	<i>58</i>
<i>Tabela 11 - Bytes recebidos no cenário menos povoado (PREÇO - priorizando preço).....</i>	<i>60</i>
<i>Tabela 12 - Número de handovers feitos no cenário menos povoado (PREÇO - priorizando preço).....</i>	<i>61</i>
<i>Tabela 13 - Número de handovers feitos no cenário menos povoado (RSSI - priorizando força do sinal).....</i>	<i>64</i>
<i>Tabela 14 - Número de handovers feitos no cenário menos povoado (CARGA - priorizando carga no AP).....</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 15 - Resumo dos resultados - cenário menos povoado.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabela 16 - Bytes recebidos no cenário mais povoado (TRAD – acesso tradicional)</i>	<i>71</i>
<i>Tabela 17 - Número de handovers feitos no cenário mais povoado (TRAD – acesso tradicional)</i>	<i>73</i>
<i>Tabela 18 - Bytes recebidos no cenário mais povoado (PREÇO - priorizando preço).....</i>	<i>75</i>
<i>Tabela 19 - Número de handovers feitos no cenário mais povoado (PREÇO - priorizando preço).....</i>	<i>76</i>
<i>Tabela 20 - Número de handovers feitos no cenário mais povoado (RSSI - priorizando força do sinal).....</i>	<i>79</i>
<i>Tabela 21 - Número de handovers feitos no cenário mais povoado (CARGA - priorizando carga no AP).....</i>	<i>82</i>
<i>Tabela 22 - Resumo dos resultados - cenário mais povoado</i>	<i>84</i>
<i>Tabela 23 - Definição do esquema estendido proposto</i>	<i>88</i>
<i>Tabela 24 - Validação da modelagem da arquitetura - parte 1</i>	<i>98</i>
<i>Tabela 25 - Validação da modelagem da arquitetura - parte 2</i>	<i>99</i>

Lista de Abreviaturas e Siglas

3GPP	Third Generation Partnership Project
AAA	Authentication, Authorization and Accounting
ACS	Ambient Control Space
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AN	Ambient Networks
AP	Access Point
AuC	Authentication Center
BSA	Basic Service Area
BSC	Base Station Controller
BSS	Basic Service Set
BTS	Base Transceiver Station
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network, Correspondent Node
COA	Care-Of Address
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
DNS	Domain Name System
DOHand	Domain Ontology for Handovers
DS	Distribution System
EAP	Extensible Authentication Protocol
ESS	Extended Service Set
ETSI	European Telecommunications Standardizations Institute
FSK	Frequency Shift Keying

Gbps	Giga bits por segundo
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSC	Gateway MSC
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications
HA	Home Agent
HLR	Home Location Register
HSCSD	High Speed Circuit-Switched Data
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMS	IP Multimedia Subsystem
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IMT-2000	International Mobile Telecommunications
IP	Internet Protocol
ISM	Industrial, Scientific and Medical radio bands
ITU	International Telecommunication Union
Kbps	Kilo bits por segundo
LAN	Local Area Network
LOS	Light-Of-Sight
MAC	Medium Access Control
Mbps	Mega bits por segundo
MD5	Message Digest 5
ME	Mobile Equipment
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MIPv4	Mobile IP version 4

MIPv6	Mobile IP version 6
MSC	Mobile Switching Center
NLOS	Non-Light-Of-Sight
MN	Mobile Node
NGN	Next Generation Networks
NS2	Network Simulator 2
PDN	Packet Data Network
PKI	Public Key Infrastructure
PSTN	Public Switched Telephone Network
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
OSI	Open Systems Interconnection
QoS	Quality of Service
RFC	Request For Comments
RNC	Radio Network Controller
SGSN	Serving GPRS Support Node
SLA	Service Level Agreement
SNMP	Simple Network Management Protocol
SOHand	Service Oriented Handover Management System
SSID	Service Set Identifier
TCP	Transmission Control Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access
TLS	Transport Layer Security
UDP	User Datagram Protocol
UE	User Equipment

UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USIM	UMTS Subscriber Identity Module
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VoIP	Voice over Internet Protocol
VLR	Visitor Location Register
WECA	Wireless Ethernet Compatibility Alliance
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Macroware Access
WISP	Wireless Internet Service Provider
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network

Capítulo 1 Introdução

Desde o surgimento da primeira rede de computadores, há um grande esforço no sentido de aumentar cada vez mais a velocidade de transmissão de dados e melhorar os serviços oferecidos. A velocidade de transmissão das redes cabeadas começou com algumas dezenas de Kbps (kilobits por segundo), passando por 10 Mbps e 100 Mbps até alcançar velocidades atuais de 10 Gbps e 100 Gbps nas redes de fibra óptica.

A evolução das redes sem fio (*wireless*) tem seguido a mesma tendência, com o aparecimento de novas tecnologias e o gradativo aumento na velocidade de transmissão. As redes sem fio de longa distância utilizadas pela telefonia celular iniciaram com transmissão analógica de voz [DeVriendt, 2002]. Depois o sistema foi digitalizado e apareceram serviços de envio de mensagens curtas de texto, fax e comutação de pacotes (como na Internet). Com o aumento de velocidade e a evolução dos aparelhos, surgiram serviços de envio de correio eletrônico (e-mail), navegação web e outros [DeVriendt, 2002]. As redes sem fio de curta e média distância como, por exemplo, Bluetooth [Bluetooth, 2009], Wi-Fi [IEEE, 2007] e WiMAX [WiMAX, 2009], alcançam velocidades de 1 Mbps a 54 Mbps, e podem chegar até 300 Mbps com o padrão 802.11n [IEEE, 2009b], ou mesmo 1 Gbps com o esperado padrão 802.11ac [Wiki, 2012].

Quase a totalidade das redes sem fio está presente na chamada última milha (*last mile*), que é o trecho de rede mais próximo do usuário. Com isso, as redes como um todo estão compostas por duas partes: a parte central da rede (núcleo ou *core*) formada por cabos (geralmente fibra óptica), proporcionando velocidades extremamente rápidas e baixas perdas de pacotes, e a parte periférica da rede (última milha) formada por redes sem fio, caracterizadas por menores taxas de transferência e maiores perdas de pacotes.

Para o acesso à rede na última milha, tem crescido o uso de aparelhos móveis com várias funções como *notebooks*, *smartphones* e *tablets*, e que utilizam várias tecnologias de comunicação. Por exemplo, os aparelhos denominados *smartphones* funcionam tanto como um celular quanto como um computador de bolso, podendo usar como meio de comunicação tanto a rede de telefonia celular quanto uma rede local Wi-Fi, ou até mesmo se comunicar diretamente com outros aparelhos sem a necessidade de uma infraestrutura de rede, compondo as chamadas redes *ad-hoc*.

Este cenário com dispositivos móveis e várias interfaces de rede por dispositivo caracteriza, em parte, as redes de próxima geração ou NGN (*Next Generation Networks*). Outras características da NGN são a ubiquidade do acesso à rede, ou seja, um dispositivo se desconecta de uma rede e se conecta a outra de forma transparente para o usuário, a presença de redes heterogêneas, o acesso sob demanda, e o gerenciamento de troca de rede centrado no usuário.

Redes heterogêneas são caracterizadas pela presença de tecnologias diferentes para o acesso. Embora existam tecnologias mais novas para fornecer acesso à Internet usando o meio sem fio como, por exemplo, WiMAX [WiMAX, 2009] [Loa, 2010] e LTE [Loa, 2010], atualmente existem, basicamente, duas formas: por meio dos provedores Wi-Fi (tecnologia IEEE 802.11b/g/n) e das operadoras de telefonia celular (tecnologia 3G). Provedores Wi-Fi oferecem pontos de acesso chamados de *hotspots* em estabelecimentos comerciais como aeroportos, hotéis, restaurantes e *cyber* cafés. Embora a conexão seja rápida (em torno de 17 Mbps com 802.11g) e mais barata, o acesso fica limitado à área próxima ao ponto de acesso. As operadoras de celular, através das tecnologias GPRS [Samjani, 2002] e 3G [ITU, 2009], oferecem uma área de cobertura maior, conseqüentemente maior mobilidade. Por outro lado, este acesso é mais lento (até 2 Mbps na 3G) e mais caro.

Tendo estas duas formas de acesso, o ideal seria aproveitar as vantagens de ambas, dependendo do ambiente em que o usuário se encontra, ou seja, ter uma cobertura total, com mobilidade real, preço acessível e as melhores taxas de transferência de dados. Para se utilizar tanto a rede celular como as redes Wi-Fi dos vários provedores, torna-se inviável ao usuário ser cliente de vários provedores de acesso, tendo que manter vários contratos, mensalidades, senhas de acesso e configurações das redes. Por este motivo, o acesso sob demanda torna-se imprescindível.

Em um cenário com acesso sob demanda, o usuário seria cliente de um único provedor de acesso, ou de uma entidade que funcionasse como intermediário (*broker*) entre o cliente e vários provedores, e usaria a rede dos outros provedores quando fosse necessário. No acesso tradicional, como é feito atualmente, o usuário móvel é cliente de um determinado provedor e conecta-se apenas às antenas deste provedor. Diferentemente do acesso tradicional, onde existe uma periodicidade maior de tempo conectado e tráfego do usuário, no acesso sob demanda o usuário ficaria conectado por um tempo aleatório em cada provedor, podendo até utilizar uma única vez um provedor e não mais voltar a usar. O usuário também tem maior liberdade em escolher à qual ponto de acesso vai se conectar (gerenciamento centrado no usuário e não na rede).

Do lado do usuário móvel existem algumas implicações em função do acesso sob demanda que podem melhorar ou piorar a experiência de acesso do usuário e causar alguns impactos relacionados, por exemplo, à vazão recebida, ao valor gasto, e ao número de trocas de rede, dependendo das redes disponíveis e eficiência no gerenciamento das trocas. A quantidade de usuários conectados em cada antena, o tempo de conexão, os serviços utilizados, o perfil de acesso e outras características são mais variáveis no acesso sob demanda, comparado com os acessos de clientes fixos. Isso torna mais difícil para o usuário prever como será sua experiência com o acesso.

Quando um dispositivo móvel estiver usando uma rede sem fio e se deslocar, ele pode perder o sinal da antena e precisar conectar-se a outra rede disponível para continuar *on-line*. Neste processo, chamado *handover*, o dispositivo móvel ou a rede de acesso deve decidir qual rede usar, a fim de dar continuidade à aplicação que é acessada pelo usuário. Para isso, deve-se considerar o tempo necessário para a mudança para a outra rede, a mudança na qualidade de serviço oferecida pela outra rede, entre outros fatores. Atualmente, o provedor de acesso (rede celular ou Wi-Fi) é responsável pelo gerenciamento do *handover*, ou seja, a rede decide quando e para qual ponto de acesso o dispositivo móvel deve realizar a troca. Esta tese parte do princípio de que este gerenciamento deve ser realizado pelo usuário, ou seja, gerenciamento de *handover* centrado no usuário, levando em consideração informações de contexto, preferências do usuário e considerando que ele poderá se conectar a uma rede de outro provedor de acesso. Porém os provedores não possuem um sistema automatizado para fornecer maiores informações de conexão a usuários desconhecidos em um ambiente NGN.

Para o dispositivo móvel gerenciar as trocas de rede, ele precisa obter informações sobre as redes disponíveis como, por exemplo, políticas de privacidade e segurança, métricas de Qualidade de Serviço (velocidade de transmissão, atraso de envio dos pacotes, *jitter*, etc), preço, entre outras informações. Para o usuário obter tais informações das várias redes disponíveis, os provedores de acesso precisam criar mecanismos para oferecer estas informações aos usuários e, desta forma, atrair mais clientes para sua rede de acesso.

Esta tese apresenta dois objetivos principais. O primeiro objetivo é a realização de uma avaliação dos impactos das trocas dinâmicas entre provedores Wi-Fi para o usuário móvel, comparando o acesso sob demanda com o acesso tradicional (como é feito atualmente). Como metodologia para esta avaliação, foram realizadas simulações de rede em um cenário com vários provedores Wi-Fi com perfis diferentes, nas quais foram analisados o número de *handovers*

feitos, a quantidade de dados recebidos e o quanto o usuário gastou com a conexão. Para melhor validar os resultados, vários cenários foram simulados, variando-se a quantidade de antenas e usuários, velocidade do usuário móvel, a aplicação em execução no usuário móvel e o tráfego nos outros usuários, totalizando 144 simulações diferentes. O usuário móvel pôde priorizar o custo da conexão, a força do sinal recebido e a carga de trabalho no ponto de acesso para decidir a troca de rede. O segundo objetivo é a criação de uma arquitetura para provimento de informações sobre as redes disponíveis em um ambiente de acesso sob demanda com gerenciamento de *handover* centrado no usuário. Para isso foi utilizada uma arquitetura para acesso sob demanda chamada Y-Comm e os serviços de informações (MIIS), eventos (MIES) e comandos (MICS) de um protocolo que visa auxiliar o gerenciamento de troca independente do meio (MIH – *Media Independent Handover*).

É possível encontrar trabalhos relacionados ao gerenciamento de *handover* como, por exemplo, em [Palazzi, 2007], onde os autores simulam uma versão modificada do protocolo Mobile IP [Perkins, 2002] o qual torna o *handover* mais transparente em redes sem fio com sobreposição de sinal. Outros trabalhos, comentados no próximo capítulo, propõem novas políticas de decisão de *handover* [Aust, 2003][Rizvi, 2010][Wang, 1999][Zhu, 2006][Kassar, 2008] e otimização de *handover* [Sharma, 2004]. Porém, na maioria dos trabalhos há apenas um ou alguns poucos cenários diferentes e as redes geralmente pertencem ao mesmo provedor. Esta tese diferencia-se destes trabalhos com a simulação de 144 configurações diferentes de cenários e as antenas pertencendo a provedores com diferentes características, possibilitando uma melhor validação dos resultados e uma comparação entre acesso tradicional e sob demanda.

Também é possível encontrar alguns trabalhos relacionados à descoberta de rede [Korhonen, 2008][Dutta, 2006][Wu, 2009] [Cicconetti, 2011]. Porém estes trabalhos se preocupam com informações tecnológicas, necessárias ao processo de *handover* imperativo, no

qual o dispositivo móvel tem a necessidade de realizar a troca para não haver queda de qualidade e/ou conexão. A arquitetura MYHand, proposta nesta tese, diferencia-se destes trabalhos estendendo a descoberta de redes, embutindo informações extras como as relacionadas, por exemplo, a incentivos, necessárias ao processo de *handover* alternativo, no qual o dispositivo móvel não é obrigado a realizar por questões tecnológicas mas realiza por preferência do usuário ou incentivo. Também é a primeira arquitetura criada que utiliza Y-Comm em conjunto com o padrão IEEE 802.21 (MIH), além de uma extensão ao esquema básico do 802.21.

Os resultados desta tese contribuem no gerenciamento de *handovers* e ubiquidade do acesso à Internet na NGN. A arquitetura MYHand poderá auxiliar o dispositivo móvel a obter mais informações necessárias à decisão de *handover*, podendo otimizá-la. Com os resultados de valor gasto, vazão e número de *handovers* das simulações, o dispositivo móvel poderá prever o quanto determinada decisão de *handover* poderá beneficiar a experiência do usuário em termos de qualidade de conexão e custo.

Além deste capítulo introdutório, no capítulo 2 é apresentada uma revisão em abrangência da literatura relacionada a esta tese, mais precisamente, as tecnologias de rede sem fio Wi-Fi, WiMAX e celular, alguns aspectos das Redes de Próxima Geração, e o simulador de rede NS2. No capítulo 3 é apresentada uma revisão da literatura com maior foco no gerenciamento de mobilidade. Os cenários simulados e os resultados das simulações são descritos no capítulo 4. O capítulo 5 apresenta a arquitetura proposta (MYHand) para fornecimento de informações para tomada de decisão de *handover*. O capítulo 6 conclui a tese e apresenta as contribuições e trabalhos futuros.

Capítulo 2 Tecnologias de Redes Sem Fio e NGN

As redes sem fio (*wireless*), como o próprio nome diz, são redes formadas sem o uso de cabos. Ao contrário das redes cabeadas (*wired*), as redes sem fio utilizam ondas de rádio para se comunicar e, devido a esta característica, são mais flexíveis com relação à mobilidade dos usuários. Isso possibilitou o avanço da telefonia móvel (celulares) e, mais recentemente, o conceito de NGN (Redes de Próxima Geração). Algumas das tecnologias de rede sem fio mais conhecidas são Wi-Fi (padrão IEEE 802.11), WiMAX (padrão IEEE 802.16), Bluetooth (padrão IEEE 802.15) e a rede celular.

Este capítulo apresenta uma revisão em abrangência da literatura relacionada a este trabalho, mais precisamente as tecnologias de rede sem fio utilizadas na periferia da rede (última milha), as Redes de Próxima Geração, e o simulador de rede NS2.

2.1 Tecnologias de rede sem fio

Quase a totalidade das redes sem fio está presente na chamada última milha, que é o trecho de rede mais próximo do usuário final. Estas redes oferecem menor taxa de transferência e maior perda de pacotes comparados com o núcleo da rede.

2.1.1 Redes Wi-Fi (padrão IEEE 802.11)

O funcionamento das redes que seguem o padrão 802.11 [IEEE, 2007] do IEEE (Instituto dos Engenheiros Elétricos e Eletrônicos) é similar às redes Ethernet (IEEE 802.3), com algumas implementações a mais, necessárias ao funcionamento conjunto com redes Ethernet.

O padrão 802.11 é uma parte da família IEEE 802, a qual é uma série de especificações de tecnologia de redes locais focadas nas camadas física e de enlace de dados do modelo OSI [Tanenbaum, 2003]. O termo Wi-Fi, do inglês “Wireless Fidelity”, foi designado pela WECA

(Wireless Ethernet Compatibility Alliance) [WiFi, 2009] para certificar produtos compatíveis com o padrão 802.11. Ou seja, produtos com a logomarca Wi-Fi satisfazem às requisições de interoperabilidade exigidas pelo WECA e podem operar com outros produtos com a logomarca Wi-Fi, independente do fabricante. A faixa de rádio frequência utilizada é a banda não licenciada ISM (*Industrial Scientific and Medical*).

O padrão IEEE 802.11 é dividido em várias especificações que variam principalmente em velocidade e frequência utilizada. Atualmente a maioria das redes Wi-Fi instaladas segue o padrão 802.11g. Uma comparação entre estes padrões é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Comparação entre padrões 802.11

Padrão	Velocidade	Frequência
802.11	1 Mbps e 2 Mbps	2.4 Ghz
802.11a	Até 54 Mbps	5 Ghz
802.11b	Até 11 Mbps	2.4 Ghz
802.11g	Até 54 Mbps	2.4 Ghz
802.11n	Até 300 Mbps	2.4 e 5 Ghz

Redes padrão 802.11 consistem de 4 componentes físicos principais (ver Figura 1) [Gast, 2002]:

Figura 1 - Componentes físicos de uma rede 802.11

- Ponto de Acesso (AP - *Access Point*): o principal objetivo do ponto de acesso é realizar a função de ponte (*bridging*) entre a rede sem fio e a rede cabeada;
- Sistema de Distribuição (DS - *Distribution System*): geralmente o DS é formado por uma rede Ethernet (cabeada) e é responsável por fornecer acesso à rede sem fio ao restante da rede (inclusive a outras redes sem fio e à Internet);
- Meio sem fio (*wireless medium*): é o meio físico usado para a transmissão dos quadros de dados entre estações e pontos de acesso;
- Estações (*stations*): são os dispositivos computacionais com interfaces de rede sem fio, por exemplo, *notebooks*, *smartphones*, *tablets* ou mesmo computadores de mesa.

O bloco básico de formação de uma rede 802.11 é o chamado conjunto básico de serviço (BSS – *Basic Service Set*), ou seja, um grupo de estações que se comunicam entre si, utilizando ou não um ponto de acesso. Estas comunicações ocupam uma área com limites não exatos chamada área básica de serviço (BSA – *Basic Service Area*), definida pela propagação das ondas de rádio. Uma rede típica 802.11g tem um alcance de aproximadamente 100 metros do ponto de acesso. Quando uma estação está dentro de uma área de serviço, esta pode se comunicar com outras estações do conjunto de serviço. Cada BSS é configurado com um identificador da rede, chamado SSID (*Service Set Identifier*). Em um mesmo ponto de acesso, podem ser configurados mais de um SSID formando redes virtuais (VLANs).

Um conjunto de serviço pode ser formado de duas maneiras: um conjunto de serviço independente ou um conjunto infraestruturado, como pode ser visto nas Figuras 2 e 3.

Figura 2 - BSS Independente

Figura 3 - BSS Infraestruturado

No conjunto de serviço independente, as estações se comunicam diretamente umas com as outras e formam as chamadas redes *ad-hoc*. Geralmente um BSS independente é composto por poucas estações (normalmente duas) e tem um tempo de vida curto. Um exemplo típico é um BSS composto por duas estações com o objetivo de transferir arquivos de uma para a outra; quando a transferência termina, o BSS é desfeito.

No modo infraestruturado, é utilizado um ponto de acesso para a comunicação entre as estações, ou seja, um pacote de dados com origem na estação 1 e destino na estação 2, primeiramente é transferido para o ponto de acesso e este o retransmite para a estação 2. A rede infraestruturada tem duas vantagens principais [Gast, 2002]:

- é definida pela distância do ponto de acesso. Todas as estações móveis precisam estar dentro da área de alcance do ponto de acesso, mas não há restrição quanto à distância entre as estações. Na comunicação direta entre estações (modo independente) há economia na transmissão de dados pelo meio sem fio, porém aumenta-se a complexidade na implementação da camada física devido ao fato das estações precisarem manter relacionamentos com todas as estações dentro da área de serviço;
- o ponto de acesso pode ajudar a estação a economizar energia, armazenando pacotes e retransmitindo aos poucos. As estações móveis, para economizar energia, podem

desligar o transmissor/receptor de sinal quando não estão transmitindo e ligar novamente apenas quando vão transmitir ou receber dados armazenados no ponto de acesso.

Na rede infraestruturada, a estação deve se associar a um, e apenas a um, ponto de acesso para obter o serviço de rede. É como conectar o cabo de rede em uma Ethernet. Este processo é chamado de associação [Cisco, 2008]. A Figura 4 apresenta um processo de associação com o uso de senha pré-compartilhada (*Preshared key*) ou chave secreta. Este processo é dividido em três partes: *scanning*, *authentication* e *association*.

