



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE CASTANHAL
FACULDADE DE COMPUTAÇÃO
CURSO DE BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

FABIO PEREIRA FERREIRA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO PARA DISPOSITIVO MÓVEL
DE DUAL-INTERFACE COM CONEXÃO SIMULTÂNEA**

**Castanhal
2018**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE CASTANHAL
FACULDADE DE COMPUTAÇÃO
CURSO DE BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

FABIO PEREIRA FERREIRA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO PARA DISPOSITIVO MÓVEL
DE DUAL-INTERFACE COM CONEXÃO SIMULTÂNEA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
para obtenção do grau de Bacharel em Sistemas
de Informação.

Orientador: Prof. Me. Jorge Amaro de Sarges
Cardoso

**Castanhal
2018**

Silva, Fabio

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO PARA DISPOSITIVO MÓVEL DE DUAL-
INTERFACE COM CONEXÃO SIMULTÂNEA / FABIO PEREIRA FERREIRA DA
SILVA. – Castanhal, 2018.

75 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Me. Jorge Amaro de Sarges Cardoso

Monografia – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE CASTANHAL
CURSO DE BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO, 2018.

1. Avaliação de Desempenho. 2. Dispositivo Móvel. 3. Redes Heterogêneas. I.
Título.

FABIO PEREIRA FERREIRA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO PARA DISPOSITIVO
MÓVEL DE DUAL-INTERFACE COM CONEXÃO
SIMULTÂNEA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
para obtenção do grau de Bacharel em Sistemas
de Informação.

Data da Defesa: 18 de Dezembro de 2018

Conceito:

Banca Examinadora

Prof. Me. Jorge Amaro de Sarges Cardoso
Faculdade de Computação - UFPA/Castanhal
Orientador

Prof. Dr. Tássio Costa de Carvalho
Faculdade de Computação - UFPA
Membro da Banca

**Prof. Dr. José Jailton Henrique Ferreira
Junior**
Faculdade de Computação - UFPA
Membro da Banca

Castanhal
2018

*Este trabalho é dedicado às crianças adultas que,
quando pequenas, sonharam em se tornar cientistas.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a HASHEM, o Todo Poderoso, criador dos céus e da terra pela força que me deu durante os quatro anos de faculdade e por toda sabedoria e conhecimento que me concedeu em toda a minha vida.

Nossos sábios nos ensinam que precisamos honrar aqueles que nos acolhem. Um especial agradecimento a minha mãe, minha esposa e toda sua família pelo apoio nas horas mais difíceis a qual precisei, que foram de fundamental importância no apoio as dificuldades, sem a ajuda de vocês esse sonho não seria possível.

Agradeço em especial aos meus orientadores, Prof. Me. Jorge Amaro de Sarges Cardoso e Prof. Dr. José Jaílton Júnior, pela confiança e oportunidade que me concedeu para participar de seu projeto e desenvolver esse trabalho. Agradeço aos meus amigos de classe pela troca de conhecimento, principalmente a equipe da HUE Systems que contribuiu bastante nas atividades em equipe.

Agradeço com um carinho enorme ao Leonardo Wallace e Kennedy Souza, pois foram de fundamental importância não só nas atividades extraclasse, mas que atuaram como irmãos e amigos. Agradeço aos meus professores que passaram pela FACOMP por me ensinarem o caminho do conhecimento. Muito Obrigado Mestres e Doutores!

Que HASHEM abençoe e retribua todos os seus feitos; eleve e engrandeça seu brilho e seu esplendor. Que Ele dê vida longa e boa a todos os seus familiares, com alegrias e riqueza.

Que seja a vontade do Todo Poderoso, que todos juntos mereçamos ver o florescimento da comunidade científica acadêmica, prosperando na elevação contínua, constante e permanente, da busca pelo conhecimento.

*“A verdadeira viagem de descobrimento
não consiste em procurar novas paisagens,
mas em ter novos olhos.”
(Marcel Proust)*

RESUMO

Com o aumento exponencial das redes sem fio heterogêneas na atualidade, houve um crescente interesse pela comunidade acadêmica por questões voltadas à problemas de *handover* vertical. Com o intuito de garantir a qualidade e continuidade de serviço, utilizadas pelos dispositivos móveis no uso de *streaming*, na migração entre redes com diferentes tecnologias. O principal objetivo deste trabalho, é avaliar a qualidade de serviço e desempenho, de um dispositivo com Dual-interface, que se conectam simultaneamente a duas redes heterogêneas (*Wi-Fi e 4G*). Para que não haja concorrência na troca de pacotes entre as duas interfaces, propondo assim, uma solução viável para mitigação dos impactos ocorridos pelo *handover* vertical. A ferramenta utilizada para avaliação, desempenho e obtenção dos resultados, foi o *Network Simulator*. Todos os resultados foram satisfatórios, principalmente os resultados obtidos pelo tráfego da vazão, onde houve uma melhora de cem por cento em relação ao cenário com utilização de dispositivo móvel tradicional. Isso devido os dispositivos móveis tradicionais utilizarem alternadamente uma única interface na conexão com redes heterogêneas.

Palavras-chave: Redes Sem Fio Heterogêneas; Handover Vertical; Dispositivos Móveis; Qualidade de Serviço; Network Simulator.

ABSTRACT

With the exponential increase of heterogeneous wireless networks nowadays, there was a growing interest in the academic community, due to issues related to vertical handover problems. In order to guarantee the quality and continuity of service, used by mobile devices in the use of streaming, in the migration between networks with different technologies. The main objective of this work is to evaluate the quality of service and performance of a dual-interface device, which connect simultaneously to two heterogeneous networks (Wi-Fi and 4G). So that there is no competition in the exchange of packets between the two interfaces, thus proposing a viable solution to mitigate the impacts of vertical handover. The tool used to evaluate, perform and obtain the results was the Network Simulator. All the results were satisfactory, especially the results obtained by the traffic flow, where there was an improvement of one hundred percent in relation to the scenario using traditional mobile device. This is because traditional mobile devices use a single interface in connection with heterogeneous networks.