Figura 4 - Processo de associação

Primeiramente o cliente sem fio faz uma varredura por pontos de acesso (*active scanning*) enviando quadros denominados *Probe requests* em todos os 11 canais disponíveis no 802.11 (no total são 14 canais, mas no Brasil são usados os 11 primeiros). Os pontos de acesso que receberem estas solicitações enviam uma resposta (*Probe response*) com informações de canal utilizado, SSID, entre outras informações. O cliente também pode realizar um *passive scanning*, ou seja, ele não envia *Probe requests*, apenas aguarda algum ponto de acesso enviar quadros de controle chamados *beacons*, os quais contêm o SSID da rede.

O cliente sem fio (estação) escolhe um dos APs disponíveis para tentar se conectar baseado em conhecimento pré-existente do SSID, força do sinal, entre outros critérios. Para o AP

escolhido, o cliente sem fio inicia o processo de autenticação (*authentication*) enviando quadros de *Authentication request*. O AP responde com um quadro de desafio, o qual contém um texto que deve ser criptografado pelo cliente utilizando a chave secreta. O cliente envia o texto criptografado para o AP e, caso este confira a autenticidade da chave secreta, aceita o cliente enviando uma resposta confirmando a autenticação.

Por fim, o cliente envia um quadro de pedido de associação (*Association request*). Ao receber o pedido, o AP insere o endereço MAC do cliente em sua tabela de associação e responde com um OK (*status code* = 0) e uma identificação da associação (Association ID) ao cliente. Esta associação é necessária ao roteamento de dados entre cliente e o sistema de distribuição.

Um único conjunto de serviço (BSS) pode não conseguir cobrir uma área muito grande, mas a especificação 802.11 permite a interligação entre conjuntos de serviço, criando desta forma um conjunto estendido de serviço (ESS – *Extended Service Set*), sendo que todos os pontos de acesso são configurados para pertencer ao mesmo ESS, sendo configurados com o mesmo SSID. A Figura 5 ilustra um conjunto estendido formado por três BSSs, cada um com um ponto de acesso fornecendo o sinal de rádio. A formação de um ESS permite maior mobilidade dos usuários sem fio e uma área de cobertura maior, de tal forma que um dispositivo móvel possa sair de uma área BSS e entrar em outra sem perder contato com a rede, supondo que exista uma área de sobreposição de sinal (*overlap*) dos dois BSS em questão. O padrão 802.11 não especifica uma tecnologia para fazer esta interligação, podendo conectar os pontos de acesso em um mesmo *switch/hub* ou mesmo usar comunicação sem fio.

Figura 5 - Conjunto de Serviço Estendido (ESS)

A estação D na Figura 5 está realizando um *handover*, que é o processo que ocorre quando um dispositivo móvel muda seu ponto de acesso à Internet, e pode ocorrer entre sistemas usando a mesma tecnologia de acesso ou tecnologias diferentes. O gerenciamento de *handover* é abordado com mais detalhes no capítulo 3.

O surgimento de novas tecnologias de rádio frequência tem proporcionado um grande aumento no uso das redes sem fio na periferia da rede. Juntamente com a popularização das redes Wi-Fi, cresceu o número de dispositivos móveis como *notebooks* e celulares com interface 802.11. Estes dois fatores propiciaram o surgimento de provedores Wi-Fi (WISPs – *Wireless Internet Service Providers*) que disponibilizam os chamados *hotspots* padrão 802.11 b/g/n instalados em estabelecimentos comerciais como aeroportos, hotéis, restaurantes e *cyber* cafés.

Um WISP geralmente surge de uma das quatro situações diferentes: uma operadora de telefonia celular que integra WLANs aos seus serviços já existentes [3GPP 22.934], um provedor convencional de acesso à Internet que estende a infraestrutura aos clientes, novas empresas que operam apenas como WISPs ou pontos comerciais como aeroportos e restaurantes, com fornecimento próprio de Internet aos clientes locais.

A Figura 6 apresenta uma arquitetura típica de fornecimento de acesso Internet de um WISP. Nesta figura estão representados dois estabelecimentos com *hotspots* do mesmo WISP. Um restaurante, por exemplo, como tem um número menor de usuários conectados, possui apenas um ponto de acesso e uma conexão ADSL à Internet. Em um aeroporto, com uma área de cobertura maior e mais usuários, o provedor possui vários pontos de acesso controlados por um *wireless switch* e uma conexão Ethernet com a rede do provedor. Todos os APs do mesmo WISP são configurados com o mesmo SSID.

Figura 6 - Arquitetura de um provedor Wi-Fi, adaptada de [Brasil, 2004]

Como ainda pode ser observado na Figura 6, do lado do provedor encontra-se um servidor web que hospeda o portal web e um servidor AAA (*Authentication, Authorization and Accounting*). O servidor AAA consulta a base de dados local dos seus clientes e um serviço de *roaming* para autenticar clientes de outros provedores, os quais possuem um acordo de *roaming*.

Geralmente a autenticação do usuário é feita utilizando-se uma página web chamada *captive portal* e autenticação 802.1x com protocolo EAP (Extensible Authentication Protocol)

[Blunk, 1998]. O objetivo do protocolo 802.1x é fornecer autenticação e controle de acesso para um AP por meio do protocolo EAP. Com o 802.1x a autenticação é realizada ao nível de usuário e não por lista de endereços MAC. O EAP é de uso geral para autenticação e suporta vários métodos de autenticação como MD5 (*Message Digest 5*), TLS (*Transport Layer Security*) e PKI (*Public Key Infrastructure*).

Quando o usuário vai acessar algum serviço na Internet, o AP verifica que ele ainda não possui permissões de acesso e apresenta uma página web (*captive portal*) para o usuário entrar com um nome de usuário e senha. O AP encapsula nome de usuário e senha em mensagens EAP e as envia ao servidor AAA. Este último verifica o nome de usuário, a senha e as permissões de acesso à rede e, se as informações forem validadas, responde ao AP com uma mensagem liberando o acesso ao usuário. A RFC 2869 [Rigney, 2000] detalha este processo utilizando o servidor Radius.

2.1.2 Redes WiMAX (padrão IEEE 802.16)

A tecnologia WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) [WiMAX, 2009] segue uma especificação da IEEE denominada IEEE 802.16. Diferentemente das redes Wi-Fi que são redes locais sem fio (WLAN), as redes WiMAX tem um alcance de até 50 Km, sendo consideradas redes metropolitanas sem fio (WMAN – *Wireless Metropolitan Area Network*).

A primeira versão (2001), denominada IEEE 802.16, especificou uma frequência no intervalo de 10-66 GHz [Li, 2007], taxa de transferência teórica de 120 Mbps e alcance de 50 Km. Porém este padrão apenas suportava transmissão com visada (LOS – *Line-Of-Sight*) e não era ideal para áreas urbanas. A segunda versão, denominada IEEE 802.16a-2003, não exigia linha de visada (NLOS – *non-LOS*), suportava frequências no intervalo de 2-11 GHz e incluiu suporte a

redes *mesh* (redes em malha). Em 2004 foi definido o padrão 802.16d (IEEE 802.16-2004) para rede fixa, sem mobilidade.

Em 2005 foi oficializada a versão IEEE 802.16e-2005, com suporte à mobilidade e por isso ficou conhecida como Mobile WiMAX. Esta versão apresenta benefícios potenciais em termos de cobertura, consumo de energia, reuso de frequência e eficiência de largura de banda. Este padrão utiliza o intervalo de frequência de 2-6 GHz e não suporta modo *mesh*, uma vez que redes *mesh* são configuradas em cenários onde os nós são fixos [Li, 2007].

A topologia de uma rede WiMAX é parecida com a de uma rede Wi-Fi, com um ponto de acesso chamado estação base (*base station*), o qual fornece acesso ao sistema de distribuição da rede. Geralmente os clientes seguem um perfil corporativo podendo ser prédios comerciais, condomínios residenciais, casas com uma rede interna Wi-Fi e até mesmo os usuários móveis.

Algumas características suportadas pelo Mobile WiMAX são [WiMAX, 2009]:

- alta taxa de transferência de dados: com a utilização de técnicas de antena MIMO (Múltiplas Entradas Múltiplas Saídas) com esquemas de subcanais flexíveis e codificação e modulação avançadas, obtém taxas de até 63 Mbps para *download* e até 28 Mbps para *upload*;
- qualidade de serviço(QoS): define características de fluxo de dados;
- escalabilidade: Mobile WiMAX é desenhada para trabalhar em diferentes faixas de frequência de 1,25 MHz até 20 MHz;
- segurança: suporta vários tipos de autenticação (EAP, AES-CMM, CMAC e HMAC);
- mobilidade: Mobile WiMAX suporta esquemas de *handover* otimizados com latências menores que 50 milisegundos para assegurar que aplicações de tempo real sejam executadas sem degradação de serviço.

Para melhorar o consumo de bateria e o gerenciamento de *handovers* (duas questões críticas para aplicações móveis), o Mobile WiMAX trabalha com dois modos de consumo de energia (*Sleep Mode* e *Idle Mode*) e três métodos de *handover* (*Hard Handoff HHO*, *Fast Base Station Switching FBSS* e *Macro Diversity Handover MDHO*).

Uma nova padronização do Mobile WiMAX, denominada IEEE 802.16m [Loa, 2010], foi especificada para ser utilizada em telefonia celular.

2.1.3 Rede de telefonia celular

As redes sem fio de telefonia celular têm evoluído através de várias gerações [Araujo, 2003]. A primeira geração foi composta pelo sistema de celulares analógicos, que utilizavam modulação em frequência para voz e modulação digital FSK (*Frequency Shift Keying*) para sinalização. O ponto fraco desta rede era a baixa taxa de dados oferecida e a necessidade de alterações de *hardware* para qualquer característica nova de serviço.

A segunda geração (2G) foi composta de celulares digitais e serviços de comunicação pessoal. Caracterizou-se pela digitalização do sistema, oferecendo técnicas de codificação digital de voz mais poderosas, maior eficiência espectral, melhor qualidade de voz, maior capacidade de utilização, segurança nas comunicações e transmissão de dados. Entre os principais sistemas 2G estão [Harte, 2002]: PDC/JDC (*Personal Digital Cellular* ou *Japanese Digital Cellular*), TDMA (*Time Division Multiple Access*), CDMA (*Code Division Multiple Access*) e GSM (*Global System for Mobile Communication*). As desvantagens do 2G incluem: largura de banda insuficiente para serviços atuais como multimídia, necessidade de acesso à rede a qualquer instante para uso dos serviços da Internet, e a incapacidade de fornecer serviços que utilizam altas taxas de transmissão oferecidos por transmissão de fibra óptica.

Uma geração intermediária (2,5G) entre a segunda e a terceira refere-se aos sistemas celulares com serviços e taxas adicionais às aquelas oferecidas pela 2G, baseados no GSM. A 2,5G compreende o GPRS (*General Packet Radio Service*) e o HSCSD (*High Speed Circuit-Switched Data*).

A terceira geração (3G) representa a convergência das tecnologias de Internet (web, e-mail, informações), telefonia (voz, vídeo, fax) e mídia de difusão (TV, rádio, entretenimento, serviços de localização). As principais características dos sistemas 3G são conhecidas como IMT-2000 [ITU, 2009] (*International Mobile Telecommunications*), entre as quais é possível destacar a utilização no mundo todo, utilização em todas as aplicações móveis, suporte à comutação de pacotes e comutação de circuito, e taxas de dados de até 2 Mbps. A proposta mais importante do IMT-2000 é o UMTS [3GPP 23.101] (*Universal Mobile Telecommunications System*) que foi originado no Japão e adotado para uso na 3G pelo ETSI (*European Telecommunications Standardizations Institute*). Cada terminal UMTS pode acessar vários serviços ao mesmo tempo.

A quarta geração (4G) foi especificada em março de 2008 pela ITU-R (*International Telecommunications Union – Radio communications sector*) e é conhecida pelo nome IMT-Advanced (*International Mobile Telecommunications Advanced*) [Loa, 2010]. Duas tecnologias foram homologadas como sendo complacentes com 4G: Mobile WiMAX (IEEE 802.16m) [Loa, 2010] e LTE Advanced (3GPP) [Loa, 2010].

Atualmente os dois padrões de rede celular sendo utilizados são o GSM/GPRS da 2,5G e seu sucessor, o UMTS da 3G. Algumas redes pré-4G (consideradas 4G mas que ainda não atingem as taxas de dados de 1Gbps) funcionam em alguns países, utilizando-se Mobile WiMAX e/ou LTE. Nos Estados Unidos, a rede pré-4G é oferecida via Mobile WiMAX desde 2008 e via LTE desde 2010. No Brasil, a 4G é prevista para estar disponível até abril/2013 em algumas das cidades que sediarão a Copa das Confederações na faixa de frequência de 450 MHz e 2.5 GHz,

segundo o site da Anatel (em <http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalNoticias.do?acao=carregaNoticia&codigo=25255>).

2.1.3.1 Redes GSM/GPRS

Assim como uma rede Wi-Fi é composta de áreas de cobertura (BSA), a rede GSM é composta por células limitadas pelo alcance da antena (BTS – *Base Transceiver Station*). As BTSs, ou estações base, são como os pontos de acesso da rede Wi-Fi e se comunicam por meio de rádio-frequência com os aparelhos celulares. A arquitetura de uma rede GSM/GPRS é ilustrada na Figura 7.

Figura 7 - Arquitetura de rede GSM/GPRS, adaptada de [Bresil, 2004]

Cada estação base está conectada a um BSC (*Base Station Controller*) sendo que cada BSC pode controlar várias BTSs. O BSC é como o *Wireless Switch* da rede Wi-Fi. O conjunto de um BSC e suas estações base é chamado de BSS (*Base Station Subsystem*). Cada BSC é conectado a um MSC (*Mobile Switching Center*), que é responsável pelo roteamento das ligações dentro da rede GSM. As ligações feitas com destino à rede externa à GSM (PSTN, por exemplo) ou vindas de uma rede externa, passam pelo GMSC (*Gateway MSC*) que faz a função de ponte entre as duas redes.

Para armazenar informações de clientes, o sistema possui três bases de dados. A HLR (*Home Location Register*) contém informações sobre os clientes que residem na região de atuação do MSC. Para cada cliente é atribuída uma única identidade chamada IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*). A base de dados VLR (*Visitor Location Register*) armazena temporariamente a identidade e informações de clientes de outras MSCs que estão visitando a rede local. A base AUC (*Authentication Center*) manipula as chaves de autenticação e criptografia para cada usuário no HLR e no VLR. Estas bases são equivalentes às bases manipuladas pelo servidor AAA da rede Wi-Fi.

A mobilidade é gerenciada pela rede (centrada na rede) e auxiliada pelo dispositivo móvel, o qual informa as condições de sinal recebido. As trocas de acesso entre antenas (BTSS) gerenciadas pelo mesmo BSC são gerenciadas pelo BSC. Quando ocorre troca entre antenas de diferentes BSCs, o MSC atua no gerenciamento.

O sistema GPRS forma uma rede de dados por pacote, sobreposta à rede GSM. Esta rede transporta dados entre o terminal (aparelho celular) e uma rede externa de dados (PDN – *Packet Data Network*). Como é uma rede de sobreposição, dois novos elementos foram necessários para possibilitar o tráfego de dados na infraestrutura existente GSM: o SGSN e o GGSN.

O SGSN (*Serving GPRS Support Node*) realiza a comutação de pacotes na rede GPRS. Suas principais funções são rotear e direcionar os pacotes, gerenciar a mobilidade, gerenciar localização, atribuir canais, autenticação e tarifação de chamadas. O GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) é a interface entre um SGSN e uma outra rede de pacotes GPRS ou uma rede externa de pacotes de dados, ou seja, converte pacotes GPRS vindos da rede GPRS para pacotes IP da rede externa e vice-versa.

2.1.3.2 Redes UMTS

O sistema UMTS pode ser dividido em três domínios lógicos, além das redes externas, como pode ser visto na Figura 8. O núcleo da rede (CN – *Core Network*) é o mesmo do sistema GPRS, porém uma nova interface de acesso por rádio é utilizada, chamada UTRAN (UMTS *Terrestrial Radio Access Network*).

Figura 8 - Arquitetura de rede UMTS, adaptada de [Brasil, 2004]

O domínio lógico UE (*User Equipment*) é composto pelo dispositivo de rádio do aparelho do cliente (ME – *Mobile Equipment*) e o cartão USIM (UMTS *Subscriber Identity Module*). O cartão USIM armazena chaves de autenticação e códigos criptográficos. No domínio UTRAN estão o Node B e o RNC (*Radio Network Controller*) que têm a mesma função do BTS e BSC, respectivamente, do sistema GSM/GPRS. Os elementos do domínio CN são os mesmos do sistema GSM/GPRS.

2.1.3.3 Comparação com o acesso à Internet via provedor Wi-Fi

Nos últimos anos vários provedores Wi-Fi têm disponibilizado pontos de acesso para provimento sem fio em estabelecimentos comerciais. A tecnologia é disponível para qualquer aparelho com interface Wi-Fi, incluindo *notebooks*, *tablets* e *smartphones*. As principais vantagens desta forma

de acesso são a velocidade de conexão rápida (em torno de 17 Mbps com 802.11g) e o custo barato, comparando-se com o acesso pela rede de telefonia celular. Serviços de chamada de voz podem ser realizados utilizando-se Voz sobre IP (VoIP). Porém o acesso é limitado a algumas dezenas de metros da antena. A mobilidade fica prejudicada pois, entre uma antena e outra, o cliente Wi-Fi pode perder a conexão e, conseqüentemente, a sessão que estava aberta com um provedor de conteúdo. Para conseguir maior área de cobertura da rede, o cliente sem fio teria que ter contrato com vários provedores Wi-Fi, o que se torna uma prática inviável devido à manutenção de vários contratos, mensalidades e senhas de acesso.

A outra forma de acesso, através da rede de telefonia celular, também está disponível tanto para aparelhos celulares modernos quanto para *notebooks* equipados com um modem apropriado. As operadoras de celular, através de GPRS e 3G, oferecem uma área de cobertura maior que os provedores Wi-Fi. Conseqüentemente, o cliente tem disponível uma mobilidade real, sem interrupções de sessão, e o horário para acesso é ininterrupto. Por outro lado, as tecnologias GPRS e 3G não oferecem um acesso rápido como na Wi-Fi, ficando limitado a taxas de transferência entre 60 Kbps e 2 Mbps. Esta forma de acesso também é mais cara que Wi-Fi, apesar do custo ter diminuído com relação às outras gerações de celular.

2.1.3.4 Redes 4G

Duas tecnologias foram homologadas para a implantação da 4G: Mobile WiMAX (IEEE 802.16m) [Loa, 2010] e LTE Advanced (3GPP) [Loa, 2010]. Independente da tecnologia utilizada, algumas características são comuns, conforme definido na especificação IMT-Advanced.

Diferentemente das redes 3G e anteriores que implementam chaveamento por circuito (*circuit-switched*), na 4G é especificado apenas chaveamento por pacote IP com um núcleo

comum entre as várias redes (*all-IP packet switched network*). A taxa de dados especificada é de 100 Mbps para usuários em alta velocidade, como usuários no interior de veículos, e de até 1 Gbps para usuários com pouca mobilidade, como usuários caminhando ou estacionados. A transmissão de dados é feita por multi-portadora OFDMA e as comunicações são feitas através de múltiplas-entradas múltiplas-saídas (MIMO). A largura de banda dos canais é escalável de 5 a 20 MHz e, opcionalmente, 40 MHz. As trocas de rede devem ser feitas de forma transparente entre redes heterogêneas.

2.2 Redes de Próxima Geração (NGN)

As redes de próxima geração não são, na verdade, novas tecnologias de rede, e sim, um conceito. O conceito de NGN (*Next Generation Network*), segundo o Projeto NGN 2004 [ITU, 2004], surgiu em função da nova situação em telecomunicações, caracterizado por fatores como: competição entre operadores devido à não regulamentação do mercado, aumento de tráfego digital, por exemplo, devido ao crescente uso da Internet, aumento da demanda por novos serviços multimídia, aumento na demanda por mobilidade, etc. O objetivo maior do Projeto NGN é facilitar a convergência de redes e serviços.

A definição de NGN, segundo o Projeto NGN 2004 [ITU, 2004], é “uma rede baseada em pacotes capaz de fornecer serviços inclusive de telecomunicação e capaz de fazer uso de várias comunicações banda larga, tecnologias de transporte que suportam QoS e cujas funções relacionadas aos serviços sejam independentes da tecnologia de transporte. Esta rede oferece acesso irrestrito a usuários de vários provedores de serviço, e suporta mobilidade generalizada a qual permitirá o provisionamento consistente e ubíquo de serviços aos usuários”.

As várias redes que compõem a NGN utilizam diversas tecnologias (Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, celular, etc) e apresentam sobreposição de sinal umas com as outras. Este fato

permitirá o *handover* transparente entre as várias tecnologias, possibilitando ao usuário a mobilidade e estar sempre conectado (*always-on*). Os núcleos das redes de computadores e celulares serão convergidos em um núcleo IP de comutação de pacotes.

Devido à definição de NGN, de que o usuário móvel terá acesso irrestrito a vários provedores de serviço de tecnologias diferentes, tornando o acesso à rede ubíquo e transparente ao usuário, faz-se necessária a implementação de acesso sob demanda e de gerenciamento de *handover* feito pelo usuário (centrado no usuário).

As seções seguintes abordam algumas das características relacionadas ao conceito de NGN como a ubiquidade do acesso, o acesso sob demanda, e o gerenciamento de *handover*.

2.2.1 Ubiquidade de acesso

A ideia da computação ubíqua surgiu por volta de 1991, quando Mark Weiser [Weiser, 1991] descreveu um cenário no qual os computadores estariam “invisíveis” aos humanos. Estes computadores acompanhariam os usuários para onde eles fossem e formariam diferentes modelos computacionais dependendo do ambiente onde estivessem inseridos.

Este cenário está se concretizando graças à evolução da telecomunicação sem fio, aumento do poder de processamento e miniaturização de equipamentos, evolução de baterias para dispositivos portáteis e arquiteturas de programas de computador mais flexíveis [Lyytinen, 2002].

A computação ubíqua envolve dois conceitos: a computação móvel e a computação pervasiva. A tecnologia da computação móvel permite que serviços computacionais se movam fisicamente conosco. Uma limitação atual da computação móvel é que o modelo computacional permanece o mesmo enquanto em movimento, ou seja, os dispositivos e configurações não se alteram em função de mudanças do ambiente.