Keywords: Heterogeneous Wireless Networks; Vertical Handover; Mobile Devices; Quality of Service; Network Simulator.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tipos de Redes Sem Fio	21
Figura 2 – Rede WPAN	22
Figura 3 – Rede WLAN	23
Figura 4 – Rede WMAN	24
Figura 5 – Rede WWAN	25
Figura 6 – Elementos de uma Rede Sem Fio	26
Figura 7 – Componentes de uma rede Wi-Fi	27
Figura 8 – Arquitetura Lógica de uma rede 802.11	28
Figura 9 – Rede IBSS	28
Figura 10 – Rede BSS	29
Figura 11 – Rede ESS	30
Figura 12 – Rede DS	30
Figura 13 – CSMA/CA	31
Gráfico 1 – Características de Enlaces Padrões	32
Gráfico 2 – Utilização da largura de banda do FHSS vs. DSSS.	33
Figura 14 – Rede: Infraestrutura de Rede LTE	36
Figura 15 – Portadoras Agregadas	37
Figura 16 – Portadoras Agregadas: Alternativas intra e inter-bandas	38
Figura 17 – Carrier Aggregation: Servindo Células	38
Figura 18 – MIMO - Spatial Multiplexing (2x2)	39
Figura 19 – MIMO - High S/N	39
Figura 20 – Handover	40
Figura 21 – Handover Vertical	41
Figura 22 – Handover Horizontal	42
Figura 23 – Cenário de Conexão Simultânea de Dispositivo Com Dual-Interface	46
Figura 24 – Dispositivo Tradicional	49
Gráfico 3 – Vazão do Dispositivo Tradicional	50
Gráfico 4 – Atraso do Dispositivo Tradicional	50
Gráfico 5 – Perda de Pacotes do Dispositivo Tradicional	51
Figura 25 – Dispositivo com Dual-Interface	52
Gráfico 6 – Vazão do Dispositivo Dual-Interface	52
Gráfico 7 – Atraso do Dispositivo Dual-Interface	53
Gráfico 8 – Perda de Pacotes do Dispositivo Dual-Interface	53
Gráfico 9 – Comparação dos Resultados da Vazão	54
Gráfico 10 – Comparação dos Resultados do Atraso	55
Gráfico 11 – Comparação dos Resultados das Perdas de Pacotes	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Parâmetros Gerais	49
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
2G	<i>Segunda Geração</i>
3G	<i>Terceira Geração</i>
4G	<i>Quarta Geração</i>
5G	<i>Quinta Geração</i>
ANATEL	<i>Agência Nacional de Telecomunicações</i>
AP	<i>Access Point</i>
ARPANET	<i>Advance Research Projects Agency Network</i>
BS	<i>Base Station</i>
BSS	<i>Basic Service Set</i>
CA	<i>Carrier Aggregation</i>
CSMA/CA	<i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance</i>
CSMA/CD	<i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect</i>
DFS	<i>Dynamic Frequency Selection</i>
DIFS	<i>Distributed Inter Frame Space</i>
DL	<i>Down Link</i>
DS	<i>Distribution Systems</i>
DSSS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
ESS	<i>Extended Service Set</i>
E-UTRAN	<i>Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>
FHSS	<i>Frequency Hopping Spread Spectrum</i>
Gbps	<i>Gigabit Por Segundo</i>
GHz	<i>Giga Hertz</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>

GSM	<i>Global System for Mobile Communication</i>
HHO	<i>Horizontal Handover</i>
HO	<i>Hand-off ou Handover</i>
HomeRF	<i>Home Radio Frequency</i>
HPP	<i>Handover Ping Pong</i>
HSPA	<i>High Speed Packet Access</i>
IBSS	<i>Independent Basic Service Set</i>
IEEE	<i>Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IR	<i>Infrared</i>
ISM	<i>IP Multimedia Subsystem</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
Kbps	<i>Kilobit Por Segundo</i>
Km/h	<i>Kilômetro Por Hora</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MBPS	<i>Megabit Por Segundo</i>
MBWA	<i>Mobile Broadband Wireless Access</i>
MHz	<i>Mega Hertz</i>
MIH	<i>Media Independent Handover</i>
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
MS	<i>Mobile Station</i>
ms	<i>milissegundo</i>
NAM	<i>Network Animator</i>
NS2	<i>Network Simulator 2</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>

PCC	<i>Primary Component Carrier</i>
QoS	<i>Quality Of Service</i>
RAT	<i>Radio Access Technologies</i>
RLC	<i>Radio link control</i>
RN	<i>Relay Nodes</i>
RRC	<i>Radio Resource Control</i>
SAE	<i>System Architecture Evolution</i>
SCC	<i>Secondary Component Carrier</i>
SGW	<i>Serving Gateway</i>
SSID	<i>Service Set Identifier</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
UE	<i>User Equipment</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
UP	<i>Up link</i>
VHO	<i>Vertical Handover</i>
VOIP	<i>Voice Over Internet Protocol</i>
WCDMA	<i>Wide Band Code Division Multiple Access</i>
WECA	<i>Wireless Ethernet Compatibility Alliance</i>
WIMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WLL	<i>Wireless Local Loop</i>
WMAN	<i>Wireless Metropolitan Area Network</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
WWAN	<i>Wireless Wide Area Network</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Visão Geral	16
1.2	Motivação	17
1.3	Objetivos	18
1.4	Organização do Trabalho	18
2	REDES HETEROGÊNEAS	19
2.1	Surgimento das Redes Sem Fio	19
2.2	Classificação das Redes Sem Fio	21
2.2.1	Rede WPAN	21
2.2.2	Rede WLAN	23
2.2.3	Rede WMAN	23
2.2.4	Rede WWAN	24
2.3	Redes Sem Fio Abordadas neste Trabalho	25
2.4	Rede Wi-Fi	25
2.4.1	Componentes de uma Rede Wi-Fi	26
2.4.2	Tipos de uma Rede Wi-Fi	27
2.4.2.1	Rede IBSS	28
2.4.2.2	Rede BSS	29
2.4.2.3	Rede ESS	29
2.4.2.4	Rede DS	30
2.4.3	Camada de Enlace de uma Rede Wi-Fi	31
2.4.4	Protocolos IEEE 802.11	33
2.4.4.1	802.11b	33
2.4.4.2	802.11a	33
2.4.4.3	802.11g	34
2.4.4.4	802.11d	34
2.4.4.5	802.11e	34
2.4.4.6	802.11h	34
2.4.4.7	802.11i	34
2.5	Rede 4G/LTE	35
2.6	Rede 4G/LTE Advance	36
2.6.1	Agregação de Portadoras	36
2.6.2	Saída Múltipla de Múltiplas Entradas	39
2.7	Handover	40
2.7.1	Classificação do Handover	41
2.7.1.1	Handover Vertical	41
2.7.1.2	Handover Horizontal	42

3	TRABALHOS CORRELATOS	43
3.1	Visão Geral	43
4	PROPOSTA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM DISPOSITIVO MÓ- VEL COM DUAL-INTERFACE COM CONEXÃO SIMULTÂNEA EM REDES HETEROGÊNEAS	45
4.1	Problematização	45
4.2	Proposta	45
4.3	Limitações	47
5	RESULTADOS	48
5.1	Simulação	48
5.2	Cenário 1	49
5.3	Cenário 2	51
5.4	Comparação entre os Cenários	54
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
	REFERÊNCIAS	58
	 APÊNDICES	 60
	APÊNDICE A – SCRIPT BASE DE SIMULAÇÃO DO DISPOSITIVO TRADICIONAL	61
	APÊNDICE B – SCRIPT BASE DE SIMULAÇÃO DO DISPOSITIVO COM DUAL-INTERFACE	68

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo irá expor brevemente sobre os impactos causados pelo *Handover*, mais especificamente o *Handover Vertical*, apresentando as principais vantagens e desafios enfrentados pela comunidade acadêmica e órgãos que padronizam as redes sem fio. Apresentando uma proposta de melhoria e contribuição para mitigação dos impactos sofridos pelos dispositivos móveis na migração entre redes heterogêneas e a forma de como está organizado o trabalho em cada capítulo.

1.1 Visão Geral

As redes sem fio vieram para ficar, independente do crescimento futuro dos equipamentos sem fio para internet. Isso devido os serviços atrelados a essas tecnologias, como por exemplo, sua utilização em restaurantes, rodoviárias, escritórios, lojas e restaurantes, (KUROSE; ROSS, 2013). Cada dia mais as pessoas ficam dependentes destas tecnologias, por fazerem uso de um dispositivo móvel como os *smartphones*. O número de acesso móveis no Brasil já chega em torno de 112,6 por cento da população em geral, que representa 1,4 dispositivos portáteis por habitante, (ANATEL, 2018). Com essa demanda crescendo exponencialmente, faz-se necessário compreendermos toda sua estrutura, desde seu núcleo até sua ponta, contribuindo na criação protocolos otimizáveis para melhorias, aplicando inteligência e monitoramento seu comportamento para acompanhar sua evolução.

Os sistemas de comunicação de dados e as redes sem fio sejam as tecnologias que mais crescem em nossa cultura hoje, devido ao aumento no número de profissões em que um entendimento destas tecnologias é essencial para êxito, (FOROUZAN, 2010). As empresas para se manterem no mercado competitivo precisam de profissionais qualificados para manterem seus sistemas internos interligados. As grandes vantagens de se utilizar essas tecnologias são seu baixo custo de manutenção e a necessidade da utilização de antenas direcionais a uma maior potência de transmissão, (KUROSE; ROSS, 2013). Com isso, faz-se necessário entendermos de como se dá as transmissões na utilização dessas tecnologias e compreender as exigências dos usuários para garantir serviços com melhor qualidade. Por isso o despertar da comunidade acadêmica e de órgãos como IEEE (*Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos*) em criar padrões e soluções ainda melhores para dar a seus usuários a qualidade devida na migração dos dispositivos móveis em redes heterogêneas e continuidade de serviços no uso de *streaming*.

Existem várias tecnologias de redes sem fio utilizadas na atualidade, como Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi, WiMAX, HSPA e LTE. Com o aumento dos serviços convergentes entre redes de diferentes tecnologias de acesso e a evolução das redes de telecomunicações, é de fundamental importância o desenvolvimento de mecanismos de gerência de mobilidade e *handover*. O termo "*Handover* ou *Handoff*" vem do inglês, que quer dizer em português "Transferência",

é a transferência ou migração dos dispositivos móveis entre redes sem fio, (TANENBAUM; WETHERALL, 2011). Esses mecanismos são feitos geralmente nos núcleos das redes ou na sua borda, com o intuito de reduzir os impactos causadas na migração dos dispositivos móveis entre redes sem fio.

Vários problemas podem ocorrer na migração dos dispositivos móveis, como perda de pacotes, principalmente na utilização do protocolo UDP, que ao enviar um pacote, não espera se outro lado da ponta da rede vai receber ou não, ou se estes pacotes vão se perder ao longo do caminho, ele apenas envia ao destinatário. Esses tipos de serviços utilizados pelos usuários relacionados ao uso do protocolo UDP, são no uso de vídeos, como na conexão com o *Skype*, que faz transmissão ao vivo, caso um áudio se perca, a pessoa tem que repetir novamente para que o receptor possa entender o que foi dito. Também tem o uso de filmes online, como serviços oferecidos como a *Netflix*, que de certa forma, é um incômodo para seus usuários perderem a conexão de pacotes na hora de assistir seus programas favoritos. Ainda tem o agravante se o usuário estiver se locomovendo em alta velocidade, como numa viagem longa de ônibus, e ter o incômodo de perder sua conexão devido a troca de redes.

Outros fatores podem contribuir, como Handover Ping Pong (HPP), ou seja, a troca demasiada de redes, inviabilizando uma conexão mais estável do dispositivo em uma determinada rede. Tem os atrasos, que há uma relação direta com a troca de rede, caso o envio demore muito, contribuirá para o aumento de filas em espera, que de certa forma, consumirá mais uso de memória, tanto do lado do dispositivo, como no núcleo da rede. Com isso, haverá um aumento de consumo de energia entre os dispositivos móveis, caso o dispositivo for um *smartphone*, é de fundamental importância a redução de consumo no uso de bateria.

1.2 Motivação

Os dispositivos móveis como notebook, *tablet* e *smartphone* já vêm equipados com mais de uma interface de rede. Só que muitas dessas interfaces ao se comunicarem com mais de uma rede sem fio, priorizam sempre as redes Wi-Fi, que mesmo possuindo várias interfaces, são programadas para priorizar sempre a uma única interface.

Outro fator de prioridade, é o de maior potência de sinal, ou seja, os dispositivos já vêm configurados para esta finalidade, que nem sempre será a melhor opção de *handover*, devido a outros parâmetros de qualidade de rede. Outros problemas causados pela interligação das redes sem fio, são relatados por Tanenbaum e Wetherall (2011), como congestionamento, colisões de pacotes, o alto consumo de energia e os impactos de *handover* a qual os dispositivos sofrem na mobilidade entre redes.

Como os dispositivos móveis atuais priorizam esses parâmetros para troca de redes heterogêneas, foi a motivação para desenvolvimento deste proposta, com intuito de dar mais inteligência para os dispositivos móveis (*borda da rede*) aliviando em parte, a gerência no núcleo

da rede.

1.3 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é simular um dispositivo com Dual-Interface através da utilização da ferramenta NS-2 (Network Simulator), que se conectam simultaneamente as duas subestações (4G e Wi-Fi) e que não haja concorrência na troca de pacotes entre as duas interfaces, contribuindo na resolução de problemas de *Handover* Vertical.

Para obter a análise de desempenho da rede, será analisada também através de simulações um dispositivo tradicional conectados a duas redes heterogêneas. E compararmos com o novo dispositivo de Dual-Interface.

Dentre os demais objetivos específicos deste trabalho serão apresentados a seguir, tais como:

- Levantar um estudo sobre os impactos ocorridos durante o procedimento de *handover*.
- Apontar graficamente os resultados das simulações.

A solução da proposta a serem obtidos com esse trabalho, estima-se que serão satisfatórios. Pois o cenário proposto terá como meta ter cem por cento de aproveitamento, pelo fato do dispositivo móvel utilizar as duas redes ao mesmo tempo, por duas interfaces diferentes, não tendo concorrência entre as interfaces. Com a conexão simultânea ele certamente estará aproveitando toda a banda com uma melhor qualidade.

Para validação e obtenção da visualização dos gráficos, serão utilizadas as ferramentas XGRAPH e o MATLAB, que são ferramentas que servem para plotagem dos gráficos. Essas ferramentas trabalham paralelamente com os arquivos gerados pelo NS2, são chamados arquivos de *trace*, onde todas as informações do tráfego das simulações estão contidas, dando a possibilidade da análise dos gráficos.

1.4 Organização do Trabalho

O trabalho está organizado da seguinte forma, no segundo capítulo serão apresentados conceitos relacionados as redes heterogêneas sem fio e os impactos de *handover*. No capítulo terceiro, serão apresentados todos os trabalhos correlatos, comparando as propostas de outros autores com a proposta a qual se propõe este trabalho. Para o quarto capítulo, serão apresentados a proposta de uma solução viável para impactos de *handover* vertical. No quinto capítulo, serão apresentados os resultados das pesquisas do trabalho, com todos os cenários e gráficos. Já no sexto e último capítulo serão apresentados as considerações finais e trabalhos futuros, seguida das referências e apêndices com a codificação das simulações.

2 REDES HETEROGÊNEAS

Neste capítulo, será realizada uma abordagem acerca do histórico das redes heterogêneas e uma melhor compreensão dos sistemas de comunicação sem fio atuais. Além disso, serão apresentados os principais componentes e subsistemas, bem como tecnologias auxiliares. Não é tido como objetivo que se mencione todas as invenções, mas sim os destaques que contribuíram fundamentalmente para os sistemas atuais.