A computação pervasiva implica que o computador está embarcado no ambiente de forma invisível para o usuário [Araujo, 2003]. Nesta concepção, o computador também consegue obter informações de outros dispositivos presentes no ambiente ao qual ele está embarcado, podendo desta forma, construir modelos computacionais diferentes dinamicamente para melhor atender às necessidades do usuário e serviço sendo utilizado. Os dispositivos presentes no ambiente não são necessariamente dispositivos móveis.

Desta forma, é possível dizer que a computação móvel tem uma alta capacidade de mobilidade e baixa capacidade de embarcamento. Por outro lado, a computação pervasiva tem baixa capacidade de mobilidade e alta capacidade de embarcamento. A computação ubíqua baseia-se na integração da mobilidade da computação móvel com a funcionalidade da computação pervasiva. Na NGN, o principal emprego da computação ubíqua está na ubiquidade do acesso à rede, de forma que o *handover* seja feito de forma transparente ao usuário.

2.2.2 Acesso sob Demanda

Atualmente as operadoras de telefonia celular oferecem aos seus clientes o serviço de *roaming*. Com este serviço, um cliente de uma operadora pode utilizar os serviços de outra operadora quando se encontrar fora da sua área de cobertura. Para este serviço funcionar, as operadoras precisam firmar acordos de nível de serviço (SLAs) umas com as outras. Quando um usuário vai utilizar o serviço, a operadora visitante autentica as credenciais na operadora do usuário e faz a contabilização dos serviços utilizados. Posteriormente esta contabilização é enviada para a operadora do usuário. Nas redes de computadores e provedores Wi-Fi o cenário é um pouco diferente. A quantidade de provedores de acesso é muito grande, tornando-se impraticável que todos firmem acordos entre si para oferecer *roaming* aos usuários.

Em um cenário com acesso sob demanda, o usuário seria cliente de um único provedor de acesso, ou de uma entidade que funcionasse como intermediário (*broker*) entre o cliente e os vários provedores de acesso, e usaria a rede dos outros provedores quando fosse necessário. Diferentemente do acesso tradicional onde existe uma periodicidade maior de tempo de acesso e tráfego do usuário, no acesso sob demanda o usuário ficaria conectado por um tempo aleatório em cada provedor de acesso, podendo até utilizar uma única vez um provedor e não mais voltar a usar. O usuário também tem maior liberdade em escolher à qual ponto de acesso vai se conectar (gerenciamento centrado no usuário e não na rede).

Do lado do provedor de acesso há várias implicações para o fornecimento de acessos sob demanda. A quantidade de usuários, o tempo de conexão, os serviços utilizados, o perfil de acesso e outras características são mais variáveis que os acessos dos clientes fixos. Isso torna mais difícil para o provedor dimensionar sua infraestrutura em termos de largura de banda, quantidade de pontos de acesso, capacidade dos servidores, segurança ao fornecer acesso a usuários desconhecidos, etc. Outras questões de controle de acesso, qualidade de serviço e tarifação são levantadas por Hecker [Hecker, 2005].

2.2.3 Gerenciamento de handover

A NGN será baseada no uso de várias tecnologias diferentes de rede. Neste ambiente, os dispositivos móveis, com várias interfaces de rede, poderão se mover entre redes diferentes sem perder a conexão e o serviço sendo acessado. Uma das questões em desenvolvimento para a NGN é o gerenciamento do *handover*. Este pode ser feito pela rede (*network-centric* ou *network-controlled*) com ou sem auxílio do dispositivo móvel, ou pode ser feito pelo usuário (*user-centric* ou *client-based*) com ou sem auxílio da rede. Segundo [Mapp, 2009], o gerenciamento centrado no usuário é a melhor solução, sendo mais escalável, pois o usuário pode facilmente monitorar os

parâmetros necessários de suas interfaces de rede e permite ao dispositivo móvel considerar fatores locais como, por exemplo, o estado de suas conexões TCP.

Handover, ou *handoff*, é o processo que ocorre quando um dispositivo móvel muda seu ponto de acesso à Internet, ou seja, desconecta-se de um ponto de acesso e conecta-se a outro. Geralmente a troca de ponto de acesso ocorre devido à queda na intensidade do sinal do ponto de acesso atual. Algumas variáveis estão envolvidas em um processo de *handover* como, por exemplo, o provedor de acesso (com diferentes políticas de qualidade de serviço, privacidade, segurança, preço), a tecnologia de rede (802.11, GPRS, UMTS, WiMAX), o ambiente no qual o usuário se encontra (um túnel, um congestionamento, claridade, ruído), etc.

Um *handover* pode ser classificado de várias formas, segundo [Vanni, 2006]. Do ponto de vista do sistema, o *handover* é classificado como intrassistema (ocorre dentro do mesmo provedor de acesso) ou inter-sistema (quando muda de um provedor para outro). Do ponto de vista da cobertura de sinal (*overlay*), o *handover* é classificado como vertical (de uma rede para outra com diferentes coberturas e larguras de banda) ou horizontal (se mesma cobertura). O *handover* vertical ainda pode ser classificado em *upward handover* (quando a cobertura aumenta) ou *downward handover* (quando a cobertura diminui). Do ponto de vista da tecnologia de acesso à rede utilizada, o *handover* pode ser homogêneo (troca entre redes de mesma tecnologia) ou heterogêneo (troca entre tecnologias diferentes).

Os *handovers* também podem ser classificados como *hard handover*, que ocorre quando a conexão atual é perdida antes de uma nova conexão ser estabelecida, e *soft handover*, quando a conexão atual é finalizada após uma nova conexão ter sido estabelecida.

Mapp [Mapp, 2009] ainda classifica os *handovers* verticais segundo a Figura 9. *Handovers* imperativos ocorrem apenas devido a razões tecnológicas nas quais pode haver queda no desempenho ou perda da conexão caso o *handover* não ocorra. Ao contrário, *handovers*

alternativos ocorrem devido a outras razões como, por exemplo, incentivos da rede, preferência do usuário, contexto ou oferta de outros serviços, casos em que não haverá perda de desempenho ou conexão caso o *handover* não ocorra. O *handover* imperativo é dividido em reativo (*reactive*) e pró-ativo (*proactive*). O reativo responde a mudanças nas interfaces de rede sem fio como, por exemplo, disponibilidade ou não de uma rede. O *handover* reativo ainda pode ser dividido entre antecipado (*anticipated*), no qual há pontos de acesso alternativos para o dispositivo móvel conectar, e não antecipado (*unanticipated*), no qual o dispositivo móvel perde a conexão e não há outro ponto de acesso disponível para conectar. No *handover* pró-ativo, técnicas de *soft handover* são utilizadas para saber a condição das várias redes disponíveis em certa localidade antes que o dispositivo móvel alcance aquela posição. No pró-ativo baseado em conhecimento (*knowledge-based*) o dispositivo móvel tenta conhecer a situação das redes através de medição prévia da força do sinal recebido e consulta a bases de dados. O pró-ativo baseado em modelo (*model-based*) utiliza modelos matemáticos que calculam o ponto no qual o *handover* deve ocorrer e o tempo que o usuário levará para alcançar determinado ponto em função de sua velocidade e direção.

Figura 9 - Classificação de tipos de handover, extraído de [Mapp, 2009]

Alguns trabalhos têm sido realizados com o objetivo de auxiliar o gerenciamento de *handovers*. Em [Vanni, 2006] os autores propõem o uso de uma Ontologia de Domínio para *Handover* (DOHand – *Domain Ontology for Handovers*) para facilitar decisões envolvidas no processo de *handover*. A ontologia fornece significado semântico para conceitos comuns que são essenciais no gerenciamento de infraestrutura de rede integrada e ubíqua.

Em [Moreira, 2007] e [Yokoyama, 2008] os autores propõem uma arquitetura chamada SOHand (*Service Oriented Handover Management System*) que acrescenta ao processo de *handover* informações sobre o ambiente no qual o evento está inserido. Desta forma, o dispositivo móvel terá mais autonomia nas decisões de *handover*, diferentemente do sistema atual de telefonia móvel onde o gerenciamento e a escolha do ponto de acesso são feitos pelo provedor de acesso. Esta arquitetura é vista com mais detalhes no capítulo 3.

Em [Mapp, 2007] e [Mapp, 2009] os autores apresentam uma nova arquitetura para redes heterogêneas dividida em camadas (como no modelo OSI), denominada Y-Comm. Do lado do cliente, a camada de *handover* vertical é responsável por realizar o *handover* e a camada de gerenciamento de política avalia as circunstâncias em que um *handover* deve ocorrer (queda do sinal recebido ou vazão, por exemplo). A arquitetura é vista com mais detalhes no capítulo 3.

Em [Su, 2007] os autores apresentam uma arquitetura de rede sem camadas chamada Hagggle, diferenciando-se do atual modelo OSI (*Open Systems Interconnection*) que pressupõe uma infraestrutura fixa. O objetivo desta arquitetura é facilitar a comunicação de dispositivos móveis num ambiente ubíquo, tornando os dispositivos e aplicações não dependentes da atual infraestrutura de rede e possibilitando a formação de redes *ad-hoc* e comunicação direta entre os dispositivos móveis.

O projeto MMQoS [Hecker, 2005] é uma arquitetura global que fornece ao usuário mobilidade com suporte à QoS fim-a-fim em um contexto com várias redes sem fio heterogêneas de vários provedores e gerenciadas por diferentes autoridades. Um cartão SIM-IP [Urien, 2002] é utilizado para fornecer aos usuários a mesma experiência de ambiente computacional independentemente da rede usada. Este cartão fornece armazenamento de identidade, acesso controlado à rede e implementa mecanismos necessários para os serviços do núcleo da rede como, por exemplo, controle de acesso, provisionamento dinâmico de QoS e acesso aos serviços.

Ambient Networks (AN) [Kappler, 2004] [Niebert, 2004] é um projeto colaborativo em larga escala da União Européia que envolve operadores de serviço, vendedores e fabricantes de aparelhos e instituições de pesquisa. Este projeto visa a composição automática de redes heterogêneas, sem necessidade de configuração prévia e sem negociação prévia dos operadores das redes envolvidas. O processo de composição das redes é realizado sob demanda e fica transparente aos usuários. É introduzido o conceito de espaço de controle de ambiente (ACS – Ambient Control Space), o qual engloba todas as funções de controle em determinado domínio de rede. O ACS juntamente com a conectividade de rede é denominado de Ambiente Network (AN).

2.3 Network Simulator (NS2)

Para ser possível prever e estudar os impactos do acesso sob demanda torna-se inviável a experimentação através de infraestrutura real de provimento de acesso com várias antenas e redes de provedores diferentes. Por isso faz-se necessário o uso de simulação.

O NS2 (*Network Simulator* – versão 2) é um simulador de rede amplamente utilizado por pesquisadores. Seu código fonte é aberto e pode ser copiado do site oficial [NS2, 2012], possibilitando sua alteração para necessidades específicas.

A arquitetura do simulador segue o modelo de referência OSI. Isso significa que um pacote de rede precisa passar pela camada de rede, camada de enlace e MAC, e camada física. Nas camadas mais baixas, o NS2 suporta redes locais cabeadas (LANs), redes sem fio (WLANs) e redes de satélite. Roteamentos estático, dinâmico, *unicast* e *multicast* são suportados. Os protocolos da camada de transporte suportados são TCP (*Transport Control Protocol*), UDP (*User Datagram Protocol*) e RTP (*Real-Time Transport Protocol*).

A implementação do simulador é dividida em duas partes. A parte principal é implementada em linguagem C++, a qual fornece velocidade maior de execução. A parte de configuração é implementada em linguagem Tcl orientado a objetos, chamado OTcl, a qual fornece mais facilidade para o programador pois não é necessário compilação.

Para realizar uma simulação, um cenário precisa ser implementado utilizando-se a linguagem Tcl. Este cenário define as informações necessárias para executar uma simulação como, por exemplo, a topologia da rede e protocolos utilizados, geração de tráfego de rede e eventos controlados por tempo, criação dos nós da rede e enlaces, movimento dos nós móveis, além de monitoramento de filas, tráfego, movimento, taxas de erro e vazão, etc.

Embora o NS2 siga um modelo de simulação determinístico, ou seja, se o mesmo script for simulado várias vezes, os resultados serão os mesmos, é possível alterar a semente (*seed*) usada para gerar os números aleatórios, gerando assim resultados diferentes.

As simulações apresentadas nesta tese utilizaram o simulador NS2 com algumas modificações no código-fonte, principalmente relacionadas ao módulo Mobile IP [Perkins, 2002] e gerenciamento da troca de rede. Estas modificações estão descritas no capítulo 4.

Capítulo 3 Gerenciamento de Mobilidade

Em um ambiente NGN onde há várias redes de tecnologias diferentes e sobreposição de sinal, e usuários móveis com várias interfaces de rede sem fio e maior exigência de QoS, faz-se necessário haver um melhor gerenciamento da mobilidade para possibilitar o *handover* transparente. Este capítulo apresenta uma revisão mais aprofundada da literatura, abordando algumas questões relacionadas ao gerenciamento de mobilidade como o Mobile IP, arquiteturas SOHand e Y-Comm, o protocolo de *handover* independente do meio (MIH), e alguns trabalhos relacionados a esta tese.

3.1 Mobile IP

Um problema decorrente das trocas entre redes de acesso é a troca do endereço IP do dispositivo móvel, pois cada rede possui um prefixo de endereço diferente. Com a troca do endereço IP, o dispositivo móvel perde a conexão com a aplicação. Para resolver este problema, foram implementadas as versões móveis do protocolo IP: o Mobile IPv4 [Perkins, 2002][Perkins, 2010] e o Mobile IPv6 [Johnson , 2004][Johnson, 2011]. Na NGN, a tendência é utilizar o Mobile IPv6 devido à grande quantidade de endereços disponíveis e maior suporte à mobilidade.

O Mobile IPv6, assim como na versão 4, permite ao dispositivo móvel, chamado de nó móvel (MN – Mobile Node), se mover entre redes sem perder uma conexão, pois o endereço IP original (*home address*) não se modifica. Independente de onde o nó móvel esteja, os pacotes serão roteados para ele, tornando a troca da rede transparente à camada de transporte e às aplicações.

É por meio do endereço original que um nó correspondente (CN – Correspondent Node) irá se comunicar com o nó móvel. Quando o nó móvel se conecta a uma rede externa (rede

estrangeira), ele mantém seu endereço original e recebe um outro (endereço COA – *Care-Of Address*) pertencente à rede estrangeira. Para o nó correspondente encontrar o nó móvel, o móvel precisa associar (*binding*) seu *home address* ao COA. Esta associação é feita no *home agent* (HA) pelo nó móvel, onde o nó móvel envia mensagens chamadas *Binding Update* para o *home agent*, que responde com uma mensagem *Binding Acknowledgement*. O *Home Agent* é um roteador da rede de origem (à qual o móvel se conectou inicialmente) que encapsula pacotes de rede para entregar ao nó móvel quando este está conectado a uma rede estrangeira, e mantém informação atual de localização do nó móvel.

Na implementação do Mobile IPv6, os nós correspondentes podem otimizar a rota até o nó móvel, armazenando *bindings* entre o *home address* e o COA. Para isso, o nó móvel pode fornecer informações sobre sua localização para os nós correspondentes utilizando o procedimento de associação correspondente (*correspondent binding procedure*). Neste procedimento, um mecanismo de autorização de estabelecimento de *binding* é realizado, chamado *return routability procedure*. O Mobile IPv4 não implementa esta otimização de rota, de tal forma que os pacotes enviados pelo CN são encaminhados para a rede de origem e esta repassa os pacotes para o endereço COA. Um cenário de mobilidade IPv6 é mostrado na Figura 10.

Figura 10 - Funcionamento do MIPv6, extraído de [Martins, 2003]

A comunicação entre o nó móvel e o nó correspondente pode ocorrer de duas formas:

- **Tunelamento bidirecional:** não é necessário que o nó correspondente implemente o MIPv6. Neste caso, os pacotes são roteados do CN para o *home agent* e do *home agent* são encapsulados e tunelados para o nó móvel, utilizando o COA como endereço destino. Em seguida, o nó móvel responde diretamente ao nó correspondente;
- **Otimização de rota:** o nó correspondente precisa implementar MIPv6 e o nó móvel precisa se registrar com o nó correspondente. Neste caso, antes do nó correspondente enviar pacotes ao nó móvel, ele procura em um repositório temporário (*cache*) alguma associação entre o endereço *home address* e um COA do nó móvel. Se encontrar, o pacote é roteado para o COA, eliminando congestionamento na rede de origem do nó móvel.

3.2 Arquiteturas para Provedimento NGN

Algumas arquiteturas foram propostas para fornecer acesso sob demanda para a NGN e encontram-se em implementação. Esta subseção apresenta as arquiteturas SOHand e Y-Comm, as quais apresentam algumas características (uso de informações de contexto, gerenciamento centrado no usuário, entre outras) que foram consideradas para a montagem dos cenários simulados (Capítulo 4) e montagem da arquitetura MYHand (Capítulo 5).

3.2.1 Arquitetura SOHand

A arquitetura SOHand (*Service Oriented Handover Management System*) [Moreira, 2007][Yokoyama, 2008] tem como objetivo auxiliar no gerenciamento de *handovers*, baseando-se no gerenciamento de informações de contexto com suporte de uma ontologia compartilhada entre provedores e clientes. As informações de contexto são provenientes do usuário (localização,

data e hora, preferências), da rede (IP, Gateway, DNS, SSID, canal, qualidade do sinal) e do dispositivo (interfaces de rede, tempo restante de bateria).

SOHand prevê o gerenciamento de *handover* sob duas abordagens: o lado cliente e o lado provedor. O lado cliente captura informações de contexto e as utiliza para negociar com os provedores disponíveis e escolher um que se adeque às preferências do usuário. O lado provedor armazena e sincroniza as informações contextuais fornecidas pelos clientes em um *broker* e permite o acesso por meio de um NAAA (*Negotiation AAA*), além de personalizar serviços. Diferentemente do sistema de telefonia celular, o gerenciamento de *handover* no SOHand é centrado no usuário com auxílio da rede, a qual fornece informações como as citadas acima.

A arquitetura SOHand é composta por três entidades: cliente, provedor e *broker*, como pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 - Arquitetura SOHand, extraída de [Yokoyama, 2008]

No cliente há diversas Fontes de Contexto que fornecem informações capturadas pelo dispositivo móvel. O Gerenciador de Contexto é responsável por processar estas informações, armazená-las em uma Base de Dados Local (BDL) e monitorar as condições da rede atual, do dispositivo e das preferências do usuário. O Módulo de Negociação utiliza os serviços dos

provedores de acesso para negociar o acesso baseado em políticas pré-definidas e em informações de contexto. O Gerenciador de Handover pode decidir qual a melhor rede para a troca baseada, por exemplo, nas preferências do usuário.

O provedor de acesso possui um Gerenciador de Negociação formado pelos módulos Gerenciador de Políticas, que informa as políticas de acesso de acordo com a posição geográfica do cliente, e o AAA Local, que é responsável por autenticar, autorizar e tarifar o cliente. O *Broker* é o responsável por disponibilizar informações de negociação de diferentes provedores e as centralizar em um AAA *Home*.

3.2.2 Arquitetura Y-Comm

Y-Comm [Mapp, 2007][Mapp, 2009] apresenta-se como uma nova arquitetura global para redes heterogêneas. Esta arquitetura é dividida em camadas como no modelo OSI mas, separa a rede em duas estruturas pois estas apresentam características distintas: a rede periférica (*Peripheral Network*), composta pelas redes sem fio presentes na última milha, e o núcleo da rede (*Core Network*). A divisão de camadas pode ser observada na Figura 12.

Figura 12 - Arquitetura Y-Comm, extraída de [Mapp, 2007]

Na rede periférica, a camada física (*Hardware Platform*) define os componentes de *hardware* e tecnologias necessárias para suportar uma rede sem fio particular. A camada de abstração de rede (*Network Abstraction*) especifica uma interface de rede comum, à qual todas as redes que aderem a esta arquitetura devem suportar. A camada de *handover* vertical (*Vertical Handover*) é responsável por adquirir recursos da rede estrangeira e, de fato, realizar o *handover*. A camada de gerenciamento de política (*Policy Management*) avalia as circunstâncias em que um *handover* deve ocorrer, baseado em informações do dispositivo móvel e da rede de acesso. Esta camada pode ser implementada definindo-se certas regras relacionadas a todos os parâmetros relevantes que são avaliados para a decisão do *handover*. A camada de transporte (*End System Transport*) é correspondente às camadas de rede e de transporte do modelo OSI. A camada de Qualidade de Serviço (*QoS Layer*) assegura que a QoS necessária às aplicações seja mantida enquanto o dispositivo móvel troca de rede. A camada de aplicação (*Application Environments*) especifica mecanismos e rotinas que permitam às aplicações utilizarem as camadas da arquitetura Y-Comm.

No núcleo da rede, as camadas físicas e de abstração de rede (*Hardware Platform* e *Network Abstraction*) têm as mesmas funções que as equivalentes na rede periférica. A camada de reconfiguração (*Reconfiguration Layer*) preocupa-se com a reconfiguração dos recursos de rede no núcleo. A implementação desta camada também será usada pela camada de *handover* vertical da rede periférica para obter recursos de rede para um *handover* vertical quando este ocorrer. A camada de gerenciamento de rede (*Network Management*) fornece o sistema de AAA e interage com a camada de gerenciamento de política para informar sobre os recursos de rede disponíveis e negocia a alocação de recursos para o usuário móvel. A camada de transporte (*Core Transport*) implementa mecanismos de transporte e endereçamento. Os autores acreditam que o conjunto de protocolos TCP/IP deve continuar sendo usado nesta camada. A camada de QoS

(*Network QoS Layer*) é responsável por questões de QoS no núcleo da rede. A camada de serviço (*Service Platform*) permite que diferentes agentes instalem e operem vários serviços de forma segura e controlada.

Nesta arquitetura, assim como na SOHand, o gerenciamento do *handover* é centrado no usuário.

3.3 Handover Independente do Meio (MIH – Media Independent Handover)

O padrão MIH é um arcabouço especificado pelo Grupo de Trabalho IEEE 802.21 [IEEE, 2009a] que fornece uma interface genérica aos seus usuários, chamados *MIH Users*, para as camadas físicas e de enlace de diferentes tecnologias de rede. Os *MIH Users* são programas das camadas mais altas do modelo OSI (rede, transporte e aplicação) que utilizam os serviços do MIH. Basicamente, um módulo chamado MIHF (*MIH Function*) fornece informações da camada de enlace e mapas das redes próximas para os *MIH Users*. Tais informações permitem ao dispositivo móvel melhor seleccionar uma rede à qual vai se conectar (descoberta e seleção de redes) e trocar de rede de forma mais transparente em um ambiente heterogêneo.

No modelo MIH, existem três diferentes entidades habilitadas com MIH:

- dispositivo móvel (MN – *Mobile Node*): dispositivo com uma ou mais interfaces de rede e que realiza *handovers* verticais;
- ponto de conexão (PoA – *Point of Attachment*): ponto de acesso de uma rede Wi-Fi ou estação base de uma rede celular;
- ponto de serviço (PoS – *Point of Service*): entidade da rede que pode trocar informações com outras entidades habilitadas com MIH.

O processo de *handover* em si não é tratado pelo MIH, apenas o processo de descoberta de rede e tomada de decisão. Portanto, após o dispositivo móvel decidir à qual rede se conectar, algum protocolo de gerenciamento de mobilidade como, por exemplo, o Mobile IPv6 [Johnson, 2011] deve ser utilizado para que a conexão na camada de transporte (UDP ou TCP) não seja perdida.

O protocolo MIH segue um modelo inter-camadas. Neste modelo, informações gerenciadas por diferentes camadas são obtidas destas camadas através de interfaces bem definidas [Srivastava, 2005]. Uma entidade habilitada com MIH é mostrada na Figura 13, a qual mostra seus componentes e lugares devidos. Um MIH *User* precisa se registrar com o módulo MIHF para poder utilizar seus diferentes serviços. Os serviços oferecidos pelo MIHF são: Serviço de Eventos (MIES), Serviço de Comandos (MICS) e Serviço de Informações (MIIS). LLC_SAP e MIH_LINK_SAP (*Service Access Points*) são as interfaces específicas para cada meio (WiMAX e Wi-Fi, por exemplo) e MIH_SAP é a interface padrão entre o MIHF e os MIH *Users*.

Figura 13 - Modelo de entidade habilitada com MIH, extraído de [IEEE, 2009a]

3.3.1 Serviço de Eventos (MIES)

Quando uma alteração ocorre nas camadas mais baixas do dispositivo móvel ou de uma entidade remota e o *MIH User* está inscrito no evento específico, um aviso de evento na forma de gatilho (*trigger*) é enviado para o *MIHF* do dispositivo móvel. Por sua vez, o *MIHF* notifica o *MIH User*, o qual pode tomar alguma providência com relação ao evento. Alguns exemplos de gatilho são descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Alguns eventos do Serviço de Eventos

Nome do evento	Tipo do evento	Descrição
Link_Detected	Mudança de estado	Enlace de uma nova rede foi detectado. Este evento não é gerado quando outros PoAs da mesma rede são descobertos
Link_Up	Mudança de estado	Conexão L2 estabilizado e enlace pronto para uso
Link_Down	Mudança de estado	Conexão L2 foi quebrada e enlace não está disponível para uso
Link_Parameters_Report	Parâmetros de enlace	Parâmetros do enlace ultrapassaram limites pré-definidos
Link_Going_Down	Previsão	Condições do enlace estão se degradando, perda da conexão é iminente
Link_Handover_Complete	Handover de enlace	Handover L2 para um novo PoA está completo

3.3.2 Serviço de Comandos (MICS)

O *MIH User* envia comandos ao *MIHF*, o qual repassa-os (se for o caso) às camadas mais baixas do dispositivo móvel ou a um *MIH* remoto. Alguns exemplos de comandos são: o comando *MIH_Event_Subscribe*, o qual providencia a inscrição em um evento, e os comandos *MIH_Link_Configure_Thresholds* e *MIH_Link_Get_Parameters* utilizados para,

respectivamente, configurar e obter informação de limites (*thresholds*) de diferentes parâmetros da camada de enlace.

3.3.3 Serviço de Informações (MIIS)

Este serviço é utilizado para se obter um mapa das redes próximas. Este mapa é proveniente de um Servidor de Informação (IS – *Information Server*), de tal forma que a melhor rede possa ser selecionada antes mesmo de o dispositivo móvel detectar o sinal da antena. Este mapa das redes é composto por partes de informações chamadas de Elementos de Informação (IE – *Information Elements*) que são encapsulados em pacotes TCP ou UDP para serem entregues a um MIHF remoto. Para cada rede de acesso, um conjunto de IEs é chamado de mapa da rede.

O MIIS define dois métodos para representar os Elementos de Informação: representação binária e representação RDF/OWL. No método de representação binária, os Elementos de Informação são representados e codificados no formato TLV (*Type-Length-Value*). O campo *Type* indica o tipo/código do Elemento de Informação, o campo *Length* indica o tamanho em octetos do campo *Value*, e o campo *Value* contém o valor do Elemento de Informação.

A arquitetura MYHand utiliza o segundo método de representação de IEs. A representação em esquema RDF/OWL [OWL2, 2012] é utilizada no Serviço de Informação do IEEE 802.21 para definir a estrutura de cada Elemento de Informação, bem como o relacionamento entre eles. A definição do esquema RDF/OWL para o MIIS consiste de duas partes: o Esquema Básico e o Esquema Estendido. O método de representação RDF/OWL pode ser expandido usando um Esquema Estendido. A Figura 14 mostra os Elementos de Informação que compõem o Esquema Básico, segundo o Anexo H de [IEEE, 2009a]. Uma breve descrição de cada elemento é mostrada na Tabela 3.

Figura 14 - Esquema Básico do IEEE 802.21

Tabela 3 - Descrição dos elementos da Figura 14

Elemento	Descrição
Thing	Define o tipo básico para um elemento
NETWORK	Elemento que agrega informações de outros elementos relacionados à determinada rede
NETWORK_TYPE	Tipos de enlace das redes de acesso que estão disponíveis em uma área geográfica
Operator_ID	Identificador do operador
IP_SUBNET_INFO	Informação sobre subnets suportadas por um PoA
PROXY_ADDR	Endereço do servidor proxy
COST	Indicação de custo para uso do serviço ou rede
REGU_DOMAIN	Classes reguladoras suportadas pela rede de acesso
SYSTEM_INFO	Informação de sistema suportado pela camada de enlace de um PoA
IP_CONFIG	Métodos de configuração de IP suportados pela rede
QOS_LIST	Características de QoS da camada de enlace
POA	Ponto de Acesso: informação de endereçamento, localização, taxas de dados, tipo das camadas PHY e MAC, e parâmetros do canal
CH_RANGE	Canal utilizado pelo PoA
CIVIC_ADDR, LOCATION, LOCATION_CELL_ID	Localização geográfica do PoA (endereço civil, coordenada geográfica, ou ID da célula)
TRANSPORT_ADDR	Endereço de transporte (endereço IPv4 ou IPv6, por exemplo)
XML_GEO_LOC, BIN_GEO_LOC	Endereço geográfico definidos, respectivamente, em [Peterson, 2005] e [Polk, 2004]
LINK_ADDR	Endereço de enlace de um tipo específico de rede
LINK_ADDR_3GPP_2G e LINK_ADDR_3GPP_3G	Endereço de enlace de redes 3GPP e 3GPP2
SIB	Bloco de informação de sistema
DCD_UCD	Descritor dos canais downlink (DCD) e uplink (UCD)
COS	Classe de Serviço
PARAMETERS	Informações de sistema, dependente do tipo da rede. Por exemplo: DCD_UCD: IEEE 802.16, SIB: UMTS
String	Define dados do tipo string
SYS_PARAMS	Parâmetros de sistema CDMA2000

O esquema básico em RDF/OWL para o tipo de enlace (propriedade de NETWORK_TYPE), por exemplo, é mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Código RDF/OWL para tipo de enlace (link type)

```

<owl:DatatypeProperty rdf:ID="link_type">
<rdfs:domain rdf:resource="#NETWORK_TYPE"/>
<rdfs:range rdf:resource="&xsd;unsignedByte"/>
<rdfs:comment>
Link type of a network. The following values are assigned:
1: Wireless - GSM
2: Wireless - GPRS
3: Wireless - EDGE
15: Ethernet
18: Wireless - Other
19: Wireless - IEEE 802.11
22: Wireless - CDMA2000
23: Wireless - UMTS
24: Wireless - cdma-2000-HRPD
27: Wireless - IEEE 802.16
28: Wireless - IEEE 802.20
29: Wireless - IEEE 802.22
</rdfs:comment>
</owl:DatatypeProperty>

```

O protocolo 802.21 e os serviços oferecidos pelo MIHF foram utilizados nesta tese para modelar a arquitetura MYHand, a fim de prover informações adicionais para o gerenciamento de *handover*.

3.4 Trabalhos relacionados

Há vários trabalhos relacionados a políticas de decisão. Rizvi [Rizvi, 2010] apresenta um algoritmo de decisão de *handover* vertical inteligente e cita outros trabalhos. Em [Kassar, 2008] os autores apresentam uma visão geral das estratégias de decisão de *handover*, as quais são classificadas em cinco categorias (funções de custo, centrada no usuário, Lógica Fuzzy e baseada em Redes Neurais, multi-critérios, e cientes de contexto) e apresentam uma nova abordagem que considera ciência de contexto e políticas, auxiliada por um sistema de Lógica Fuzzy. Em [Wang, 1999] os autores apresentam uma função custo para auxiliar na tomada de decisão e pode ser aplicada em qualquer rede. Em [Zhu, 2006] os autores apresentam um algoritmo de decisão de

handover vertical multi-serviço (MUSE-VDA) e também uma função de custo geral usada para escolher uma rede alvo. Em [Aust, 2003] os autores descrevem um algoritmo de decisão de *handover* baseado em política (POLIMAND) e citam vários parâmetros da camada de enlace em redes heterogêneas que podem ser usados na tomada de decisão.

Em [Wu, 2009], os autores propõem um esquema de decisão de *handover* vertical controlado pelo terminal e baseado em tomada de decisão de múltiplos atributos. O esquema proposto é comparado com os esquemas de tomada de decisão baseado em função de custo e baseado em força do sinal recebido, no qual os autores demonstram que o esquema proposto fornece tempos menores de *handover* e menor perda na taxa de dados quando comparado com os esquemas baseados em força do sinal e função de custo. Porém, os autores focam em tomada de decisão na integração entre redes Wi-Fi e WiMAX.

Nos trabalhos relacionados à política de decisão de *handover*, alguns autores validam a proposta através de simulação, na qual são avaliados os impactos das trocas de rede por meio de medição de vazão e perda de pacotes, por exemplo. Porém, é criado apenas um ou alguns poucos cenários diferentes e as redes usualmente pertencem ao mesmo provedor. Um diferencial desta tese é a configuração e simulação de 144 cenários diferentes, com as antenas pertencentes a provedores distintos com diferentes características, possibilitando uma melhor validação dos resultados e, diferentemente dos demais trabalhos, é feita uma comparação entre acesso tradicional e acesso sob demanda, não apenas uma validação da nova proposta.

Em [Sharma, 2004] os autores propõem um esquema de *handover* Mobile IP de baixa latência que pode reduzir a latência do *handover* para menos de 100ms, minimizando os impactos da troca de rede. Nas simulações realizadas nesta tese, o tempo de 100ms foi adotado como tempo de *handover*.

Há vários trabalhos relacionados à descoberta de rede utilizando o protocolo 802.21. Em [Korhonen, 2008] os autores tratam basicamente de questões relacionadas à descoberta e seleção de redes Wi-Fi, bem como questões de seleção de identificador do usuário e roteamento AAA (*Authentication, Authorization and Accounting*). Porém a descoberta de redes considerada utiliza *scanning* de *beacons* (modo ativo ou passivo) que é custoso para o dispositivo móvel em termos de tempo e bateria.

Em [Dutta, 2006] os autores propõem uma nova arquitetura para descoberta de rede com solução para construção da base de dados e métodos para os dispositivos móveis conseguirem informações, principalmente, relacionadas à realização de *handover* pró-ativo (auxiliado pelo móvel e pela rede) e pré-autenticação. Nesta arquitetura, as informações contidas nos servidores de informações ficam restritas às informações que os dispositivos móveis registraram de redes visitadas e às informações que Agentes de Relatório (*Reporting Agents*), presentes em cada rede, capturam via SNMP e enviam ao servidor de informações. Na arquitetura MYHand, o Gerenciador de Handover pode capturar informações de vários lugares diferentes como, por exemplo, de sua base de dados local, de servidores de informação (MIIS), e até de outros serviços de informações como, por exemplo, o WirelessFootPrinting [Lopes, 2007].

O protocolo 802.21 não especifica como as informações das redes disponíveis são preenchidas nas bases de dados. Em [Mateus, 2010] os autores propõem um mecanismo para este propósito. Desta forma, este trabalho pode ser usado como um complemento à arquitetura MYHand.

Em [Cicconetti, 2011], os autores propõem uma arquitetura de um servidor MIIS e os procedimentos para otimização de *handover*, os quais evitam a necessidade de *scanning* e reduzem o consumo de energia. Porém, a arquitetura foca em *handover* reativo e o gerenciamento das trocas é centrado na rede.

Os trabalhos relacionados à descoberta de redes e à otimização de *handover* encontrados na literatura se preocupam com informações tecnológicas, necessárias ao processo de *handover* imperativo, no qual o dispositivo móvel tem a necessidade de realizar a troca de rede para não haver queda de qualidade e/ou conexão. Nesta tese, a arquitetura MYHand estende a descoberta de redes, embutindo informações extras como as relacionadas, por exemplo, a incentivos, necessárias ao processo de *handover* alternativo, no qual o dispositivo não é obrigado a realizar por questões tecnológicas, mas realiza por preferência ou incentivo. As Tabelas 5 e 6 mostram uma comparação dos trabalhos relacionados e esta tese. Na Tabela 5, em todos os trabalhos o gerenciamento de troca de rede é feito pelo usuário.

Tabela 5 - Comparação entre os trabalhos relacionados à política de decisão

Referência	Política de decisão	Validação	Tipo de handover	Antenas pertencem a provedores diferentes
[Rizvi, 2010]	Métricas: velocidade, banda e RSSI	Não realizada	Imperativo	Validação não realizada
[Kassar, 2008]	Métricas: velocidade, cobertura e localização	Não realizada	Imperativo e alternativo	Validação não realizada
[Wang, 1999]	Função custo, métricas: banda, consumo de energia e custo	Testbed: Infrared X WaveLAN X Ricochet X GSM	Imperative e alternativo	Não
[Zhu, 2006]	Algoritmo multiserviço e função custo	MATLAB, cenário 3G X WLAN	Imperativo e alternativo	Sim
[Aust, 2003]	Métrica: relação sinal/ruído	Testbed WLAN x GPRS	Imperativo	Não cita
[Wu, 2009]	Múltiplos atributos	Simulador próprio comparando com função custo e RSSI	Imperativo	Não cita
Nesta tese	Métricas: preço, RSSI e carga no AP	Simulação com NS2, redes Wi-Fi	Imperativo e alternativo	Sim

Tabela 6 - Comparação entre os trabalhos relacionados à descoberta de redes

Referência	Utiliza 802.21	Método de descoberta	Tipo de handover	Handover gerenciado pelo(a)
[Korhonen, 2008]	Não	Scanning de beacons	Imperativo	Usuário
[Dutta, 2006]	Não	Servidor de informações	Imperativo	Usuário
[Cicconetti, 2011]	Sim	Servidor MIIS	Imperativo	Rede
Nesta tese	Sim	Servidor MIIS	Imperativo e alternativo	Usuário

Capítulo 4 Cenários simulados e resultados das simulações

Este capítulo apresenta os resultados de avaliação de desempenho de um ambiente com redes Wi-Fi com acesso sob demanda comparado ao acesso tradicional (como é feito atualmente, ou seja, não sob demanda) no qual foram analisados o número de *handovers* feitos, a quantidade de bytes recebidos pelo usuário móvel, e o quanto o usuário móvel gastou com o acesso. Para avaliar tal cenário e estudar os impactos das trocas de rede, foi utilizado o simulador de rede NS2 versão 2.34 [NS2, 2012] com modificações na implementação do módulo Mobile IP responsável pelas trocas de rede. Os resultados mostram que nem sempre o acesso sob demanda é benéfico e os resultados nem sempre são previsíveis.

Para melhor validar os resultados, dois cenários foram criados na versão modificada do NS2, um menos e um mais povoado em termos de antenas e usuários, com variações na velocidade do usuário móvel, na aplicação usada e no tráfego de dados dos outros usuários, totalizando 144 simulações diferentes. Com relação à política de decisão de *handover* para o acesso sob demanda, o usuário móvel pôde priorizar o acesso em função do preço, da força do sinal recebido (RSSI) ou da carga de trabalho no ponto de acesso.

4.1 Modificações no módulo Mobile IP

Originalmente o *handover* no NS2 ocorre em duas situações de acordo com a especificação do Mobile IP [Perkins, 2002]. A primeira situação ocorre quando um aviso de presença de outra rede, denominado ADV (*Advertisement*), é recebido. Esta é uma indicação de que o usuário móvel alcançou a área de cobertura de uma nova antena. Cada ADV recebido é inserido (ou atualizado) em uma lista de agentes Mobile IP mantida pelo dispositivo móvel, chamada *agent_list*.

A segunda situação ocorre quando o tempo de vida (*lifetime*) do ADV pertencente ao atual ponto de acesso (coa – *Care Of Address*) expira. Uma função chamada *timeout* frequentemente percorre a lista de agentes procurando por ADVs com tempo de vida expirado. Quando um é encontrado, o agente é removido da lista. Se o agente removido é o AP ao qual o dispositivo móvel está conectado, o dispositivo móvel realiza um *handover* para o primeiro AP encontrado na *agent_list*, independente de qualquer informação de contexto. Entretanto, estas duas situações não refletem o que é esperado em um acesso sob demanda em NGN.

As plataformas SOHand e Y-Comm habilitam o usuário móvel a utilizar informação de contexto tais como custo, força do sinal recebido, carga no AP, identificador do provedor (SSID), entre outras para decidir se um *handover* deve ocorrer. As três primeiras informações citadas acima foram utilizadas nas simulações de acesso sob demanda como uma política simples de decisão de *handover* permitindo ao usuário móvel priorizar preço, força do sinal recebido, ou carga no AP.

Para este propósito, uma função executada a cada 0,5 segundos foi criada. Esta função checa a lista de agentes (*agent_list*) e decide se o dispositivo deve realizar um *handover* baseado em uma das políticas de decisão mencionadas acima. Também, a informação de SSID foi inserida para cada antenna para identificar o provedor de acesso.

Para simular o acesso tradicional, no qual o usuário apenas conecta-se a APs que pertencem ao seu provedor *home*, ou seja, o provedor o qual o usuário tem contrato de acesso, o dispositivo checa sua lista de agentes procurando por antenas com o mesmo SSID de seu provedor. Se encontrar outra antenna com mesmo SSID e melhor força do sinal recebido, então um *handover* é realizado para este AP.

A força do sinal recebido é obtida no recebimento dos *beacons* (pacotes de aviso de presença) e a média dos últimos cinco foi considerada para evitar o efeito *ping-pong* [Pollini,

1996]. Este efeito ocorre porque a força do sinal recebido pode variar, mesmo quando o dispositivo móvel está estacionado. E quando o usuário está no meio entre dois pontos de acesso, logo após uma troca de antena, a força do sinal do AP anterior à troca pode voltar a ser maior e o dispositivo reconecta ao AP anterior.

Os algoritmos de decisão de *handover* utilizados nas simulações de acesso sob demanda estão descritos a seguir.

4.1.1 Priorizando preço de acesso

Para esta política, cujo objetivo é minimizar o valor gasto, se o dispositivo móvel encontra alguma antena, em sua lista de agentes, com preço menor ou com o mesmo preço mas com melhor força do sinal recebido, então um *handover* é feito para esta antena.

4.1.2 Priorizando força do sinal recebido

Para esta política, cujo objetivo é maximizar a vazão, se o dispositivo móvel encontra alguma antena, em sua lista de agentes, com melhor força do sinal recebido, então um *handover* é feito para esta antena.

4.1.3 Priorizando carga no ponto de acesso

Para esta política, o objetivo também é maximizar a vazão, mas através da escolha do ponto de acesso com a menor carga e, consequentemente, maior banda disponível para novas conexões. Nesta política, se o dispositivo móvel encontra alguma antena, em sua lista de agentes, com menor carga que a antena atual, então um *handover* é feito para esta antena. Esta informação é prevista para ser fornecida pelo *broker*, como definido nas arquiteturas SOHand e Y-Comm. Neste caso, o dispositivo móvel não considera a vazão que está sendo utilizada pela aplicação. Desta forma, entre uma antena com 1Mbps disponível e outra com 2Mbps, o dispositivo

escolherá aquela com 2Mbps mesmo que a aplicação do usuário irá utilizar apenas 100Kbps, por exemplo.

4.1.4 Outras alterações

A especificação do Mobile IP implementada no simulador NS2 [Perkins, 2002] recomenda um tempo de intervalo entre os ADVs como sendo um terço do tempo de vida do ADV. Entretanto, o tempo de vida no simulador é igual ao tempo de intervalo entre os ADVs. Esta versão do Mobile IP também especifica que não mais de um *handover* pode ser feito por segundo, mas este requisito não é respeitado no NS2. Por isso, estas duas características foram modificadas na implementação do simulador para respeitar a especificação do Mobile IP.

Devido ao fato de que os *handovers* no NS2 não tem um tempo decorrido (relacionado à autenticação de usuário, por exemplo), nas simulações apresentadas nesta tese foi inserido um tempo de 100ms em cada troca de rede, considerando os resultados obtidos em [Sharma, 2004].

Considerando as mudanças apresentadas nesta seção, um dispositivo móvel pode realizar um *handover* em duas situações: se encontrar uma antena mais atraente (considerando cada política de decisão) ou se o ADV da antena atual expirar e existir outra antena disponível.

4.2 Cenários simulados

Para avaliar os resultados de acesso sob demanda, dois cenários foram criados no simulador, um menos povoado, em termos de antenas e usuários, e outro mais povoado. Estes dois cenários são mostrados nas Figuras 15 e 16, e ambos diferem entre si pelo número de antenas e distância entre elas de acordo com a Tabela 7. Há três provedores de acesso denominados P1, P2 e P3, cada um com pontos de acesso Wi-Fi ao longo de uma avenida de 1200 metros. Estes pontos de acesso realizam o acesso ao meio (L2) e o roteamento (L3), embora a figura mostre apenas o desenho de

uma antena. P1r, P2r e P3r representam roteadores de borda (*edge routers*) pertencentes a cada um dos três provedores, respectivamente, e que separam o núcleo da rede e a periferia, segundo a arquitetura Y-Comm. Os pontos de acesso são representados por PxAy (y-ésima antena do provedor Px), e suas posições podem ser observadas ao longo da avenida nas Figuras 15 e 16. A velocidade dos enlaces é de 20 Mbps na rede periférica (entre antena e roteador de borda) e 100Mbps no núcleo e servidores.