2.1 Surgimento das Redes Sem Fio

O surgimento das redes sem fio, teve seu início em 1971, devido a necessidade de interligar os Campi da ALOHANET (Universidade do *Hawaii*) com a ARPANET (do inglês, *Advanced Research Projects Agency Network* - Rede da Agência de Pesquisas em Projetos Avançados), um órgão do departamento de defesa dos Estados Unidos, ou seja, foi a primeira rede operacional de computadores à base de comutação de pacotes, e o precursor da Internet foi criada só para fins militares, inclusive sua localização ficava dentro do Pentágono, centro de inteligência estratégico militar dos Estados Unidos da América.

Já na década seguinte foram implementadas as redes sem fio de curta distância baseadas em infravermelho, com alcance máximo de 15 metros, com taxas de transmissão de até 4 Mbps (Megabit por segundo). Na década de 1990, foram desenvolvidos equipamentos para comunicação de computadores sem fio utilizando sinais de rádio frequência com aplicações em sistemas de controle de estoque, locadoras de automóveis e supermercados, tudo isso com soluções “proprietárias” sem interoperabilidade, as frequências utilizadas nesse período foram de 380 à 512 MHz (Mega *Hertz*) e de 928 à 960 MHz. (MEHI, 2008).

Como as redes sem fio não tinham um padrão específico, eram criadas radiofrequências variadas, ocorria de certos dispositivos não reconhecerem tais redes, devido a incompatibilidade entre os dispositivos. Daí houve a necessidade da criação de um órgão para padronizar os protocolos para redes de computadores interligadas por sinais ópticos ou de rádio, a IEEE do comitê 802.11. Com o intuito de resolver esses futuros problemas que poderiam inviabilizar a implementação das redes sem fio.

Sua criação foi oficializada em 1997, as primeiras propostas foram as Infravermelho (do inglês, *Infrared* - IR), que significa modulação por posição de pulso. Rádio que operavam com frequência de 2,4 GHz e com dois grupos distintos, a FHSS (do inglês, *Frequency Hopping Spread Spectrum* - Espectro de Difusão em Frequência Variável), que significa como um método de transmissão de sinais de rádio, que consiste na mudança constante da portadora através de vários canais de frequência, usando uma sequência pseudoaleatória conhecida por ambos transmissor e receptor. E a DSSS (do inglês, *Direct Sequence Spread Spectrum* - Sequência Direta de Espalhamento do Espectro), esta técnica é utilizada em aplicações militares, fornece

uma densidade espectral de potência muito baixa espalhando a potência do sinal sobre uma faixa de frequência muito larga. Este tipo de modulação requer, conseqüentemente, uma largura de faixa muito grande para transmitir diversos Mbps. Como a largura de faixa disponível é limitada, esta técnica é ideal para transmitir taxas de dados mais baixas nos cabos de energia elétrica. A taxa proposta na implementação do IR primeiramente foi de 1 Mbps, logo estendida para 2 Mbps, (MEHI, 2008).

Com a evolução dos dispositivos como computadores pessoais e equipamentos em geral. A *Apple* contribui nesse sentido e lançou em meados de 1998, o computador *iMAC* e em 1999 foram criados os acessórios *Airport*, rede sem fios com *chipset Lucent*. Também nesta mesma época houve a criação de um rascunho, criado sob recomendação do grupo de estudo “b” do comitê IEEE 802.11, que utilizavam um novo padrão que se baseava a princípio no FHSS e DSSS do modelo IR, agora com uma tecnologia mais aprimorada, ou seja, utilizava as mesmas frequências de 2.4 GHz, agora com taxa de transmissão maiores em relação ao IR, que vai até 11 Mbps com compatibilidade de diversos equipamentos estabelecida com a nova norma, hoje conhecido mundialmente como as redes Wi-Fi, (MEHI, 2008).

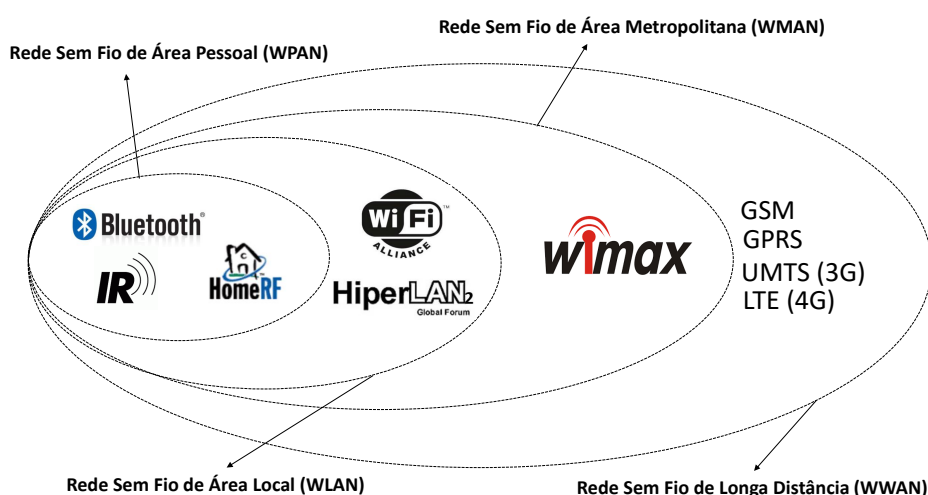
Com o surgimento das redes Wi-Fi, sua evolução serviu de modelo para que surgissem outras redes sem fio, com taxas cada vez mais altas, como WiMAX, 3G e 4G. Atualmente estudam padrões para implementação das redes 5G, a União Internacional de Telecomunicações (do inglês, *International Telecommunication Union* - ITU) anunciou um esboço do que o 5G pode se tornar. A especificação inicial exige que o 5G tenha velocidade de, pelo menos, 20 Gbps de *download* e 10 Gbps de *upload* em cada estação base (do inglês, *Base Station* - BS) . Já no lado dos dispositivos móveis, as especificações indicam velocidades individuais mínimas de 100 Mbps de *download* e 50 Mbps de *upload*. Em circunstâncias ideais, a latência máxima do usuário até a torre será de 4 ms (milissegundo), a especificação de LTE determina 20 ms. Para aplicações de comunicação de baixíssima latência, o valor pode cair para 1 ms. Na capacidade da rede é que o 5G deve suportar pelo menos 1 milhão de dispositivos conectados por quilômetro quadrado. O 5G também funcionará melhor quando em movimento, a especificação promete funcionamento de 0 a 500 km/h (Kilômetro por hora), útil para manter a conexão em deslocamentos em rodovias e em trens de alta velocidade. Sobre a frequência, para o funcionamento pleno da tecnologia é preciso pelo menos 100 MHz de espectro livre, sendo possível escalar para 1 GHz quando possível. (BRAGA, 2016).

Um dos problemas conforme Braga (2016), é praticamente impossível encontrar 100 MHz de espectro livre em frequências abaixo de 2,6 GHz, ou seja, sendo a mesma utilizada no 4G brasileiro. Com isso, frequências acima de 6 GHz deverão ser adotadas no 5G, e que as operadoras precisarão lidar com um novo desafio, de levar as antenas para mais perto dos usuários, que logicamente aumentará o custo dos serviços.