Figura 15 - Cenário menos povoado

Figura 16 - Cenário mais povoado

Tabela 7 - Características dos provedores de acesso

Cenário	Menos povoado			Mais povoado		
Provedor	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Número de antenas	3	4	2	4	6	3
Distância entre as antenas (metros)	450	300	600	300	200	400
Usuários conectados em cada antena	3	2	5	3	2	5
Preço por hora	\$ 5	\$ 7	\$ 3	\$ 5	\$ 7	\$ 3

Ainda nas Figuras 15 e 16, é ilustrado o usuário móvel User1, cliente do provedor P1, que irá percorrer a avenida iniciando na posição 100 metros e estacionando na posição 1150 metros, período em que irá realizar vários *handovers* de acordo com uma das políticas de decisão descritas na seção anterior. Foram simuladas duas velocidades diferentes para este usuário: 36 km/h (10 m/s) e 5 km/h (1,39 m/s).

Para cada cenário e velocidade do usuário móvel, três diferentes aplicações foram executadas no dispositivo móvel: um fluxo VoIP consistindo de dois fluxos UDP unidirecionais com taxa constante de bit (CBR) de 64Kbps (segundo codificação G.711) entre o usuário e o servidor VoIP; um fluxo de vídeo MPEG1 de 1,5Mbps cujo servidor é o computador Provedor de Conteúdo; e um *download* FTP cujo servidor também é o computador Provedor de Conteúdo.

Também foi variado o tráfego nos outros usuários conectados às outras antenas. Estes usuários não estão mostrados nas Figuras 15 e 16. Para cada cenário, velocidade do usuário móvel e aplicação, foram simulados estes outros usuários com fluxos UDP de 100Kbps, 200Kbps e 400Kbps, fluxos tais oriundos do computador Provedor de Conteúdo. Estes usuários são fixos, distantes das antenas por até 20 metros.

Os três provedores possuem diferentes perfis em termos de preço e qualidade (melhor cobertura em função do número de antenas e maior banda disponível em função do número de usuários por antena), de acordo com as características da Tabela 7. O provedor P1 tem infraestrutura e preços medianos, oferecendo uma qualidade de acesso média. O provedor P2 é

mais caro, tem mais antenas e menos usuários por antena. Com isso, tem carga menor de trabalho nos APs, oferece melhor cobertura de sinal e mais banda disponível para novas conexões comparado ao provedor P1. O provedor P3 é mais barato, tem menos antenas (cobertura pior que P1) e mais usuários conectados por antena (maior carga de trabalho no AP). Embora diferentes provedores possam ter diferentes métodos de cobrança (por hora, por dia, mensalidade, por MByte), nesta tese foi utilizado o mesmo método para uma melhor comparação entre os provedores, ou seja, cobraça por hora conectado.

4.2.1 Planejamento de Experimentos

Esta seção descreve o motivo pelo qual alguns parâmetros foram escolhidos nos cenários simulados. As duas velocidades diferentes para o usuário móvel definem as velocidades normalmente encontradas na prática: 36 km/h caracteriza um usuário dentro de um ônibus, e 5 km/h caracteriza um usuário caminhando.

As três aplicações (VoIP, fluxo de vídeo, e FTP) também definem aplicações bastante utilizadas e que caracterizam diferentes vazões, o que permitiu avaliar melhor a influência da quantidade de tráfego nas simulações. Da mesma forma o tráfego nos outros usuários: foi observado que 100 Kbps não congestionava a rede, 200 Kbps apresentava influência no fluxo do usuário móvel, e 400 Kbps apresentava congestionamentos.

A simulação de várias quantidades de antenas e a distância entre elas teve como objetivo diferenciar a qualidade do sinal em termos de cobertura e força. As várias quantidades de usuários conectados por antena teve como objetivo diferenciar a carga em cada AP e a banda disponível. Os diferentes preços entre os provedores tiveram como objetivo diferenciar quanto o usuário poderia gastar escolhendo um ou outro provedor. Desta forma, o usuário móvel User1 pôde gastar mais ou menos, e baixar mais ou menos bytes, dependendo da política de *handover*

escolhida.

O modelo de propagação utilizado foi o *shadowing*. Os parâmetros de perda de sinal (*loss exponent*) e desvio (*shadowing deviation*) foram, respectivamente, 3,2 e 4, caracterizando um ambiente externo de uma área urbana, de acordo com [NS2, 2012]. Com estes valores, o raio de alcance da antena ficou configurado para 100 metros, porém a força do sinal continuava caindo e chegava a alcançar aproximadamente 250 metros. A camada MAC (Mac/802_11Ext do NS2) foi configurada para o padrão IEEE 802.11g segundo os parâmetros utilizados em [Medepalli, 2004] e [Symington, 2009], e encontram-se na Tabela 8. O protocolo de roteamento utilizado foi o NOAH [NOAH, 2012], adequado para simulações de redes Wi-Fi em modo infraestruturado. O tempo de intervalo entre o envio de ADVs seguiu o tempo recomendade de 1 segundo e o tempo de vida foi configurado para 3 segundos. Em todas as simulações, a mesma semente (padrão do NS2) para gerar números aleatórios foi utilizada para melhor comparação dos resultados entre os diferentes cenários.

Tabela 8 - Parâmetros de configuração da camada MAC

Parâmetro	Valor
SlotTime_	0,000009
SIFS_	0,000010
DIFS_	0,000028
PIFS_	0,000019
RTSThreshold	3000
ShortRetryLimit_	7
LongRetryLimit_	4
dataRate_	54Mb
basicRate_	6Mb
CWMin_	16
CWMax_	1024

4.3 Resultados das simulações

Esta seção apresenta os resultados de valor gasto, bytes recebidos e número de *handovers* feitos

pelo usuário móvel User1 nas simulações de acesso tradicional e sob demanda. Os resultados estão separados em cenário menos povoado e mais povoado.

O tempo decorrido para o usuário móvel foi de 760 segundos (12 minutos e 40 segundos) quando em movimento à 5 km/h, e 110 segundos (1 minuto e 50 segundos) quando em movimento à 36 km/h. Como tempo foi bem inferior a uma hora, os valores gastos pelo acesso estão em centavos (¢).

Todos os resultados estão reunidos em apêndices: Apêndice A (cenário menos povoado, 36 km/h), Apêndice B (cenário menos povoado, 5 km/h), Apêndice C (cenário mais povoado, 36 km/h) e Apêndice D (cenário mais povoado, 5 km/h).

4.3.1 Resultados com o cenário menos povoado

Os resultados desta seção estão divididos de acordo com a política de decisão de *handover*: acesso tradicional, acesso sob demanda priorizando preço, sob demanda priorizando força do sinal recebido (RSSI) e sob demanda priorizando carga no AP.

4.3.1.1 Acesso tradicional

Nas simulações de acesso tradicional, o usuário móvel conectou-se apenas às antenas pertencentes ao seu provedor *home* (P1), por isso o usuário gastou o mesmo valor em todas as simulações de mesma velocidade, mais precisamente ¢15,29 à 36 km/h e ¢105,64 à 5 km/h.

Para ambas as velocidades do usuário móvel (36 km/h e 5 km/h) a quantidade de bytes recebidos diminuiu conforme o fluxo nos outros usuários aumentou, como mostrado na Tabela 9 colunas TRAD, devido ao maior tráfego competindo no mesmo meio sem fio. A Figura 17 apresenta a vazão nas simulações à 36 km/h com tráfego VoIP, como um exemplo. Nesta figura, é possível identificar os dois momentos que os *handovers* ocorreram (com 100kbps nos outros

usuários), aos 36 e 79 segundos, momento em que a vazão diminuiu. Com 400kbps nos outros usuários, o tráfego VoIP é bastante prejudicado.

Tabela 9 - Bytes recebidos no cenário menos povoado (TRAD – acesso tradicional)

Aplicação	Tráfego nos outros usuários (bps)	36 km/h	5 km/h
		TRAD (KBytes)	TRAD (KBytes)
VoIP	100k	847	5752
	200k	786	5620
	400k	605	3965
Vídeo MPEG1	100k	18601	129189
	200k	14159	108724
	400k	9110	62632
FTP	100k	34725	234935
	200k	21984	146301
	400k	3612	48361

Figura 17 - Vazão à 36 km/h, tráfego VoIP, acesso tradicional, cenário menos povoado

A Tabela 10 (colunas TRAD) mostra o número de *handovers* feitos. Nas simulações à 36 km/h, o dispositivo móvel fez um ou dois *handovers* tipo *ping-pong*. Nas simulações à 5 km/h, o número de *handovers* aumentou significativamente comparado às simulações à 36 km/h. Isto

aconteceu porque o usuário móvel, movendo-se mais devagar, permaneceu mais tempo no meio entre dois APs, causando mais *handovers ping-pongs* devido à variação da força do sinal recebido. Quando o tráfego aumentou (200kbps e 400kbps), o dispositivo perdeu mais ADVs, e os *handovers* passaram a ocorrer mais devido à expiração de ADV e menos devido à variação da força do sinal. Por exemplo, à 5 km/h com tráfego VoIP e 100kbps nos outros usuários, 28 *handovers* ocorreram por variação da força do sinal (77%) e 8 ocorreram por expiração de ADV, mas com 400kbps nos outros usuários, apenas 1 *handover* ocorreu por variação de RSSI (25%) e 3 ocorreram por expiração de ADV. O mesmo ocorreu nas simulações com vídeo MPEG1 e FTP.

Tabela 10 - Número de *handovers* feitos no cenário menos povoado (TRAD – acesso tradicional)

Aplicação no móvel	Tráfego nos outros usuários (bps)	36 km/h	5 km/h
		TRAD	TRAD
VoIP	100k	2	36
	200k	4	24
	400k	2	4
Vídeo MPEG1	100k	4	22
	200k	2	14
	400k	2	20
FTP	100k	4	18
	200k	2	24
	400k	2	14

4.3.1.2 Acesso sob demanda priorizando preço

Nas simulações priorizando preço, o usuário móvel User1 gastou menos que no acesso tradicional, uma vez que o dispositivo conectou-se com antenas do provedor P3 sempre que possível. Neste cenário menos povoado, as maiores economias foram de 27,07% à velocidade de 36 km/h (com tráfego FTP e 100kbps nos outros usuários) e de 25,53% à velocidade de 5 km/h (com tráfego VoIP e 100kbps nos outros usuários). As Figuras 18 e 19 mostram o valor gasto priorizando preço comparado com o acesso tradicional, respectivamente, à 36 km/h e à 5 km/h.

Em todas as simulações, conforme o tráfego nos outros usuários tornava-se maior, o dispositivo móvel perdia o sinal da antena do provedor P3 com mais frequência (ADV expirava) e conectava-se a antenas mais caras, aumentando o valor gasto.

Figura 18 - Valor gasto, cenário menos povoado, à 36 km/h, priorizando preço

Figura 19 - Valor gasto, cenário menos povoado, à 5 km/h, priorizando preço

Para ambas velocidades, a quantidade de bytes recebidos foi próxima ao acesso tradicional com pouco tráfego e também diminuiu com o aumento no tráfego dos outros usuários, como mostrado na Tabela 11 colunas PREÇO. Mas a queda foi menor comparado ao acesso tradicional, porque havia mais antenas disponíveis para conexão. Por esta razão, conforme o tráfego nos outros usuários se tornou maior, a quantidade de bytes recebidos, nas simulações priorizando preço, tornou-se maior que no acesso tradicional. A Figura 20 apresenta a vazão nas simulações à 36 km/h com tráfego VoIP, como um exemplo. Nesta figura, com 100kbps nos outros usuários, por exemplo, quatro *handovers* ocorreram aos 11, 48, 71 e 103 segundos.

Tabela 11 - Bytes recebidos no cenário menos povoado (PREÇO - priorizando preço)

Aplicação	Tráfego nos outros usuários (bps)	36 km/h		5 km/h	
		TRAD (KBytes)	PREÇO (KBytes)	TRAD (KBytes)	PREÇO (KBytes)
VoIP	100k	847	821	5752	5872
	200k	786	810	5620	5871
	400k	605	772	3965	5663
Vídeo MPEG1	100k	18601	19077	129189	137706
	200k	14159	18466	108724	131509
	400k	9110	14814	62632	106629
FTP	100k	34725	33493	234935	268815
	200k	21984	22148	146301	204782
	400k	3612	10002	48361	84349

Figura 20 - Vazão à 36 km/h, tráfego VoIP, priorizando preço, cenário menos povoado

As colunas PREÇO na Tabela 12 mostram o número de *handovers* realizados. Nas simulações à 36 km/h, o número de *handovers* aumentou comparado ao acesso tradicional porque havia mais antenas disponíveis. À 5 km/h, com 100kbps e 200kbps nos outros usuários, o número de *handovers* diminuiu, comparado ao acesso tradicional, devido ao algoritmo que, priorizando preço, tornou-se mais estável à variação da força do sinal, e alguns *handovers* ocorreram devido à expiração de ADV. Mas com 400kbps nos outros usuários, o número de *handovers* aumentou, comparado ao acesso tradicional, devido ao aumento no número de expirações de ADV e subsequente *handovers ping-pong*.

Tabela 12 - Número de handovers feitos no cenário menos povoado (PREÇO - priorizando preço)

Aplicação no móvel	Tráfego nos outros usuários (bps)	36 km/h		5 km/h	
		TRAD	PREÇO	TRAD	PREÇO
VoIP	100k	2	4	36	5
	200k	4	4	24	5
	400k	2	8	4	8
Vídeo MPEG1	100k	4	5	22	5
	200k	2	5	14	6
	400k	2	8	20	28
FTP	100k	4	5	18	5
	200k	2	7	24	10
	400k	2	5	14	24

4.3.1.3 Acesso sob demanda priorizando força do sinal recebido

Nas simulações priorizando força do sinal recebido (RSSI), o dispositivo móvel conectou-se a todas as antenas na sequência em que elas se encontravam ao longo da avenida, no momento em que o sinal da próxima antena tornava-se mais forte que o sinal do AP atual. Para ambas as velocidades, o total de bytes recebidos foi maior que no acesso tradicional, exceto nas simulações com tráfego VoIP, à 36 km/h, e 100kbps nos outros usuários. Esta exceção ocorreu devido ao

baixo tráfego no dispositivo móvel e nos outros usuários, situação na qual o móvel, seguindo a política de acesso tradicional, pôde permanecer por mais tempo conectado à mesma antena sem haver queda na vazão, o que leva à conclusão de que nem sempre o acesso sob demanda é benéfico.

Para ambas as velocidades, a quantidade de bytes recebidos também diminuiu com o aumento no tráfego nos outros usuários, como mostrado nas Figuras 21 e 22, as quais mostram a quantidade de bytes recebidos pelo usuário móvel (em escala logarítmica), comparado ao acesso tradicional. Mas a queda foi menor comparado ao acesso tradicional, pois havia mais antenas disponíveis para conexão. Com tráfego FTP e 400kbps nos outros usuários, à 36 km/h o dispositivo móvel baixou 4,46 vezes mais bytes que no acesso tradicional, e à 5 km/h baixou 2,28 vezes mais.

Figura 21 - Bytes recebidos, cenário menos povoado, à 36 km/h, priorizando força do sinal

Figura 22 - Bytes recebidos, cenário menos povoado, à 5 km/h, priorizando força do sinal

A Figura 23 apresenta a vazão nas simulações à 36 km/h com tráfego VoIP, como exemplo. É possível notar a melhor vazão comparada tanto ao acesso tradicional (Figura 17) quanto à priorização por preço (Figura 20).

Figura 23 - Vazão à 36 km/h, tráfego VoIP, priorizando RSSI, cenário menos povoado

Com velocidade de 36 km/h, o número de *handovers* foi maior que no acesso tradicional e ocorreu em função do número de antenas. Nenhum ou até poucos *handovers* ocorreram devido à expiração de ADV e/ou variação de RSSI. Na Figura 23, com 400kbps nos outros usuários, é possível identificar os momentos em que oito *handovers* ocorreram, momentos que apresentaram queda na vazão. A Tabela 13 (colunas RSSI) mostra o total de *handovers* realizados. Com velocidade de 5 km/h, mais *handovers* ocorreram devido à variação da força do sinal nas proximidades do meio entre dois APs mas a quantidade foi menor que no acesso tradicional com pouco tráfego e, com mais tráfego nos outros usuários, mais *handovers* ocorreram devido à expiração de ADV.

Tabela 13 - Número de handovers feitos no cenário menos povoado (RSSI - priorizando força do sinal)

Aplicação no móvel	Tráfego nos outros usuários (bps)	36 km/h		5 km/h	
		TRAD	RSSI	TRAD	RSSI
VoIP	100k	2	8	36	18
	200k	4	8	24	14
	400k	2	8	4	18
Vídeo MPEG1	100k	4	8	22	20
	200k	2	8	14	24
	400k	2	10	20	43
FTP	100k	4	8	18	25
	200k	2	8	24	24
	400k	2	8	14	30

Para ambas as velocidades, o valor gasto aumentou comparado às simulações com acesso tradicional porque, embora o usuário tenha se conectado a antenas mais baratas (provedor P3), este também conectou a antenas mais caras que se encontravam em maior quantidade. Diferentemente do acesso sob demanda priorizando preço, o valor gasto manteve-se estável, independente dos outros tráfegos. As Figuras 24 e 25 mostram o valor gasto às velocidades de 36 km/h e 5 km/h, o qual ficou em torno de 16 centavos e 113 centavos, respectivamente.

Figura 24 - Valor gasto, cenário menos povoado, à 36 km/h, priorizando força do sinal

Figura 25 - Valor gasto, cenário menos povoado, à 5 km/h, priorizando força do sinal

4.3.1.4 Acesso sob demanda priorizando carga no AP

Nas simulações priorizando carga no AP, o dispositivo móvel conectou-se, basicamente, aos pontos de acesso do provedor P2, os quais tinham menos usuários conectados e, conseqüentemente, menor carga no AP. Para ambas velocidades, o total de bytes recebidos foi maior que nas simulações de acesso tradicional, exceto nas simulações com tráfego VoIP, à 36 km/h, e 100kbps nos outros usuários. Isto também aconteceu no acesso sob demanda priorizando RSSI e o motivo foi o mesmo. A quantidade de bytes recebidos também diminuiu com o aumento no tráfego nos outros usuários, como mostrado nas Figuras 26 e 27, mas a queda também foi menor que no acesso tradicional. Nas simulações com tráfego FTP e 400kbps nos outros usuários, o móvel baixou 3,18 vezes mais bytes do que no acesso tradicional à 36 km/h e 2,15 vezes mais à 5 km/h.

Figura 26 - Bytes recebidos, cenário menos povoado, à 36 km/h, priorizando carga no AP

Figura 27 - Bytes recebidos, cenário menos povoado, à 5 km/h, priorizando carga no AP

O total de bytes recebidos foi menor do que no acesso sob demanda priorizando RSSI, levando à conclusão de que considerar apenas a carga no AP é menos eficiente que priorizar RSSI, com respeito à vazão. A Figura 28 apresenta a vazão nas simulações à 36 km/h com tráfego VoIP, como um exemplo. Pode-se notar uma melhor vazão comparada ao acesso tradicional (Figura 17) mas, uma pior vazão comparada à priorização por RSSI (Figura 23).

Figura 28 - Vazão à 36 km/h, tráfego VoIP, priorizando carga no AP, cenário menos povoado

As colunas CARGA na Tabela 14 mostram o número de *handovers* realizados. A análise é similar ao acesso sob demanda priorizando preço, no qual, nas simulações à 36 km/h, o número de *handovers* aumentou comparado ao acesso tradicional e, à 5 km/h com 100kbps e 200kbps nos outros usuários, o número de *handovers* diminuiu, comparado ao acesso tradicional, devido ao algoritmo que, priorizando carga no AP, tornou-se mais estável à variação da força do sinal, e com 400kbps nos outros usuários, o número de *handovers* aumentou devido ao aumento no número de expirações de ADV e subsequente *handovers ping-pong*.

Tabela 14 - Número de handovers feitos no cenário menos povoado (CARGA - priorizando carga no AP)

Aplicação no móvel	Tráfego nos outros usuários (bps)	36 km/h		5 km/h	
		TRAD	CARGA	TRAD	CARGA
VoIP	100k	2	3	36	7
	200k	4	4	24	14
	400k	2	6	4	13
Vídeo MPEG1	100k	4	3	22	11
	200k	2	7	14	12
	400k	2	13	20	39
FTP	100k	4	3	18	11
	200k	2	7	24	11
	400k	2	7	14	21

Para ambas as velocidades, o valor gasto foi bem maior do que no acesso tradicional e também maior do que na priorização por RSSI, como mostrado nas Figuras 29 e 30, porque o móvel permaneceu mais tempo conectado a antenas pertencentes ao provedor P2. O valor gasto diminuiu com o aumento no tráfego devido à expiração de ADVs do provedor P2 e subsequente conexão com antenas mais baratas.

Figura 29 - Valor gasto, cenário menos povoado, à 36 km/h, priorizando carga no AP

Figura 30 - Valor gasto, cenário menos povoado, à 5 km/h, priorizando carga no AP

4.3.1.5 Resumo dos resultados – cenário menos povoado

Para facilitar a análise dos resultados de forma mais geral, a Tabela 15 mostra uma síntese dos resultados das simulações com o cenário menos povoado.

Tabela 15 - Resumo dos resultados - cenário menos povoado

Política de decisão	Medição comparada com o acesso tradicional		
	Valor gasto	Bytes recebidos	Handovers feitos
PREÇO	Diminuiu	Similar com pouco tráfego; aumentou com maior tráfego	Aumentou à 36 km/h; diminuiu à 5 km/h com pouco tráfego; aumentou à 5 km/h com maior tráfego
RSSI	Aumentou	Aumentou, exceto com tráfego VoIP, à 36 km/h e 100 Kbps nos outros usuários	Aumentou à 36 km/h; diminuiu à 5 km/h com pouco tráfego; aumentou à 5 km/h com maior tráfego
CARGA	Aumentou	Aumentou, exceto com tráfego VoIP, à 36 km/h e 100 Kbps nos outros usuários	Aumentou à 36 km/h; diminuiu à 5 km/h com pouco tráfego; aumentou à 5 km/h com maior tráfego

4.3.2 Resultados com o cenário mais povoado

Os resultados desta seção também estão divididos de acordo com a política de decisão de *handover*, assim como nos resultados do cenário menos povoado: acesso tradicional, acesso sob demanda priorizando preço, sob demanda priorizando força do sinal recebido (RSSI) e sob demanda priorizando carga no AP. Os resultados são muito semelhantes aos resultados do cenário menos povoado.

4.3.2.1 Acesso tradicional

Os valores gastos foram os mesmos que no cenário menos povoado, pois o usuário móvel conectou-se apenas com antenas pertencentes ao seu provedor *home* (P1): €15,29 para 36 km/h e €105,64 para 5 km/h.

Para ambas as velocidades do usuário móvel (36 km/h e 5 km/h) a quantidade de bytes recebidos também diminuiu conforme o fluxo nos outros usuários aumentou, como mostrado na Tabela 16 colunas TRAD, devido ao maior tráfego competindo no mesmo meio sem fio.

Tabela 16 - Bytes recebidos no cenário mais povoado (TRAD – acesso tradicional)

Aplicação no móvel	Tráfego nos outros usuários (bps)	36 km/h	5 km/h
		TRAD (KBytes)	TRAD (KBytes)
VoIP	100k	849	5893
	200k	821	5686
	400k	517	4094
Vídeo MPEG1	100k	19535	138284
	200k	16376	116519
	400k	8249	58030
FTP	100k	35089	250332
	200k	18525	136040
	400k	3508	32434

A Figura 31 apresenta a vazão nas simulações à 36 km/h com tráfego VoIP, como um exemplo. Nesta figura, na simulação com 100kbps nos outros usuários, é possível identificar os três momentos em que os *handovers* ocorreram, aos 21, 53 e 84 segundos, momento em que a vazão diminuiu. Com 400kbps nos outros usuários, o tráfego VoIP é bastante prejudicado.

Figura 31 - Vazão à 36 km/h, tráfego VoIP, acesso tradicional, cenário mais povoado

A Tabela 17 (colunas TRAD) mostra o número de *handovers* feitos. Nas simulações à 36 km/h, o dispositivo móvel fez um ou dois *handovers* tipo *ping-pong*. Nas simulações à 5 km/h, o número de *handovers* também aumentou significativamente comparado às simulações à 36 km/h devido ao efeito *ping-pong* observado no cenário menos povoado. Quando o tráfego nos outros usuários aumentou para 200kbps, o dispositivo começou a perder ADVs ocasionando aumento de *handovers* por expiração de ADV. Com 400kbps, diminuiu o número de *handovers* devido à variação do sinal, pois muitos ADVs eram perdidos e a causa dos *handovers* passou a ser, em maior parte, a expiração de ADVs. Como exemplo, à 5 km/h com tráfego VoIP e 100kbps nos outros usuários, todos os 17 *handovers* ocorreram por variação da força do sinal (100%); com 200kbps nos outros usuários, 20 ocorreram por variação do sinal (86,95%) e 3 por expiração de ADV; e com 400kbps nos outros usuários, 3 *handovers* ocorreram por variação do sinal (27,27%) e 8 por expiração de ADV. O mesmo ocorreu nas simulações com as aplicações de vídeo MPEG1 e FTP.

Tabela 17 - Número de *handovers* feitos no cenário mais povoado (TRAD – acesso tradicional)

Aplicação no móvel	Tráfego nos outros usuários (bps)	36 km/h	5 km/h
		TRAD	TRAD
VoIP	100k	3	17
	200k	7	23
	400k	5	11
MPEG1	100k	5	17
	200k	3	15
	400k	3	11
FTP	100k	3	21
	200k	3	33
	400k	5	15

4.3.2.2 Acesso sob demanda priorizando preço

Nas simulações do cenário mais povoado priorizando preço, o usuário móvel User1 também gastou menos que no acesso tradicional, pois conectou-se com antenas do provedor P3 sempre que possível. Neste cenário, as maiores economias ocorreram nas simulações com tráfego VoIP e 100kbps nos outros usuários, nas quais o usuário economizou 37,67% à velocidade de 36 km/h e 35,16% à velocidade de 5 km/h. As Figuras 32 e 33 mostram o valor gasto priorizando preço comparado com o acesso tradicional, respectivamente, à 36 km/h e 5 km/h. Em todas as simulações priorizando preço, conforme o tráfego nos outros usuários tornava-se maior, o dispositivo móvel perdia o sinal da antena do provedor P3 com mais frequência (ADV expirava) e conectava-se a antenas mais caras, aumentando o valor gasto.

Figura 32 - Valor gasto, cenário mais povoado, à 36 km/h, priorizando preço

Figura 33 - Valor gasto, cenário mais povoado, à 5 km/h, priorizando preço

Para ambas as velocidades, a quantidade de bytes recebidos foi próxima ao acesso tradicional com pouco tráfego (tráfego da aplicação do móvel e dos outros usuários) e também diminuiu com o aumento no tráfego dos outros usuários, como mostrado na

Tabela 18, colunas PREÇO. Mas a queda também foi menor comparado ao acesso tradicional, porque havia mais antenas disponíveis para conexão, por isso a quantidade de bytes recebidos tornou-se maior que no acesso tradicional.

Tabela 18 - Bytes recebidos no cenário mais povoado (PREÇO - priorizando preço)

Aplicação no móvel	Tráfego nos outros usuários (bps)	36 km/h		5 km/h	
		TRAD (KBytes)	PREÇO (KBytes)	TRAD (KBytes)	PREÇO (KBytes)
VoIP	100k	849	830	5893	5878
	200k	821	805	5686	5855
	400k	517	694	4094	5435
Vídeo MPEG1	100k	19535	18809	138284	138145
	200k	16376	18404	116519	132635
	400k	8249	10290	58030	83159
FTP	100k	35089	31141	250332	234098
	200k	18525	15715	136040	156100
	400k	3508	3401	32434	38003

A Figura 34 apresenta a vazão nas simulações à 36 km/h com tráfego VoIP, como um exemplo. Nesta figura, com 100kbps nos outros usuários, por exemplo, três *handovers* ocorreram aos 36 (*handover* para P3A2), 75 (*handover* para P1A3) e 81 segundos (*handover* para P3A3), após conectar-se inicialmente ao ponto de acesso P1A1.

Figura 34 - Vazão à 36 km/h, tráfego VoIP, priorizando preço, cenário mais povoado

As colunas PREÇO na Tabela 19 mostram o número de *handovers* realizados. Nas simulações à 36 km/h, o número de *handovers* aumentou comparado ao acesso tradicional porque havia mais antenas disponíveis. À 5 km/h, com 100kbps e 200kbps nos outros usuários, o número de *handovers* diminuiu, comparado ao acesso tradicional, pois a política de decisão de *handover* tornou-se mais estável à variação da força do sinal. Mas com 400kbps nos outros usuários, o número de *handovers* aumentou devido ao aumento no número de expirações de ADV e subsequente *handover ping-pong*.

Tabela 19 - Número de handovers feitos no cenário mais povoado (PREÇO - priorizando preço)

Aplicação no móvel	Tráfego nos outros usuários (bps)	36 km/h		5 km/h	
		TRAD	PREÇO	TRAD	PREÇO
VoIP	100k	3	3	17	12
	200k	7	3	23	5
	400k	5	14	11	39
MPEG1	100k	5	3	17	6
	200k	3	4	15	9
	400k	3	11	11	65
FTP	100k	3	4	21	9
	200k	3	4	33	10
	400k	5	8	15	24

4.3.2.3 Acesso sob demanda priorizando força do sinal recebido

Nestas simulações, assim como no cenário menos povoado, o dispositivo móvel conectou-se a todas as antenas na sequência em que elas se encontravam ao longo da avenida, no momento em que o sinal da próxima antena tornava-se mais forte que o sinal da antena atual. Para ambas as velocidades, o total de bytes recebidos foi maior que no acesso tradicional, exceto nas simulações com tráfego VoIP, à 36 km/h, e 100kbps nos outros usuários, devido ao baixo tráfego, da mesma forma que no cenário menos povoado, reforçando a conclusão de que nem sempre o acesso sob demanda é benéfico.

Para ambas as velocidades, a quantidade de bytes recebidos também diminuiu com o aumento no tráfego nos outros usuários, como mostrado nas Figuras 35 e 36, as quais mostram a quantidade de bytes recebidos pelo usuário móvel (em escala logarítmica), comparado ao acesso tradicional. Mas a queda foi menor comparado ao acesso tradicional, pois havia mais antenas disponíveis para conexão. Os melhores resultados, comparados com o acesso tradicional, foram com tráfego FTP e 400kbps nos outros usuários, à 36 km/h no qual o dispositivo móvel baixou 3,11 vezes mais bytes que no acesso tradicional, e à 5 km/h no qual baixou 2,79 vezes mais.

Figura 35 - Bytes recebidos, cenário mais povoado, à 36 km/h, priorizando força do sinal

Figura 36 - Bytes recebidos, cenário mais povoado, à 5 km/h, priorizando força do sinal

A Figura 37 apresenta a vazão nas simulações à 36 km/h com tráfego VoIP, como exemplo. É possível notar a melhor vazão comparada tanto ao acesso tradicional (Figura 31) quanto à priorização por preço (Figura 34).

Figura 37 - Vazão à 36 km/h, tráfego VoIP, priorizando RSS, cenário mais povoado

O número de *handovers*, com velocidade de 36 km/h, foi maior que no acesso tradicional e ocorreu em função do número de antenas. Nenhum ou até poucos *handovers* ocorreram devido à expiração de ADV e/ou variação de RSSI. A Tabela 20 (colunas RSSI) mostra o total de *handovers* realizados comparado com o acesso tradicional. Com velocidade de 5 km/h, mais

handovers ocorreram devido à variação da força do sinal nas proximidades do meio entre dois APs e aumentou bastante com 400kbps nos outros usuários devido à expiração de ADV.

Tabela 20 - Número de handovers feitos no cenário mais povoado (RSSI - priorizando força do sinal)

Aplicação no móvel	Tráfego nos outros usuários (bps)	36 km/h		5 km/h	
		TRAD	RSSI	TRAD	RSSI
VoIP	100k	3	12	17	24
	200k	7	12	23	20
	400k	5	17	11	38
MPEG1	100k	5	12	17	32
	200k	3	12	15	26
	400k	3	14	11	50
FTP	100k	3	14	21	27
	200k	3	12	33	16
	400k	5	13	15	40

Para ambas as velocidades, o valor gasto aumentou comparado às simulações com acesso tradicional porque, embora o usuário tenha se conectado a antenas mais baratas (provedor P3), este também conectou a antenas mais caras que se encontravam em maior quantidade. Diferentemente do acesso sob demanda priorizando preço, o valor gasto manteve-se estável, independente dos outros tráfegos. As Figuras 38 e 39 mostram o valor gasto a velocidades de 36 km/h e 5 km/h, o qual ficou em torno de 17 centavos e 116 centavos, respectivamente.

Figura 38 - Valor gasto, cenário mais povoado, à 36 km/h, priorizando força do sinal

Figura 39 - Valor gasto, cenário mais povoado, à 5 km/h, priorizando força do sinal

4.3.2.4 Acesso sob demanda priorizando carga no AP

Nas simulações priorizando carga no ponto de acesso, o dispositivo móvel conectou-se, basicamente, aos pontos de acesso do provedor P2 pois estes tinham menos usuários conectados. Para ambas as velocidades, o total de bytes recebidos foi maior que nas simulações de acesso tradicional, como pode ser observado nas Figuras 40 e 41, com a mesma exceção do cenário menos povoado nas simulações com tráfego VoIP, à 36 km/h, e 100kbps. Esta exceção também ocorreu devido ao baixo tráfego, situação na qual o móvel pôde permanecer por mais tempo conectado à mesma antena (no caso do acesso tradicional) sem haver queda na vazão. A quantidade de bytes recebidos também diminuiu com o aumento no tráfego nos outros usuários, mas a queda também foi menor que no acesso tradicional. Nas simulações com tráfego FTP e 400kbps nos outros usuários, o móvel baixou 2,59 vezes mais bytes do que no acesso tradicional à 36 km/h e 2,32 vezes mais à 5 km/h.

Figura 40 - Bytes recebidos, cenário mais povoado, à 36 km/h, priorizando carga no AP

Figura 41 - Bytes recebidos, cenário mais povoado, à 5 km/h, priorizando carga no AP

Na maioria destas simulações, o total de bytes recebidos também foi menor do que no acesso sob demanda priorizando RSSI, reforçando a conclusão de que considerar apenas a carga no AP é menos eficiente que priorizar RSSI, com respeito à vazão. As exceções ocorreram com velocidade de 36 km/h e tráfego VoIP, velocidade de 36 km/h e tráfego de vídeo MPEG1, e velocidade de 5 km/h e tráfego MPEG, as três com 100kbps nos outros usuários. A Figura 42 apresenta a vazão nas simulações à 36 km/h com tráfego VoIP, como um exemplo.

Figura 42 - Vazão à 36 km/h, tráfego VoIP, priorizando carga no AP, cenário mais povoado

As colunas CARGA na Tabela 21 mostram o número de *handovers* realizados. A análise é similar ao acesso sob demanda priorizando preço. Nas simulações à 36 km/h o número de *handovers* também aumentou comparado ao acesso tradicional, com uma única exceção (tráfego VoIP e 200kbps nos outros usuários). Nas simulações à 5 km/h com 100kbps e 200kbps nos outros usuários, o número de *handovers* permaneceu praticamente o mesmo, comparado ao acesso tradicional, mas com 400kbps nos outros usuários, o número de *handovers* aumentou bastante, devido ao aumento no número de expirações de ADV e subsequente *handover ping-pong*.

Tabela 21 - Número de handovers feitos no cenário mais povoado (CARGA - priorizando carga no AP)

Aplicação no móvel	Tráfego nos outros usuários (bps)	36 km/h		5 km/h	
		TRAD	CARGA	TRAD	CARGA
VoIP	100k	3	5	17	17
	200k	7	5	23	23
	400k	5	8	11	59
MPEG1	100k	5	5	17	19
	200k	3	5	15	27
	400k	3	11	11	99
FTP	100k	3	5	21	21
	200k	3	7	33	35
	400k	5	7	15	68

Para ambas as velocidades, o valor gasto foi bem maior do que no acesso tradicional e também maior do que na priorização por RSSI, como mostrado nas Figuras 43 e 44, porque o usuário móvel permaneceu mais tempo conectado às antenas pertencentes ao provedor P2. O valor gasto diminuiu com o aumento no tráfego devido à expiração de ADVs do provedor P2 e subsequente conexão com antenas mais baratas.

Figura 43 - Valor gasto, cenário mais povoado, à 36 km/h, priorizando carga no AP

Figura 44 - Valor gasto, cenário mais povoado, à 5 km/h, priorizando carga no AP

4.3.2.5 Resumo dos resultados – cenário mais povoado

A Tabela 22 mostra uma síntese dos resultados das simulações com o cenário mais povoado.

Tabela 22 - Resumo dos resultados - cenário mais povoado

Política de decisão	Medição comparada com o acesso tradicional		
	Valor gasto	Bytes recebidos	Handovers feitos
PREÇO	Diminuiu	Similar com pouco tráfego; aumentou com maior tráfego	Aumentou à 36 km/h; diminuiu à 5 km/h com pouco tráfego; aumentou à 5 km/h com maior tráfego
RSSI	Aumentou	Aumentou, exceto com tráfego VoIP, à 36 km/h e 100 Kbps nos outros usuários	Aumentou
CARGA	Aumentou	Aumentou, exceto com tráfego VoIP, à 36 km/h e 100 Kbps nos outros usuários	Aumentou

Capítulo 5 Arquitetura MYHand para provimento de informações

De acordo com os resultados apresentados no capítulo anterior, obtidos das simulações de acesso sob demanda, o usuário móvel pode economizar com o acesso sabendo o preço cobrado por cada rede e decidindo o *handover*, sem prejuízos na quantidade de bytes recebidos pela rede. Também foi observado que em algumas simulações priorizando carga no AP, o usuário móvel baixou mais bytes do que nas simulações priorizando força do sinal recebido, contrariando a maioria dos outros resultados. Nas simulações priorizando força do sinal, o usuário baixou mais bytes que no acesso tradicional e na priorização por preço, mas conhecer apenas a força do sinal recebido pode ser insuficiente se o dispositivo não tiver garantia de que a rede tem banda disponível para a aplicação em uso pelo usuário.

Para ser possível oferecer acesso sob demanda com gerenciamento de *handover* centrado no usuário, é necessário que o dispositivo móvel obtenha informações das várias redes disponíveis como, por exemplo, preços, parâmetros de QoS, frequência do canal, entre outras, para melhor decidir uma troca. Além de obter estas informações, é importante obtê-las de forma antecipada a fim de preparar a troca de rede antes de haver perda de QoS. O ambiente heterogêneo da NGN, com várias tecnologias de acesso e provedores diferentes, resulta em uma implicação a mais, que é o uso de termos diferentes para a mesma informação, por exemplo, a variação do atraso é chamada de “jitter” em redes 802.11, “tolerated jitter” em redes 802.16 e “delay variation” em redes 3GPP [Wu, 2009].

Este capítulo apresenta a arquitetura MYHand que visa melhorar o gerenciamento das trocas de rede em ambiente NGN, através do fornecimento de informação adicional ao dispositivo móvel e baseando-se no gerenciamento de *handover* centrado no usuário. MYHand

utiliza a arquitetura Y-Comm juntamente com os serviços de informação (MIIS), de evento (MIES) e de comandos (MICS) do protocolo 802.21 e uma extensão ao esquema básico deste protocolo (*Extended Schema*). Além das informações fornecidas pela arquitetura MYHand, o usuário móvel pode fazer uma avaliação da vizinhança em paralelo.

5.1 Esquema estendido proposto

Tendo em vista os resultados das simulações e a necessidade do usuário obter informações adicionais como preço e carga no AP, foi proposta uma extensão ao Esquema Básico do IEEE 802.21.

Como visto na seção 3.3.3, a estrutura de cada Elemento de Informação e seus relacionamentos do Serviço de Informações (MIIS) do protocolo IEEE 802.21 podem ser representados por um esquema RDF/OWL, o qual consiste de um Esquema Básico que pode ser expandido de acordo com a necessidade de cada fabricante ou provedor de acesso.

O esquema estendido proposto na arquitetura MYHand estende a seleção de novas redes, embutindo informações relacionadas a incentivos, enriquecendo o processo de *handover* alternativo, no qual o dispositivo pode realizar a escolha da rede com base em incentivos oferecidos pela rede de acesso. Este esquema com informações de incentivos através de pontuação apenas exemplifica uma ampla gama de informações adicionais que podem ser disponibilizadas pelos provedores através da arquitetura MYHand.

A Figura 45 mostra o elemento **Incentive** proposto, relacionado com os elementos Thing e NETWORK (ver Figura 14). **Thing** é um elemento genérico da linguagem RDF/OWL da qual todos os outros elementos herdam suas propriedades. O elemento **NETWORK** agrega informações dos outros elementos como, por exemplo, tipo da rede (*network type*), lista de PoA

(*Point of Access*), identificador do operador (*Operator ID*), entre outros, e o elemento **Incentive** passa a ser um outro atributo de NETWORK.

Figura 45 - Esquema estendido proposto

O elemento **Incentive** fornecerá a informação de pontuação a ser creditada ao usuário da rede. Essa pontuação poderá ser utilizada em futuras conexões para, por exemplo, trocar por desconto, e assim ser um atrativo à fidelidade do usuário à rede. Este elemento possui três campos:

- **Currency**: código de três letras representando a moeda corrente (p. ex., "USD") como especificado em [ISO4217, 2012];
- **Points**: pontos a serem adquiridos pelo usuário durante o uso da rede, associado a uma unidade;
- **Unit**: unidade refere-se à quantidade de valor gasto para se obter determinada pontuação. Por exemplo, o usuário ganhará 20 pontos a cada 1 dólar gasto com acesso. A unidade também poderia ser uma unidade de tempo, por exemplo, o usuário ganhará 20 pontos a cada 30 minutos conectado ao provedor.

A definição do esquema estendido proposto é mostrada na Tabela 23 como um documento XML. Este esquema estendido pode ser obtido pelo dispositivo móvel por meio do serviço DHCP, da mesma forma que se obtém o Esquema Básico [IEEE, 2009a].

Tabela 23 - Definição do esquema estendido proposto

```

<owl:Class rdf:about="file:&mihextended;Incentive"/>

<owl:ObjectProperty rdf:about="file:&mihextended;incentive">
<rdfs:range rdf:resource="file:&mihbasic;NETWORK"/>
<rdfs:domain rdf:resource="file:&mihextended;Incentive"/>
</owl:ObjectProperty>

<owl:DatatypeProperty rdf:about="file:&mihextended;currency">
<rdfs:comment>Código da moeda com três letras (p.ex. USD) como
especificado em ISO 4217.</rdfs:comment>
<rdfs:range rdf:resource="&xsd:string"/>
</owl:DatatypeProperty>

<owl:DatatypeProperty rdf:about="file:&mihextended;points">
<rdfs:comment>Pontos a serem adquiridos pelo usuário durante o
uso da rede, associado a uma unidade.</rdfs:comment>
<rdfs:range rdf:resource="&xsd;integer"/>
</owl:DatatypeProperty>

<owl:DatatypeProperty rdf:about="file:&mihextended;unit">
<rdfs:comment>Quantidade de valor gasto para se obter
determinada pontuação</rdfs:comment>
<rdfs:range rdf:resource="&xsd;double"/>
</owl:DatatypeProperty>

```

5.2 Arquitetura MYHand

A Figura 46 apresenta a arquitetura MYHand de fornecimento de informações adicionais com quatro entidades envolvidas: o nó móvel, denominado de MN (*Mobile Node*), o ponto de acesso atual, denominado de PoS-S (*Serving Point of Service*), uma rede candidada/alvo (*Candidate/Target Network*) e um Servidor MIIS (*MIIS Server*), cada uma com módulos 802.21 devidamente inseridos nas camadas Y-Comm. Os comandos iniciados por “MIH_” são comandos do protocolo 802.21.

Figura 46 - Arquitetura MYHand

O nó móvel (MN) pode possuir mais de uma interface de rede. O módulo MIHF situa-se na camada de Abstração de Rede (*Network Abstraction*) e é responsável pela abstração das interfaces de rede para as camadas superiores. Este módulo recebe comandos e envia eventos e informações para o módulo Gerenciador de Handover, recebe comandos do Gerenciador de Handover Vertical e envia os comandos provenientes dos módulos superiores para MIHF remotos. Os Pontos de Acesso de Serviço (Service Access Points) MIH_SAP, MIH_LINK_SAP e MIH_NET_SAP fazem a interface entre o MIHF e os outros módulos. O módulo Gerenciador de Handover adquire informações do dispositivo, do usuário e das redes através dos comandos MIH_Get_Information e MIH_MN_HO_Candidate_Query, e decide quando e para qual antena um *handover* deve ser feito. O módulo Gerenciador de Handover Vertical recebe comandos do módulo Gerenciador de Handover solicitando a realização de um *handover* (**do_handover**), adquire recursos da rede alvo e realiza, de fato, o *handover* (MIH_MN_HO_Commit).