2.2 Classificação das Redes Sem Fio

As redes sem fio são classificadas de acordo com sua área de abrangência, ou seja, a distância em que são transmitidas sua propagação. As redes pessoais ou curta distância, são chamadas de WPAN (do inglês, *Wireless Personal Area Network* - Rede Sem Fio de Área Pessoal). Já as redes locais WLAN (do inglês, *Wireless Local Area Network* – Rede sem Fio de Área Local), são utilizadas em pequenos locais, como escritórios e residências. As redes metropolitanas WMAN (do inglês, *Wireless Metropolitan Area Network* – Rede sem Fio de Área Metropolitana), são utilizadas em distâncias que cobrem cidades metropolitanas. E as redes geograficamente distribuídas ou de longa distância WWAN (do inglês, *Wireless Wide Area Network* – Rede sem Fio de Área de Longa Distância), são usadas para interligar cidades distantes, (ROCHA, 2006). A figura 1, nos é mostrado uma visão geral da classificação de acordo com sua área de abrangência.

Figura 1 – Tipos de Redes Sem Fio



Fonte: Adaptado CCM (2017)

2.2.1 Rede WPAN

A rede pessoal sem fio (do inglês, *Wireless Personal Area Network*) é chamada de rede doméstica sem fio, devido o seu alcance ser limitado, de pequeno alcance. O protocolo a qual ela pertence é o IEEE 802.15, exemplos utilizados são o *Bluetooth* ou *Zigbee*.

A rede WPAN, não possui uma base-estação como as redes Wi-Fi, onde os dispositivos sem fio são controlados por esta base. Elas são do tipo em *Ad Hoc* (que significa em português “para esta finalidade”, “para isso” ou “para este efeito”), ou seja, os dispositivos estando no raio de transmissão trocam informações diretamente entre si.

As redes WPAN, são bastante utilizados nos dias atuais na troca de informações entre os *smartphones* e as máquinas de cartão de créditos, para que os clientes possam não necessitar

do uso do cartão físico de cartão de crédito, substituindo assim pelo uso da tecnologia, que lhe proporciona maior praticidade e comodidade. A figura 2, nos mostra vários dispositivos móveis, próximos um do outro, trocando arquivos entre si.

Figura 2 – Rede WPAN



Fonte: Adaptado Rocha (2006)

Na figura 2, nos é mostrado o cenário de uma rede WPAN. Ela é composta basicamente de vários dispositivos com uma interface de rede instalada em seu interior, em uma distância em média de 15 m uma da outra para utilização de troca de arquivos entre os dispositivos. São utilizados geralmente em pequenos ambientes como por exemplo em escritórios e salas de aulas.

Um exemplo de rede WPAN é a tecnologia *Bluetooth*, que foi lançada pela *Ericsson* em 1994, com utilização de uma taxa de transmissão de 1Mbps para um alcance máximo de cerca de 30 metros. O *Bluetooth*, também conhecido como IEEE 802.15.1, tem a vantagem de consumir pouca energia, o que o torna adaptado para o uso em pequenos dispositivos, (CCM, 2018).

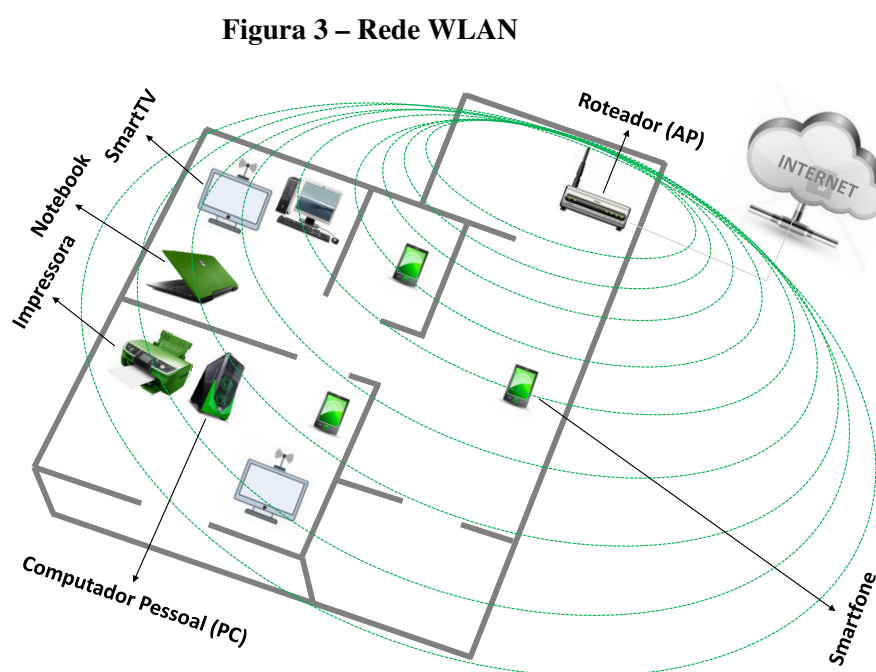
Outra tecnologia utilizada nas redes WPAN foi a HomeRF (do inglês, *Home Radio Frequency*), lançada em meados de 1998 pelo *HomeRF Working Group*, formadas por algumas empresas como a Intel, Compaq, HP, Siemens, Microsoft e Motorola. Onde propuseram faixa de transmissão de 10 Mbps com alcance de 50 a 100 metros sem amplificador. O padrão HomeRF seguido pela Intel, foi abandonado em janeiro de 2003, porque os criadores de processadores começaram a apostar nas tecnologias Wi-Fi integradas, que integram um microprocessador e um adaptador Wi-Fi, (CCM, 2018).

Por últimos, temos as tecnologias *ZigBee* e as conexões infravermelhas. A *ZigBee* (também conhecida como IEEE 802.15.4) permite obter conexões sem fio baratas e com pouco consumo de energia, o que a torna particularmente adaptada a pequenos aparelhos eletrônicos (eletrodomésticos, brinquedos, etc.). Ela opera também na banda de frequências de 2,4 GHz e de

16 canais, permite obter débitos que podem atingir 250 Kbps (Kilobit por segundo) com alcance máximo de cerca de 100 m (metros). Já as conexões infravermelhas permitem criar conexões sem fio de alguns metros com débitos que podem chegar a alguns megabits por segundo. Esta tecnologia é amplamente utilizada na domótica (telecomandos), mas sofre perturbações devido às interferências luminosas, (CCM, 2018).

2.2.2 Rede WLAN

Uma rede local sem fio (do inglês, *wireless local area network*), é uma rede que permite cobrir o equivalente a uma rede local de empresa, com um alcance de cerca de 100 metros. Seu protocolo padrão é o IEEE 802.11, implementado pela WECA (do inglês, *Wireless Ethernet Compatibility Alliance*), que de acordo com as especificações de seus protocolos, podem atingir taxas de transferências a cima de 54 Mbps com alcance de várias centenas de metros, (CCM, 2017). Ver figura 3.