Ainda na Figura 46, o PoS-S é o ponto de rede ao qual o MN está diretamente conectado e possui apenas uma interface de rede para conexão pelos usuários móveis. O módulo MIHF abstrai a interface de rede para as camadas superiores e repassa comandos MIH remotos para os respectivos módulos. O módulo Handover Manager funciona como um Servidor MIIS *proxy* e é responsável por fornecer informações ao MN. Estas informações são provenientes de uma base de dados local (BD local), do servidor de informações MIIS (através do comando MIH_Get_Information) e de outras possíveis fontes. Este módulo também verifica a disponibilidade de recursos em redes candidatas através do comando MIH_N2N_HO_Query_Resources. O módulo Gerenciador de Recursos é responsável por solicitar alocação de recursos para o MN na rede alvo.

Na Rede Candidata/Alvo, o módulo MIHF tem a mesma função que no PoS-S. O módulo Gerenciador de Handover verifica e informa sobre a disponibilidade de recursos para novos

usuários ao módulo Gerenciador de Handover do PoS-S. O módulo Gerenciador de Handover aloca recursos de rede para um usuário que irá se conectar neste ponto de acesso, quando este for solicitado pelo Gerenciador de Handover do PoS-S.

No Servidor MIIS, o módulo que implementa o servidor de informações recebe e responde às requisições de informações sobre redes disponíveis em determinada área. O protocolo Mobile IP [Johnson, 2011], presente nas três primeiras entidades, possibilita a mobilidade do usuário no nível de rede.

Para detalhar mais o funcionamento desta arquitetura, a Figura 47 apresenta um fluxograma com o procedimento de um *handover* alternativo com requisito mínimo de vazão, e que tem como política de decisão de *handover* priorizar a pontuação pelo acesso conforme explicado na seção anterior (seção 5.1).

Seguindo o procedimento apresentado na Figura 47, antes de iniciar o *handover*, o MN encontra-se conectado à rede A pela sua interface Wi-Fi e encontra-se executando uma determinada aplicação com exigência de vazão mínima de 500Kbps. Aplicações de camadas mais altas no MN informam ao módulo Gerenciador de Handover (com a frequência adequada) sobre informações de QoS mínima, preferências do usuário (provedor, tecnologia de acesso, preço de acesso ou pontuação mínima, por exemplo). No caso do MN ainda não estar conectado a alguma rede, é necessário fazer uma busca por pontos de acesso disponíveis (*scanning*), através do comando `MIH_Link_Actions.request`, para procurar uma rede disponível. Este comando retorna informações de endereço do ponto de acesso, identificador de rede, força do sinal da antena, entre outras.

Figura 47 - Procedimento de handover alternativo

Para possibilitar um *handover* alternativo, o módulo Gerenciador de Handover (HM) do nó móvel periodicamente solicita informações ao HM do PoS-S sobre as redes disponíveis naquela região através da mensagem `MIH_Get_Information.request`. Nesta mensagem, o MN envia sua localização e tecnologia de acesso desejável (de acordo com suas interfaces de rede disponíveis e preferências do usuário) e recebe informações (`MIH_Get_Information.response`) sobre cada rede candidata como, por exemplo, SSID do provedor de acesso, parceiros com acordo de *roaming* (*roaming partners*), custo do acesso, taxa máxima de transferência de dados, e

pontuação (no caso do esquema estendido proposto), e informações de cada antena disponível como, por exemplo, endereço MAC, tecnologia, posição geográfica, canal utilizado e endereço IP. Eventualmente o HM do PoS-S pode consultar o Servidor MIIS para atualizar informações. As redes candidatas escolhidas pelo PoS-S para serem informadas ao MN podem ser todas as redes disponíveis em determinada localidade, ou apenas aquelas que oferecem a tecnologia especificada pelo MN, ou a rede especificada pelo MN. Todas as mensagens MIH remotas passam pelo MIHF das respectivas entidades.

O MN pode identificar cada rede como pertencente a um provedor ao qual ele tenha contrato de conexão, ou pertencente a um provedor parceiro de seu provedor *home* (através do campo *roaming partners* do protocolo 802.21).

Se, após uma consulta por redes disponíveis, o MN identificar uma rede com melhor pontuação que a rede atualmente sendo utilizada, o módulo Gerenciador de Handover (HM) pode decidir fazer um *handover* para esta rede. Como a aplicação exige um mínimo de vazão, o módulo HM envia o comando MIH_MN_HO_CandidateQuery.request para o módulo HM do PoS-S solicitando a verificação de recursos, informando qual(is) rede(s) deve(m) ser verificada(s) (redes candidatas) e os recursos mínimos exigidos. Este por sua vez, consulta a disponibilidade de recursos em cada rede candidata enviando o comando MIH_N2N_HO_QueryResources.request para o módulo HM de cada rede candidata, informando quais os recursos exigidos. As redes candidatas respondem com uma mensagem MIH_N2N_HO_QueryResources.response informando sobre a disponibilidade ou não dos recursos. Então, o HM do PoS-S junta as informações de disponibilidade das redes candidatas e responde ao MN com a mensagem MIH_MN_HO_CandidateQuery.response.

Com todas as informações necessárias, o módulo HM do MN decide se deve ou não fazer um *handover*. Em caso afirmativo, este envia um comando *do_handover* ao módulo Gerenciador

de Handover Vertical (VHM) para proceder com o *handover*, informando o tipo do enlace (GSM, IEEE802.11, UMTS, IEEE802.16, etc) e para qual rede o *handover* deve ser feito. O módulo VHM, por sua vez, notifica o módulo Gerenciador de Recursos (RM) do PoS-S através do comando MIH_MN_HO_Commit.request sobre a rede alvo escolhida. O módulo RM do PoS-S envia um comando MIH_N2N_HO_Commit.request ao módulo RM da rede alvo para avisar que o MN irá se conectar naquela rede. Então o RM da rede alvo aloca os recursos necessários para o MN e responde à requisição com uma mensagem MIH_N2N_HO_Commit.response avisando se a alocação foi realizada com sucesso ou não. Em caso positivo, o módulo RM do PoS-S avisa ao VHM do MN sobre o sucesso na operação através do comando MIH_MN_HO_Commit.response.

Com os recursos já alocados na rede alvo, o módulo VHM envia o comando MIH_Link_Actions.request para o MIHF solicitando que a interface seja ligada para o estabelecimento da conexão no nível de enlace com a antenna alvo em determinado canal ou solicitando que a interface atual se desconecte da antenna atual e se conecte com a antenna alvo. Por fim, a conexão com a rede alvo é estabelecida e o VHM avisa ao HM que o *handover* foi realizado (mensagem **handover_done**).

Após isso, o protocolo de mobilidade Mobile IP é executado em conjunto com o MN e o *Home Agent* para a continuidade da conexão para a camada de transporte.

Opcionalmente, o módulo HM do MN envia um comando MIH_MN_HO_Complete.request ao PoS da rede alvo, solicitando que este avise o antigo PoS que ele já pode liberar os recursos que estavam alocados ao MN naquela rede.

Diferentemente do *handover* alternativo, o *handover* imperativo reativo ocorre por razões técnicas como, por exemplo, queda na vazão ou perda do sinal da antenna, obrigando o dispositivo

móvel a realizar a troca de rede. O fluxograma da Figura 48 apresenta um exemplo de procedimento de *handover* deste tipo.

Figura 48 - Procedimento de handover imperativo reativo

No exemplo da Figura 48, para monitorar a situação da conexão atual, o Gerenciador de Handover (HM) do MN inscreve-se no evento `Link_Going_Down` através do comando `MIH_Event_Subscribe.request`, enviado ao MIHF local. Este evento avisa às camadas superiores quando o enlace está para se perder. O MIHF responde ao HM com um

MIH_Event_Subscribe.confirm. Opcionalmente, se o HM desejar monitorar a queda do sinal ou aumento de taxa de erro de pacotes, por exemplo, este inscreve-se no evento MIH_Link_Parameters_Report e configura limites (*thresholds*) utilizando o comando MIH_Link_Configure_Threshold.

Dois eventos podem desencadear um *handover* neste exemplo. Primeiro, se a aplicação ou um monitor de QoS da camada superior detectar queda de vazão, o módulo HM é notificado do fato (mensagem **perda de vazão**). Segundo, se o módulo HM receber um aviso do MIHF de que o enlace irá se perder (MIH_Link_Going_Down). Independente do evento que ocorra, o módulo HM solicita informações sobre as redes disponíveis através do comando MIH_Get_Information.Request, como descrito no caso do *handover* alternativo. Os passos seguintes são os mesmos que no exemplo anterior: o módulo HM escolhe as redes candidatas, verifica a disponibilidade de recursos, decide se faz o *handover* e para qual rede, e o módulo VHM (Gerenciador de Handover Vertical) executa a troca de rede.

5.3 Validação da modelagem da arquitetura

Para validar a modelagem da arquitetura MYHand, um cenário com três provedores de acesso foi simulado. Cada provedor possui quatro antenas Wi-Fi posicionadas ao longo de uma avenida de 1000 metros de extensão, como pode ser observado na Figura 49. Um usuário móvel, denominado User1, caminha pela avenida à uma velocidade de 4 km/h e realiza trocas de rede de acordo com duas políticas de decisão diferentes, totalizando 15 minutos de caminhada.

Figura 49 - Cenário para validação da modelagem da arquitetura

A primeira política de decisão, bastante comum, prioriza a força do sinal recebido (RSSI). Desta forma, o dispositivo realizou *handover* quando a força do sinal da próxima antena tornava-se maior que o sinal da antena atual. Para evitar o efeito *ping-pong*, discutido no capítulo 4, foi utilizada a média das últimas cinco medidas de RSSI e uma diferença mínima de $0,1 \cdot 10^{-10}$ na RSSI de uma antena para outra, ou seja, o dispositivo faz *handover* se a força do sinal do novo AP é maior que a força do sinal do AP atual mais esta diferença. A segunda política prioriza a pontuação oferecida pelo provedor, simulando a arquitetura MYHand com o esquema estendido proposto. Assim, se o usuário móvel encontrar uma antena que ofereça maior pontuação, desde que a força do sinal recebido esteja acima de um limite (*threshold*) mínimo ($0,2 \cdot 10^{-10}$), um *handover* é feito para esta antena.

Ainda na Figura 49, P1r, P2r e P3r são os roteadores de borda dos provedores P1, P2 e P3, respectivamente. O provedor P1 oferece 30 pontos para cada dólar gasto conectado ao provedor P1, o provedor P2 oferece 45 pontos e o provedor P3 oferece 60 pontos por dólar gasto. Para facilitar a compreensão dos resultados, o valor cobrado pelos provedores é o mesmo, 1 dólar a cada minuto conectado ao provedor. As configurações de modelo de propagação e camada MAC foram as mesmas das simulações apresentadas no Capítulo 4.

Em cada uma das 12 antenas, outros três usuários estacionados estão conectados para gerar tráfego na rede. Variou-se o tráfego nestes usuários em cada simulação: uma bateria de simulações com fluxos UDP de taxa constante de bit (CBR) de 100 Kbps em cada usuário e outra bateria com fluxo de 200 Kbps em cada um, cuja origem dos dados foi o nó Servidor de Conteúdo. No usuário móvel User1, uma conexão VoIP (64Kbps) com o *host* denominado Par VoIP foi executada durante sua caminhada. O total de bytes recebidos pelo usuário móvel e a pontuação obtida foi medida.

A Tabela 24 mostra os resultados de bytes recebidos e pontuação obtida com tráfego de 100 Kbps e 200 Kbps nos outros usuários. É possível observar na priorização por pontuação, o quanto o usuário móvel conseguiu ganhar a mais de pontuação, comparado com a priorização por força do sinal em ambos os tráfegos nos outros usuários. A vazão diminuiu pouco, em média 2bps (com 100 Kbps de tráfego) e 45bps (com 200 Kbps de tráfego), como pode ser observado pela quantidade de bytes recebidos.

Tabela 24 - Validação da modelagem da arquitetura - parte 1

Tráfego nos outros usuários	Medida	Priorizando RSSI	Priorizando PONTUAÇÃO
100 Kbps	bytes recebidos	7013 KB	7011 KB
	Pontos ganhos	689	873
200 Kbps	bytes recebidos	6996 KB	6955 KB
	Pontos ganhos	693	844

Para variar mais o cenário, foram feitas as mesmas simulações com as pontuações invertidas, ou seja, provedor P1 oferecendo 60 pontos, P2 oferecendo 45 pontos e P3 oferecendo 30 pontos por dólar gasto. Os resultados destas simulações, mostrados na Tabela 25, também demonstram o aumento na pontuação obtida e leve queda na vazão.

Tabela 25 - Validação da modelagem da arquitetura - parte 2

Tráfego nos outros usuários	Medida	Priorizando RSSI	Priorizando PONTUAÇÃO
100 Kbps	bytes recebidos	7013 KB	7005 KB
	Pontos ganhos	660	900
200 Kbps	bytes recebidos	6996 KB	6922 KB
	Pontos ganhos	656	879

O custo do lado cliente para a obtenção das informações de incentivo não foi calculado, mas seria da ordem de algumas dezenas de bytes. Estas informações serão recebidas juntamente com as outras informações do esquema básico, não havendo necessidade de realização de *scanning*.

Capítulo 6 Conclusões e trabalhos futuros

Conforme previsto nas Redes de Próxima Geração (NGN), um usuário móvel poderá acessar sob demanda várias redes de tecnologias diferentes, mesmo sem ter contrato com a rede à qual irá se conectar, e será o responsável pelo gerenciamento de *handover*. Estas características podem melhorar ou piorar a experiência de acesso do usuário e causar alguns impactos na vazão recebida, no valor gasto pelo acesso e no número de *handovers* feitos. Ainda, para o usuário poder decidir uma troca, ele precisará obter parâmetros de acesso das várias redes disponíveis, preferencialmente, antes de alcançar a área de cobertura daquela rede para poder antecipar a troca.

Esta tese apresentou, por meio de simulações, uma avaliação dos resultados de valor gasto com o acesso, quantidade de bytes recebidos e número de *handovers* feitos em um cenário com redes Wi-Fi e acesso sob demanda, comparado com o acesso tradicional (como é feito atualmente), no qual o usuário móvel pôde decidir o *handover* priorizando preço, força do sinal recebido ou carga de trabalho no ponto de acesso. Foram criados dois cenários, um menos povoado e outro mais povoado em termos de antenas e usuários, e para cada um variou-se a velocidade do usuário móvel (5 km/h e 36 km/h), a aplicação (VoIP, vídeo MPEG1 e FTP), e o tráfego nos outros usuários (100 kbps, 200 kbps e 400 kbps), totalizando 144 configurações diferentes de simulações diferentes. Esta tese apresentou também uma arquitetura de provimento de informações adicionais, denominada MYHand, que pode ser utilizada por um usuário móvel em um ambiente com acesso sob demanda em NGN para melhor decidir quando e para qual antena um *handover* deve ser feito. Para a montagem desta arquitetura, utilizou-se o protocolo 802.21, juntamente com um novo esquema estendido, e a arquitetura Y-Comm.

Nas simulações nas quais o preço de acesso foi priorizado, o valor gasto diminuiu comparado ao acesso tradicional. Este valor aumentou com o aumento de tráfego nos outros usuários, pois com a perda de *advertisements* (pacotes de aviso de presença), o dispositivo móvel era obrigado a conectar-se a antenas mais caras. Com o usuário em movimento à 5 km/h, no qual o número de *handovers* pode aumentar devido ao efeito *ping-pong*, com pouco tráfego, menos *handovers* foram feitos, comparado ao acesso tradicional, pois a política de decisão tornou-se mais estável à variação da força do sinal. Porém, com mais tráfego, o número de *handovers* aumentou. A quantidade de bytes recebidos foi próxima ao acesso tradicional com pouco tráfego nos outros usuários e tornou-se maior que no acesso tradicional com o aumento de tráfego nos outros usuários.

Nas simulações nas quais a força do sinal recebido foi priorizada, o número total de bytes recebidos aumentou comparado ao acesso tradicional, exceto nas simulações com tráfego VoIP, à 36 km/h e 100kbps nos outros usuários, nas quais o usuário móvel, seguindo a política de acesso tradicional, pôde permanecer por mais tempo conectado à mesma antena sem queda na vazão, podendo-se concluir que nem sempre o acesso sob demanda é benéfico. Movimentando-se à 36 km/h, o número de *handovers* foi maior que no acesso tradicional; à 5 km/h com mais tráfego, o número de *handovers* foi maior, e com pouco tráfego variou, ou seja, em algumas simulações foi maior e em outras foi menor. Em todas as simulações, o usuário móvel gastou mais que no acesso tradicional e este valor permaneceu estável independente do aumento de tráfego na rede (diferentemente da priorização por preço).

Nas simulações nas quais a carga de trabalho no ponto de acesso foi priorizada, o número total de bytes recebidos também aumentou comparado ao acesso tradicional, exceto nas simulações com tráfego VoIP à 36 km/h e 100 kbps nos outros usuários, reforçando a conclusão de que nem sempre o acesso sob demanda é benéfico. Porém o desempenho foi inferior à

priorização por força do sinal, obtendo uma vazão menor. De forma geral, comparado ao acesso tradicional, o número de *handovers* foi parecido ou até menor quando em movimento à 5 km/h com baixo tráfego, e mais *handovers* foram feitos quando em movimento à 5 km/h com mais tráfego ou à 36 km/h (com baixo e alto tráfego). Considerando o valor gasto, esta abordagem teve o pior desempenho.

As simulações realizadas envolveram apenas redes Wi-Fi para melhor comparar o acesso sob demanda e o acesso tradicional. Em um contexto multitecnologia, ou seja, em redes heterogêneas, os resultados poderiam ser diferentes devido às diferentes características de cobertura, capacidade de vazão, e preço, por exemplo. Tendo disponível uma tecnologia com maior cobertura (LTE, por exemplo) o usuário móvel poderia permanecer mais tempo conectado à mesma antena e diminuir a quantidade de trocas de rede, podendo mudar assim sua decisão de *handover*.

O estudo envolvendo as simulações proporcionou um aprendizado bastante rico, aumentando o conhecimento e a prática relacionados principalmente ao Mobile IP, ao comportamento da força do sinal recebido em função da distância, à programação C++ e OTcl, à análise do efeito *ping-pong* em função da distância entre antenas e tráfego no meio sem fio, e ao próprio ambiente de simulação.

Com relação à arquitetura MYHand, esta não especifica um algoritmo de decisão, mas pode ser utilizada em conjunto com um algoritmo para auxiliar no processo de tomada de decisão através do fornecimento de informações adicionais. Não há exigência de mudança nos equipamentos de rede e protocolos além das mudanças já planejadas pelo 802.21 e Y-Comm, apenas será necessária a disponibilidade do esquema estendido juntamente com o Esquema Básico do padrão IEEE 802.21. O modelo de incentivo via pontuação apresentado com a

arquitetura MYHand é apenas um exemplo entre uma gama grande de informações adicionais que podem ser disponibilizadas pelos provedores de acesso através desta arquitetura.

6.1 Contribuições

Os resultados desta tese, tanto das simulações quanto da arquitetura proposta, contribuem no gerenciamento de *handovers* em redes com acesso sob demanda. Os resultados das simulações podem auxiliar usuários móveis a escolherem melhor uma política de decisão em função do contexto atual, mais precisamente quando tiverem disponíveis informações de número de antenas ao redor, preço do acesso, carga de trabalho nos pontos de acesso, velocidade, e ainda levando em consideração a aplicação que está sendo executada no dispositivo móvel. Além disso, a arquitetura MYHand permitirá aos provedores de acesso oferecerem informações adicionais para que clientes em potencial possam decidir melhor uma troca de rede. Da mesma forma que pode ocasionar maior concorrência entre provedores.

Os resultados desta tese também tiveram contribuições para a literatura, conforme a lista de artigos abaixo:

- Access on demand in NGN: a methodology for assessing the impacts of dynamic changes of wireless providers [Augusto, 2009]. Este artigo apresenta uma metodologia para avaliação dos impactos do acesso sob demanda em redes sem fio. Esta metodologia foi utilizada, em parte, para a montagem dos cenários e simulações desta tese. Este artigo foi aceito para publicação no 8th International Information and Telecommunication Technologies Symposium (I2TS'2009);
- Exploring Efficient Imperative Handover Mechanisms for Heterogeneous Wireless Networks [Mapp, 2009]. Este artigo apresenta de forma mais detalhada algumas partes da arquitetura Y-Comm e uma classificação dos tipos de *handover*. Estas duas partes do artigo

foram debatidas em reuniões com o primeiro autor do artigo em sua visita ao ICMC em 2008 e estão apresentadas nesta tese. Este artigo foi aceito para publicação no 12th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS'2009);

- Exploiting Location and Contextual Information to Develop a Comprehensive Framework for Proactive Handover in Heterogeneous Environments [Mapp, 2012]. Este artigo explora o desenvolvimento de um arcabouço que pode otimizar a comunicação em redes heterogêneas usando informação de localização e contexto. Inclui a classificação dos tipos de *handover*. Este artigo foi aceito para publicação no Journal of Computer Networks and Communications (JCNC), edição especial “Context-Enriched and Location-Aware Services”;

- Access on Demand on Wi-Fi Networks: the Impact of Dynamic Switching of Providers for the Mobile User [Augusto, 2012a]. Este artigo apresenta os resultados das simulações de um ambiente com acesso sob demanda apresentados no Capítulo 4 desta tese. Este artigo foi aceito para publicação no XI Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação (Wperformance 2012);

- A Novel Architecture for Improving Alternative Handovers in NGNs [Augusto, 2012b]. Este artigo apresenta a arquitetura para provimento de informações adicionais para acesso sob demanda em ambiente NGN, apresentada no Capítulo 5 desta tese. Este artigo foi submetido ao 7th Latin America Networking Conference (LANC'2012) e aguarda resultado de aceitação.