Fonte: Próprio Autor (2018)

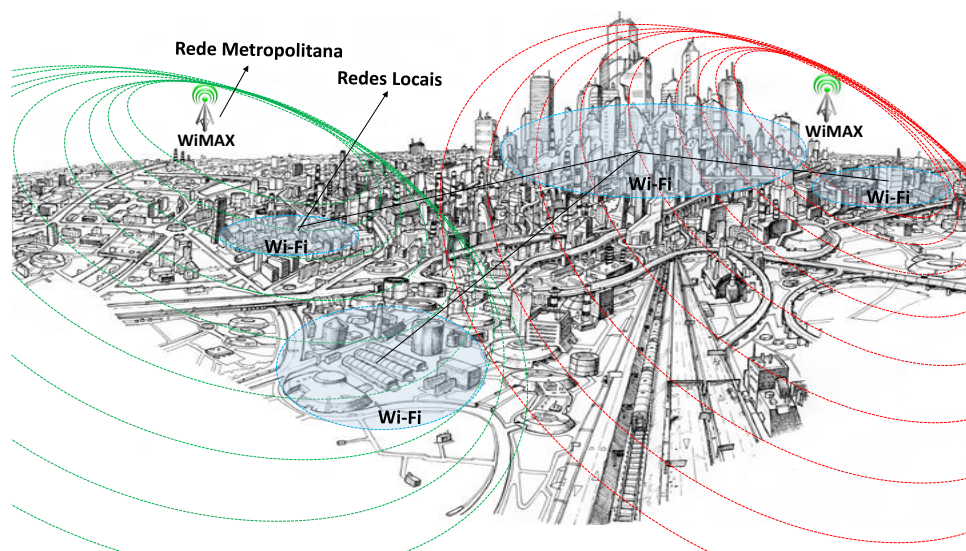
Na figura 3, nos é mostrado um exemplo de redes WLAN. Sua utilização é comumente usada em residências, locais públicos como rodoviárias, aeroportos e lanchonetes. Basicamente é apresentado um roteador, comumente falado nos termos técnicos de Ponto de acesso (do inglês, *Access Point - AP*), onde é controlado todos os dispositivos sem fio da rede local conectados a ela. No decorrer do capítulo será explicado seu funcionamento detalhadamente.

2.2.3 Rede WMAN

As redes de áreas metropolitanas sem fio (do inglês, *Wireless Metropolitan Area Network - WMAN*), são baseadas no padrão de protocolo IEEE 802.16. São também conhecidas como

WLL (do inglês, *Wireless Local Loop*) . Uma rede local sem fio pode proporcionar uma taxa eficaz total de 1 a 10 Mbps, com um intervalo de 4 a 10 km, o que é útil para as companhias de telecomunicações, as que utilizam essa tecnologia com esse alcance são as redes WIMAX (do inglês, *Worldwide Interoperability for Microwave Access* - Interoperabilidade Mundial para Acesso a Micro-ondas), (CCM, 2017). Ver figura 4.

Figura 4 – Rede WMAN



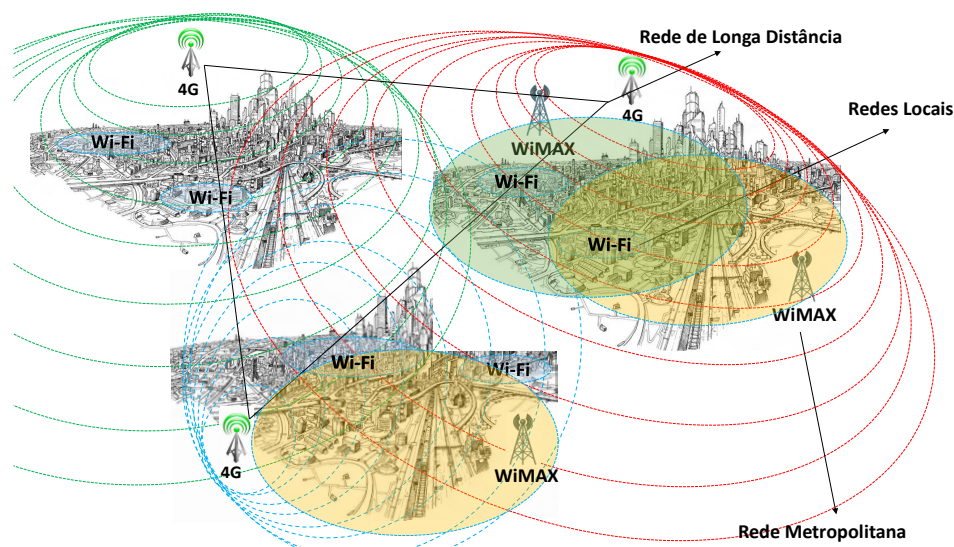
Fonte: Próprio Autor (2018)

Na figura 4, nos é mostrado um exemplo de redes WMAN. São utilizados geralmente em metrópoles de grandes cidades, como por exemplo, a cidade de São Paulo. Basicamente são utilizados grandes rádios com tecnologia WiMAX, para conexão entre os dispositivos sem fio, (PRADO, 2010). Com isso sua utilização interligando várias torres podem cobrir as necessidades das zonas metropolitanas de uma cidade. Note que pequenas redes como Wi-Fi estão dentro do alcance de cobertura das redes WiMAX.

2.2.4 Rede WWAN

As Redes de longa distância sem fio (do inglês, *Wireless Wide Area Network* - WWAN), são baseadas no padrão de protocolo IEEE 802.20, o grupo MBWA (do inglês, *Mobile Broadband Wireless Access*) foi o responsável pelo desenvolvimento do protocolo. O padrão IEEE 802.20 é um conjunto de especificações para interface sem fio estruturado para ser utilizado na internet, portanto, há um controle nas camadas PHY e MAC para assegurar a interoperabilidade dos sistemas em um ambiente de mobilidade. Essa rede é bastante utilizada pelos telefones celulares, devido a altas taxas de transmissão e de longo alcance. O foco principal desta tecnologia, é manter as especificações de alta taxas de transferências de dados, voz e vídeo, a exemplo são as redes LTE e LTE-Advance que estudaremos detalhadamente nesse capítulo. (JUNIOR, 2012). Ver figura 5.

Figura 5 – Rede WWAN



Fonte: Próprio Autor (2018)

Na figura 5, nos é apresentado as tecnologias utilizadas pelas grandes operadoras de celulares. Elas utilizam as tecnologias denominadas de GSM (do inglês, *Global System for Mobile Communication* - Sistema Global de Comunicação Móvel), GPRS (do inglês, *General Packet Radio Service* - Serviço de Rádio de Pacote Geral) e a UMTS (do inglês, *Universal Mobile Telecommunication System* - Sistema Universal de Telecomunicações Móveis). Com a evolução chegamos na utilização da LTE, que será abordada detalhadamente no decorrer desse capítulo.

2.3 Redes Sem Fio Abordadas neste Trabalho

As redes heterogêneas sem fio utilizadas neste trabalho para auxílio de avaliação de desempenho, são as redes Wi-Fi, classificadas de redes de dispositivos de rede local sem fio (WLAN) e 4G, classificadas como redes de longa distância (do inglês, *Long Term Evolution* - LTE). Cada vez mais utilizados na maioria das grandes organizações, pois todo ambiente de rede precisa armazenar informações para possibilitar o seu gerenciamento.

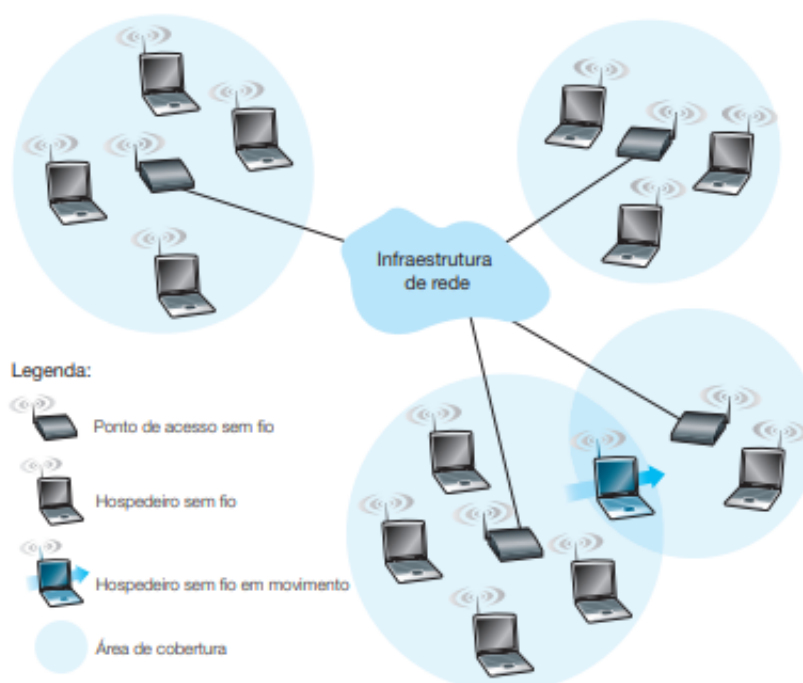
2.4 Rede Wi-Fi

O termo "Wi-Fi" foi licenciada primeiramente pela empresa *Wi-Fi Alliance*, uma empresa dos EUA, localizada no Texas, onde foi criada essa tecnologia e trazida para o Brasil, ela segue a padronização do IEEE 802.11. As redes Wi-Fi operam em frequências não licenciadas, isso quer dizer que não precisam de licença alguma para atuarem, basta que os dispositivos estejam próximos a essas transmissões para poderem operar, a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações), é quem fiscaliza as frequências de transmissões no Brasil. (SANCHES,

2005).

É importante fazermos uma distinção entre mobilidade e rede sem fio, para que possamos compreender seu funcionamento. Redes domésticas e escritórios, são exemplos de redes sem fio com mobilidade limitada, já as redes celulares são exemplos de arquiteturas de rede para mobilidade, principalmente com altas velocidades, quando os usuários utilizam dentro de veículos automotivos. (KUROSE; ROSS, 2013). Na figura 6, é mostrado um cenário de comunicação de dados e mobilidade sem fio.

Figura 6 – Elementos de uma Rede Sem Fio



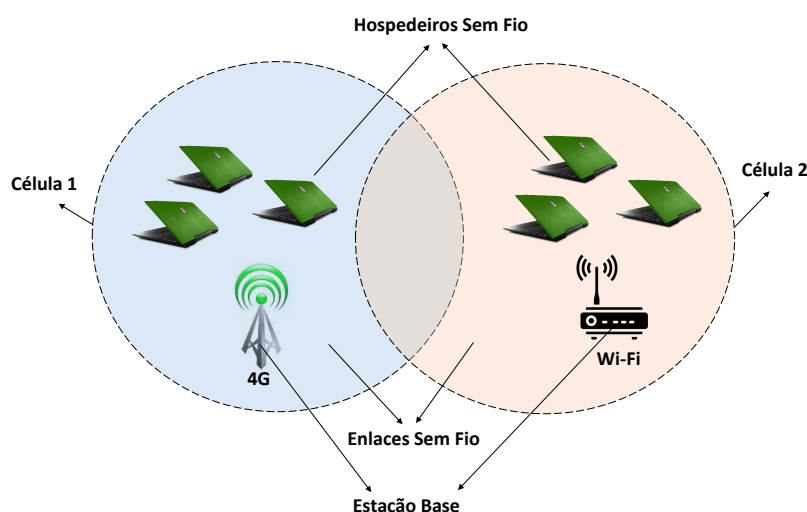
Fonte: Kurose e Ross (2013)

2.4.1 Componentes de uma Rede Wi-Fi

São dois os modos de operação de uma rede Wi-Fi, Infraestrutura e *Ad Hoc*. Os componentes que compõem uma rede sem fio baseada em infraestrutura são três, hospedeiros sem fio (dispositivos que ficam na borda da rede, que podem ser móveis ou não), em enlaces sem fio (onde ocorre a comunicação entre os dispositivos e a estação base) e a estação base propriamente dita (onde ocorre a gerência de envio e recebimento de dados), (KUROSE; ROSS, 2013). Exemplos de estação base são as torres celulares em redes celulares (IEEE 802.20) e pontos de acesso Wi-Fi (IEEE 802.11). Ver figura 7.

Em ambos os modos de operação de uma rede Wi-Fi, tanto no modo *Ad Hoc* ou Infraestrutura, a comunicação entre os dispositivos se dá através de um SSID (do inglês, *Service Set Identifier* - Identificador do Conjunto de Serviços), também conhecido como “Nome da Rede

Figura 7 – Componentes de uma rede Wi-Fi



Fonte: Próprio Autor (2018).

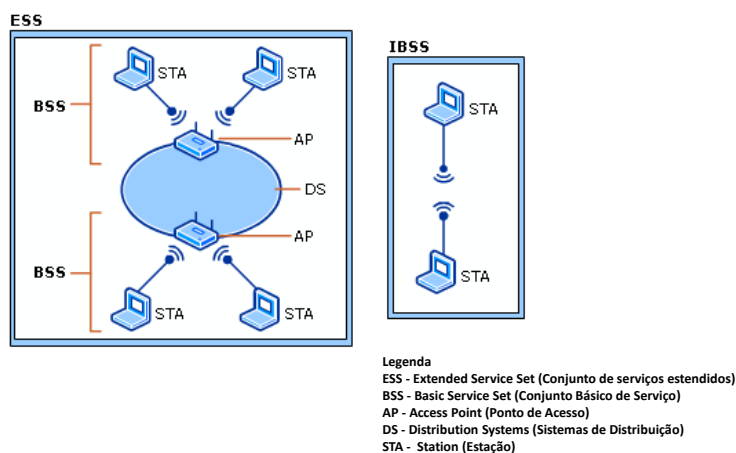
Sem Fio”, identifica a rede sem fio. Basicamente o SSID é periodicamente anunciado na rede, como quadro de anúncio (do inglês *beacon frame*), tanto pelo ponto de acesso (do inglês, *Access Point - AP*) que controla toda a rede do tipo Infraestrutura, ou no caso da rede *Ad Hoc*, o próprio dispositivo anuncia seu SSID para que os demais dispositivos possam detectar, para começar o processo de comunicação para uma possível troca de arquivos.

Na rede Infraestrutura a estação primeiramente identifica a rede sem fio e os AP’s disponíveis dentro da sua área de cobertura. Isso é feito através da monitoração dos quadros “anúncio” vindos dos AP’s, que anunciam cada um deles na rede sem fio, ou também através da sondagem (do inglês, *probe*) de uma rede sem fio particular através do uso de *probe frames* (quadros de sondagem). A estação então escolhe uma rede das disponíveis e inicia o processo de autenticação com o AP. Uma vez que a estação e o AP se autenticaram o processo de associação é iniciado. O processo de associação permite que o AP e a estação troquem informações e funcionalidades. O AP pode usar essa informação e compartilhar com outros AP’s na rede para disseminar conhecimento da localização atual da estação na rede. (BULHMAN; CABIANCA, 2016).