6.2 Trabalhos Futuros

Como sugestões para trabalhos futuros, com relação às simulações, poderia ser trabalhado o estresse de carga na rede para procurar limites. Por exemplo, nos gráficos de valor gasto em função do tráfego nos outros usuários, o valor gasto é menor quando o usuário prioriza preço,

porém, quanto maior o tráfego, maior o gasto. Até que ponto compensa priorizar preço, considerando o tráfego nos outros usuários? Também poderia ser feito um estudo mais detalhado investigando as perdas associadas ao tempo de *handover* (100ms), principalmente com fluxo TCP devido à necessidade de recebimento de ACKs (acknowledgement) no transmissor dos pacotes. Outra sugestão é simular políticas de decisão de *handover* mais complexas ou até mesmo baseadas em teoria dos jogos, que considerem outras métricas além das trabalhadas nesta tese.

Com relação à arquitetura MYHand, poderia ser implementada uma negociação de parâmetros de acesso entre o dispositivo móvel e as redes de acesso tais como privacidade, segurança e incentivos utilizando-se o protocolo 802.21.

Referências Bibliográficas

- [3GPP 22.934] Third Generation Partnership Project – 3GPP, “Feasibility study on 3GPP system to Wireless Local Area Network (WLAN) interworking”, Release 7, Junho, 2007.
- [3GPP 23.101] Third Generation Partnership Project – 3GPP, “General UMTS Architecture”, Release 7, Junho, 2007.
- [Araujo, 2003] Araújo, R. B., “Computação Ubíqua: Princípios, Tecnologias e Desafios”, XXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, p. 45-115, Maio, 2003.
- [Augusto, 2009] Augusto, M., Moreira, E. S., “Access on demand in ngn: a methodology for assessing the impacts of dynamic changes of wireless providers”, In: Proceedings of the 8th International Information and Telecommunication Technologies Symposium - I2TS’09, p. 254–257, Dezembro, 2009.
- [Augusto, 2012a] Augusto, M., Moreira, E. S., “Access on Demand on Wi-Fi Networks: the Impact of Dynamic Switching of Providers for the Mobile User”, In: XI Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação (Wperformance 2012), Anais do XXXII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, Julho, 2012.
- [Augusto, 2012b] Augusto, M., Vanni, R. P., Guardia, H. C., Aiash, M., Mapp, G., Moreira, E. S., “A Novel Architecture for Improving Alternative Handovers in NGNs”, submetido ao 7th Latin America Networking Conference (LANC’2012), Outubro, 2012.
- [Aust, 2003] Aust, S., Proetel, D., Fikouras, N. A., Paupu, C., Gorg, D., “Policy based mobile IP handoff decision (POLIMAND) using generic link layer information”, In: Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Mobile and Wireless Communication Networks, 2003, Outubro, 2003.
- [Bluetooth, 2009] The Official Bluetooth Technology Info Site. Disponível em: <http://www.bluetooth.com>. Acessado em junho/2012.
- [Blunk, 1998] Blunk, L., Vollbreach, J., “PPP Extensible Authentication Protocol (EAP)” – RFC2284, Março, 1998.
- [Bresil, 2004] Bresil, R., “Integração Entre Redes Locais sem Fio (WLANs) e Redes de Sistemas Celulares”, dissertação de mestrado, Instituto de Computação – Unicamp, Agosto, 2004.
- [Cicconetti, 2011] Cicconetti, C., Galeassi, F., Mambrini, R., “A software architecture for network-assisted handover in IEEE 802.21”, Journal of Communications, vol. 6, n° 1, p. 44-55, 2011.
- [Cisco, 2008] Cisco Network Security Fundamentals: Wireless Security. Disponível em: <http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=360065&seqNum=3>. Acessado em junho/2012.
- [DeVriendt, 2002] De Vriendt, J., Laine, P., Lerouge, C., Xiaofeng, X., “Mobile Network Evolution: A Revolution on the Move”, IEEE Communications Magazine, vol. 40, n° 4, p. 104-111, Abril, 2002.

[Dutta, 2006] Dutta, A., Madhani, S., Zhang, T., “Network Discovery Mechanisms for Fast-handoff”, In: Proceedings of the 3rd International Conference on Broadband Communications, Networks and Systems, p. 1-11, Outubro, 2006.

[Gast, 2002] Gast, M., 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide, Editora O’Reilly, 2002.

[Harte, 2002] Harte, L., Levine, R. e Kikta, R., 3G Wireless Demystified, McGraw-Hill, 2002.

[Hecker, 2005] Hecker, A., Pujolle, G., Afifi, H., Serhrouchini, A., “A New Access Control Solution for a Multi-Provider Wireless Environment”, Telecommunication Systems, vol. 29, nº 2, p. 131-152, 2005.

[IEEE, 2007] Institute of Electrical and Electronics Engineers, “IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange Between Systems – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications”, IEEE Std 802.11-2007, DOI: 10.1109/IEEESTD.2007.373646, Junho, 2007.

[IEEE, 2009a] Institute of Electrical and Electronics Engineers, “IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Part 21: Media Independent Handover Services”, IEEE Std 802.21-2008, DOI: 10.1109/IEEESTD.2009.4769367, Janeiro, 2009

[IEEE, 2009b] Institute of Electrical and Electronics Engineers, “IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange Between Systems – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications – Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput”, IEEE Std 802.11n-2009, Outubro, 2009.

[ISO4217, 2012] International Organization for Standardization – ISO, “Current currencies & funds”. Disponível em: http://www.iso.org/iso/currency_codes_list-1. Acessado em junho/2012.

[ITU, 2004] International Telecommunication Union – ITU-T Recommendation Y.2001, “General overview of NGN”, Disponível em: <http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2001-200412-I/e>. Acessado em junho/2012.

[ITU, 2009] International Telecommunication Union. Disponível em: <http://www.itu.int/home/imt.html>. Acessado em julho/2012.

[Johnson , 2004] Johnson, D., Perkins, C., Arkko, J., “Mobility Support in Ipv6” – RFC 3775, Junho, 2004.

[Johnson, 2011] Johnson, D., Perkins, C., Arkko, J., “Mobility Support in Ipv6” – RFC 6275, Julho, 2011.

[Kappler, 2004] Kappler, C., Mendes, P., Prehofer, C., Poyhonen, P., Zhou, D., “A framework for self-organized network composition”, In: Proceedings of the First international IFIP Conference on Autonomic Communication WAC’04, p. 139-151, 2004, ISBN:3-540-27417-0 978-3-540-27417-9, DOI 10.1007/11520184 11.

- [Kassar, 2008] Kassar, M., Kervella, B., and Pujolle, G.. “An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks”. *Computer Communications*, vol. 31, n° 10, p. 2607–2620, Junho, 2008.
- [Korhonen, 2008] Korhonen, J., Aboba, B., Bari, F., Arkko, J., “Network Discovery and Selection Problem” - RFC 5113, 2008.
- [Li, 2007] Li, B., Qin, Y., Low, C. P., Gwee, C. L., “A Survey on Mobile WiMAX”, *IEEE Communications Magazine*, vol. 5, n° 12, p. 70-75, Dezembro, 2007.
- [Loa, 2010] Loa, K., Wu, C., Sheu, S., Yuan, Y., Chion, M., Huo, D., Xu, L., “IMT-Advanced Relay Standards – WiMax/LTE Update”, *IEEE Communications Magazine*, vol. 48, n° 8, p. 40-48, DOI 10.1109/MCOM.2010.5534586, Agosto, 2010.
- [Lopes, 2007] Lopes, R. R. F., Yokoyama, R. S., Santos, D. P., Moreira, E. S., Guardia, H. C., “Wireless Footprinting: Um mecanismo ciente de contexto para gerenciar handovers entre redes de acesso sem fio”, In: *I Workshop on Pervasive and Ubiquitous Computing – WPUC 2007*, 2007.
- [Lyytinen, 2002] Lyytinen, K., Yoo, Y., “Issues and Challenges in Ubiquitous Computing”, *Communications of the ACM*, vol. 45, n° 12, p. 62-65, Dezembro, 2002.
- [Mapp, 2007] Mapp, G., Shaikh, F., Cottingham, D., Crowcroft, J., Baliosian, J., “Y-Comm: a global architecture for heterogeneous networking”, In: *Proceeding of the 3rd International Conference on Wireless Internet (WICON 2007)*, 2007, ISBN: 978-963-9799-12-7.
- [Mapp, 2009] Mapp, G., Shaikh, F., Aiash, M., Vanni, R.M. P., Augusto, M., Moreira, E. S., “Exploring efficient imperative handover mechanisms for heterogenous wireless”, In: *Proceedings of the 12th International Conference on Network-Based Information Systems NBiS*, p. 286-291, Agosto, 2009.
- [Mapp, 2012] Mapp, G., Katsriku, F., Aiash, M., Chinnam, N., Lopes, R., Moreira, E. S., Vanni, R. M. P., Augusto, M., “Exploiting Location and Contextual Information to Develop a Comprehensive Framework for Proactive Handover in Heterogeneous Environments”, *Journal of Computer Networks and Communications (JCNC)*, 2012.
- [Martins, 2003] Martins, L., Barbosa, A., Lima, M. B., “Redes móveis baseadas nos protocolos IPv4 e IPv6 – uma visão geral do MIP e MIPv6”, *Boletim bimestral sobre tecnologia de redes – RNP Rede Nacional de Ensino e Pesquisa*, ISSN 1518-5974, vol. 7, n° 1, Abril, 2003.
- [Mateus, 2010] Mateus, A., Marinheiro, R. N., “A Media Independent Information Service Integration Architecture for Media Independent Handover”, In: *Proceedings of 9th International Conference on Networks (ICN 2010)*, p. 173-178, French Alps, France, Abril, 2010.
- [Medepalli, 2004] Medepalli, K., Gopalakrishnan, P., Famolari, D., Kodama, T., “Voice capacity of IEEE 802.11b, 802.11a and 802.11g wireless LANs”, In: *Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference – Globecom 2004*, vol. 3, p. 1549-1553, 2004.

[Moreira, 2007] Moreira, E. S., Cottingham, D., Crowcroft, J., Hui, P., Mapp, G., Vanni, R. M. P., “Exploiting Handovers to Improve Business in 4th Generation Environments”, In: Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Digital Information Management (ICDIM'07), 2007.

[Niebert, 2004] Niebert, N., Schieder, A., Abramowicz, H., Prehofer, C., Karl, H., “Ambient Networks: An Architecture for Communication Networks Beyond 3G”, IEEE Wireless Communication, vol. 11, n° 2, p. 14-22, Abril, 2004.

[NOAH, 2012] The NO Ad-Hoc Routing Agent (NOAH) website. Disponível em: <http://icapeople.epfl.ch/widmer/uwb/ns-2/noah/>. Acessado em junho/2012.

[NS2, 2012] The Network Simulator – NS2. Disponível em: <http://nslam.isi.edu/nslam>. Acessado em junho/2012.

[OWL2, 2012] OWL2. Web Ontology Language (OWL2). Disponível em: <http://www.w3.org/TR/owl2-overview>. Acessado em junho/2012.

[Palazzi, 2007] Palazzi, C. E., Chin, B., Ray, P., Pau, G., Gerla, M., Roccetti, M., “High Mobility in a Realistic Wireless Environment: a Mobile IP Handoff Model for NS-2”, In: Proceedings of the 3rd International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities – TridentCom 2007, p. 1-7, Maio, 2007.

[Perkins, 2002] Perkins, C., “IP Mobility Support for Ipv4” – RFC 3344, Agosto, 2002.

[Perkins, 2010] Perkins, C., “IP Mobility Support for Ipv4, Revised” – RFC 5944, Novembro, 2010.

[Peterson, 2005] Peterson, J., “A Presence-based GEOPRIV Location Object Format” – RFC 4119, Dezembro, 2005.

[Polk, 2004] Polk, J., Schnizlein, J., Linsner, M., “Dynamic Host Configuration Protocol Option for Coordinate-based Location Configuration Information” – RFC 3825, Julho, 2004.

[Pollini, 1996] Pollini, G. P., “Trends in handover design”, IEEE Communications Magazine, vol. 34, n° 3, p. 82-90, Março, 1996.

[Rigney, 2000] Rigney, C., Willats, W., Calhoun, P., “RADIUS Extensions” – RFC 2869, Junho, 2000.

[Rizvi, 2010] Rizvi, S., Aziz, A., and Saad, N.. “An overview of vertical handoff decision policies for next generation wireless networks”. IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS), p. 88-91, Dezembro, 2010.

[Samjani, 2002] Samjani, A., “General Packet Radio Service (GPRS)”, IEEE Potentials, vol. 21, n° 2, p. 12-15, Abril-Maio, 2002.

[Sharma, 2004] Sharma, S., Zhu, N., Chieueh, T., “Low-latency mobile IP handoff for infrastructure-mode wireless LANs”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 22, n° 4, p. 643-652, Maio, 2004.

- [Srivastava, 2005] Srivastava, V., Motani, M., “Cross-layer design: A survey and the road ahead”, IEEE Communications Magazine, vol. 43, nº 12, p. 112-119, Dezembro, 2005.
- [Su, 2007] Su, J., Scott, J., Hui, P., Upton, E., Lim, M. H., Diot, C., Crowcroft, J., Goel, A., Lara, E., “Haggle: Clean-Slate Networking for Mobile Devices”, Technical report UCAM-CL-TR-680, University of Cambridge, Janeiro, 2007.
- [Symington, 2009] Symington, A., Kritzinger, P., “A Hardware Test Bed for Measuring IEEE 802.11g Distribution Coordination Function Performance”, In: Proceedings of the 17th IEEE/ACM International Symposium on Modelling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems – MASCOTS 2009, p. 1-7, Setembro, 2009.
- [Tanenbaum, 2003] Tanenbaum, A. S., Redes de Computadores, Editora Campus, 4^a edição, 2003.
- [Urien, 2002] Urien, P., Tizraoui, A., Loutrel, M., Lu, K., “Integration EAP in SIM-IP smartcards”, Workshop ASWN, 2002.
- [Vanni, 2006] Vanni, R. M. P., Moreira, E. S., Goularte, R., “DOHand: An ontology to support building services to exploit handover information in mobile heterogeneous networks”, In: Proceedings of the 5th International Information and Telecommunication Technologies Symposium – I2TS’06, vol. 1, p. 105-112, Dezembro, 2006.
- [Wang, 1999] Wang, H. J., Katz, R. H., Giese, J., “Policy-enabled handoffs across heterogeneous wireless networks”, In: Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications – WMCSA’99, p. 51-60, Fevereiro, 1999.
- [Weiser, 1991] Weiser, M., “The Computer for the 21st Century”, Scientific American, vol. 265, nº 3, p. 94-104, Setembro, 1991.
- [WiFi, 2009] Wireless Ethernet Compatibility Alliance. Disponível em: <http://www.wi-fi.org>. Acessado em junho/2012.
- [Wiki, 2012] Wikipedia – The Free Encyclopedia, “IEEE 802.11ac”. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11ac. Acessado em julho/2012.
- [WiMAX, 2009] WiMAX Forum, “Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation”. Disponível em: <http://www.wimaxforum.org>. Acessado em junho/2012.
- [Wu, 2009] Wu, J., Yang, S., Hwang, B., “A terminal-controlled vertical handover decision scheme in IEEE 802.21-enabled heterogeneous wireless networks”, International Journal of Communication Systems, vol. 22, nº 7, p. 819-834, Julho, 2009.
- [Yokoyama, 2008] Yokoyama, R. S., Kimura, B. Y., Lopes, R. R. F., Moreira, E. S., “Uma abordagem ciente de contexto para handovers orientados a serviços em ambientes NGN”, In: Proceedings of the 7th International Information and Telecommunication Technologies Symposium – I2TS’08, Dezembro, 2008.

[Zhu, 2006] Zhu, F., McNair, J., “Multiservice vertical handoff decision algorithm”, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, vol. 6, nº 2, p. 1-13, Abril, 2006.

Apêndice A – Resultados do cenário menos povoado à 36 km/h

Aplicação no móvel	Tráfego outros usuários (bps)	Medida	Acesso tradicional	Acesso sob demanda		
				PREÇO	RSSI	CARGA
VoIP	100k	Valor pago	15.29	11.42	16.28	21.33
		Bytes recebidos	868000	840800	865440	861280
		Nro handovers	2	4	8	3
	200k	Valor pago	15.29	11.31	16.77	21.11
		Bytes recebidos	805120	829440	857120	826560
		Nro handovers	4	4	8	4
	400k	Valor pago	15.29	12.56	16.28	19.83
		Bytes recebidos	620320	791200	859680	804640
		Nro handovers	2	8	8	6
MPEG1	100k	Valor pago	15.29	11.81	16.64	21.33
		Bytes recebidos	19047800	19535800	20279400	20276200
		Nro handovers	4	5	8	3
	200k	Valor pago	15.29	12.20	16.69	20.77
		Bytes recebidos	14499800	18910000	20278400	19149800
		Nro handovers	2	5	8	7
	400k	Valor pago	15.29	13.82	16.19	19.06
		Bytes recebidos	9329400	15170000	16392600	15141200
		Nro handovers	2	8	10	13
FTP	100k	Valor pago	15.29	11.15	16.50	21.33
		Bytes recebidos	35558640	34297380	45876640	38256720
		Nro handovers	4	5	8	3
	200k	Valor pago	15.29	11.36	16.44	20.72
		Bytes recebidos	22511760	22679620	35065840	27969520
		Nro handovers	2	7	8	7
	400k	Valor pago	15.29	13.01	16.64	20.88
		Bytes recebidos	3699120	10242580	16525780	11779500
		Nro handovers	2	5	8	7

Apêndice B – Resultados do cenário menos povoado à 5 km/h

Aplicação no móvel	Tráfego outros usuários (bps)	Medida	Acesso tradicional	Acesso sob demanda		
				PREÇO	RSSI	CARGA
VoIP	100k	Valor pago	105.64	78.67	113.50	140.71
		Bytes recebidos	5890080	6013760	6057920	6041120
		Nro handovers	36	5	18	7
	200k	Valor pago	105.64	83.62	113.30	143.72
		Bytes recebidos	5755520	6012160	6049600	6020480
		Nro handovers	24	5	14	14
	400k	Valor pago	105.64	96.49	113.39	132.85
		Bytes recebidos	4061120	5799520	5958400	5800800
		Nro handovers	4	8	18	13
MPEG1	100k	Valor pago	105.64	82.90	113.61	144.46
		Bytes recebidos	132289600	141011800	141924400	142090600
		Nro handovers	22	5	20	11
	200k	Valor pago	105.64	88.21	113.39	141.65
		Bytes recebidos	111333400	134665400	141289600	138697400
		Nro handovers	14	6	24	12
	400k	Valor pago	105.64	98.19	114.41	127.08
		Bytes recebidos	64136000	109188800	118051200	108851000
		Nro handovers	20	28	43	39
FTP	100k	Valor pago	105.64	82.18	113.64	147.32
		Bytes recebidos	240574220	275267340	331226320	280121420
		Nro handovers	18	5	25	11
	200k	Valor pago	105.64	89.42	113.53	138.02
		Bytes recebidos	149812780	209697220	258164100	214364960
		Nro handovers	24	10	24	11
	400k	Valor pago	105.64	94.38	113.30	131.23
		Bytes recebidos	49521820	86374020	113342500	106791340
		Nro handovers	14	24	30	21

Apêndice C – Resultados do cenário mais povoado à 36 km/h

Aplicação no móvel	Tráfego outros usuários (bps)	Medida	Acesso tradicional	Acesso sob demanda		
				PREÇO	RSSI	CARGA
VoIP	100k	Valor pago	15.29	9.53	16.88	21.30
		Bytes recebidos	869600	850080	861920	867360
		Nro handovers	3	3	12	5
	200k	Valor pago	15.29	9.64	16.71	21.30
		Bytes recebidos	840800	824960	861600	856480
		Nro handovers	7	3	12	5
	400k	Valor pago	15.29	11.81	16.43	20.91
		Bytes recebidos	530400	711360	760800	732640
		Nro handovers	5	14	17	8
MPEG1	100k	Valor pago	15.29	9.64	17.10	21.30
		Bytes recebidos	20004000	19260800	20201600	20333200
		Nro handovers	5	3	12	5
	200k	Valor pago	15.29	11.04	16.90	21.30
		Bytes recebidos	16769200	18846200	20018800	18760000
		Nro handovers	3	4	12	5
	400k	Valor pago	15.29	12.24	16.52	20.77
		Bytes recebidos	8447200	10537000	13159600	11780800
		Nro handovers	3	11	14	11
FTP	100k	Valor pago	15.29	10.09	16.96	21.30
		Bytes recebidos	35931320	31888820	41881880	39809040
		Nro handovers	3	4	14	5
	200k	Valor pago	15.29	9.98	16.74	21.25
		Bytes recebidos	18969760	16093040	27559880	24219620
		Nro handovers	3	4	12	7
	400k	Valor pago	15.29	11.54	17.21	21.19
		Bytes recebidos	3592860	3483520	11177360	9329360
		Nro handovers	5	8	13	7

Apêndice D – Resultados do cenário mais povoado à 5 km/h

Aplicação no móvel	Tráfego outros usuários (bps)	Medida	Acesso tradicional	Acesso sob demanda		
				PREÇO	RSSI	CARGA
VoIP	100k	Valor pago	105.64	68.49	116.76	147.40
		Bytes recebidos	6034720	6019840	6052480	6050080
		Nro handovers	17	12	24	17
	200k	Valor pago	105.64	74.99	115.62	147.12
		Bytes recebidos	5822720	5996480	6045440	6010880
		Nro handovers	23	5	20	23
	400k	Valor pago	105.64	86.30	115.07	144.01
		Bytes recebidos	4193120	5565760	5765920	5370080
		Nro handovers	11	39	38	59
MPEG1	100k	Valor pago	105.64	74.32	115.88	147.40
		Bytes recebidos	141603400	141461200	141699200	141936200
		Nro handovers	17	6	32	19
	200k	Valor pago	105.64	77.90	115.40	146.71
		Bytes recebidos	119316200	135819200	141193600	136009000
		Nro handovers	15	9	26	27
	400k	Valor pago	105.64	89.50	116.46	140.03
		Bytes recebidos	59423200	85155200	108808400	88059800
		Nro handovers	11	65	50	99
FTP	100k	Valor pago	105.64	68.60	115.51	147.40
		Bytes recebidos	256340740	239716440	316574760	278484400
		Nro handovers	21	9	27	21
	200k	Valor pago	105.64	78.07	115.37	146.90
		Bytes recebidos	139305360	159847420	225502240	181071700
		Nro handovers	33	10	16	35
	400k	Valor pago	105.64	85.87	116.24	142.76
		Bytes recebidos	33213220	38915840	92783500	77167900
		Nro handovers	15	24	40	68