2.4.2 Tipos de uma Rede Wi-Fi

As redes Wi-Fi são compostas basicamente por quatro tipos de redes. As redes IBSS (do inglês, *Independent Basic Service Set - Conjunto de Serviços Básicos Independentes*), as redes BSS (do inglês, *Basic Service Set - Conjunto Básico de Serviço*), as redes ESS (do inglês, *Extended Service Set - Conjunto de serviços estendidos*) e as redes DS (do inglês, *Distribution Systems - Sistemas de Distribuição*). (BULHMAN; CABIANCA, 2016). Os cenários gerais das arquiteturas são mostrados na figura 8.

Figura 8 – Arquitetura Lógica de uma rede 802.11

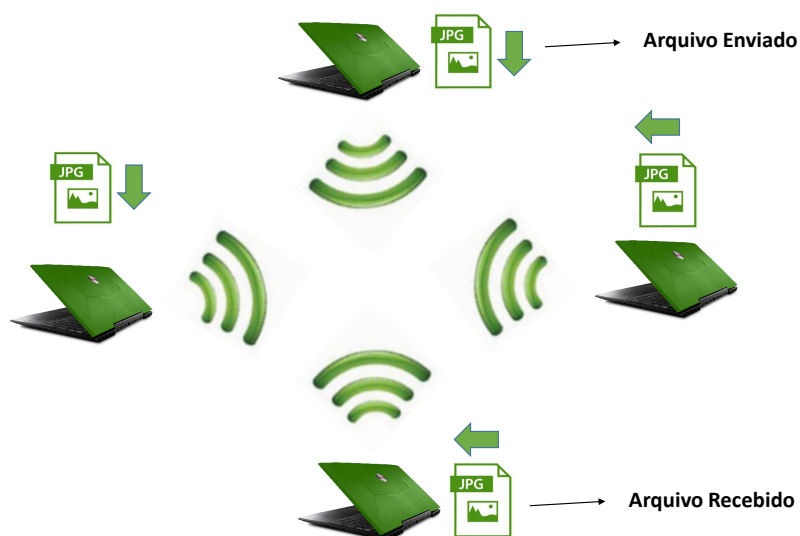


Fonte: Bulhman e Cabianca (2016)

2.4.2.1 Rede IBSS

As redes IBSS consistem de pelo menos duas estações, elas são também chamadas de rede sem fio *Ad Hoc*. Nesse tipo de arquitetura não há um ponto de acesso que conecte a rede a um sistema de distribuição, ou seja, os dispositivos se comunicam diretamente entre si através de suas interfaces de rede *wireless* e antenas apropriadas. Elas são utilizadas geralmente na troca de algum arquivo entre os dispositivos clientes. A figura 9, nos é mostrado um exemplo de uma rede IBSS.

Figura 9 – Rede IBSS

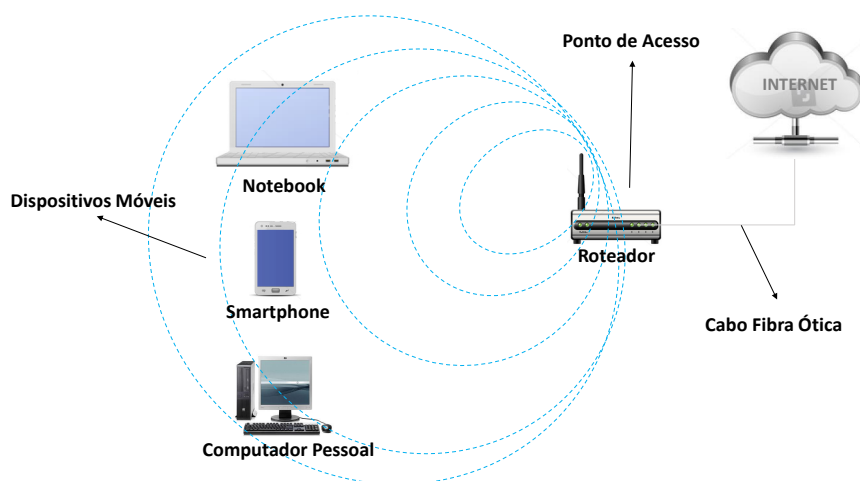


Fonte: Próprio Autor (2018)

2.4.2.2 Rede BSS

As redes BSS são chamadas de rede infraestrutura (do inglês, *Infrastructure Wireless Network*), nesse tipo de rede há um ponto de acesso (do inglês, *Access Point - AP*) que suporta um ou mais clientes sem fio e todas as estações se comunicam entre si através de um AP. Esse tipo de rede pode consumir o dobro da banda, mas um dos grandes benefícios é o armazenamento dos dados, enquanto as estações estão em modo de economia de energia (do inglês, *Power Save*). São dispositivos clientes (computadores, impressoras, tablets, etc.) interconectados através do uso de um dispositivo central AP, que age como uma espécie de “*Switch Wireless*”, ou seja, assim como um *Switch* tem a função de interconectar máquinas numa rede local através de cabos, o AP tem a mesma função só que interconectando todos os dispositivos de uma rede local através da rede sem fio (não cabeada). Toda rede BSS possui um nome que a identifica, conhecido pela sigla SSID (do inglês, *Service Set Identifier*). A figura 10, é mostrada um exemplo de rede BSS.

Figura 10 – Rede BSS



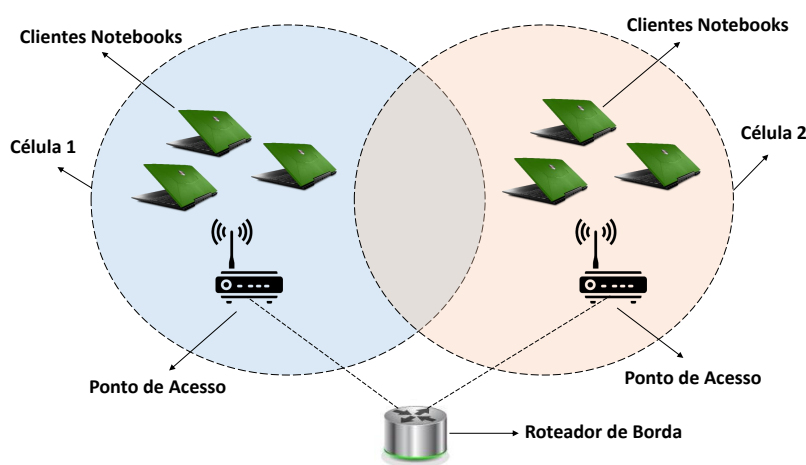
Fonte: Próprio Autor (2018)

No exemplo apresentado através da figura 10, nos é mostrado um dispositivo central denominado de AP, onde há um controle de todos os dispositivos conectados na rede. Nesse exemplo é mostrado três dispositivos sendo controlados seu acesso à rede mundial de computadores, a *Internet*.

2.4.2.3 Rede ESS

As redes ESSs são um conjunto de BSSs interconectadas, com o intuito de aumentar o alcance e a capacidade da rede Wi-Fi, podendo consistir em até dezenas de AP e conter milhares de *hosts* (endereços) conectados. Os AP em um ESS são conectados por meio de um "Sistema de Distribuição (do inglês, *Distribution System - DS*)", que pode ser cabeado ou não. Na figura 11, é mostrado um exemplo de ESS.

Figura 11 – Rede ESS



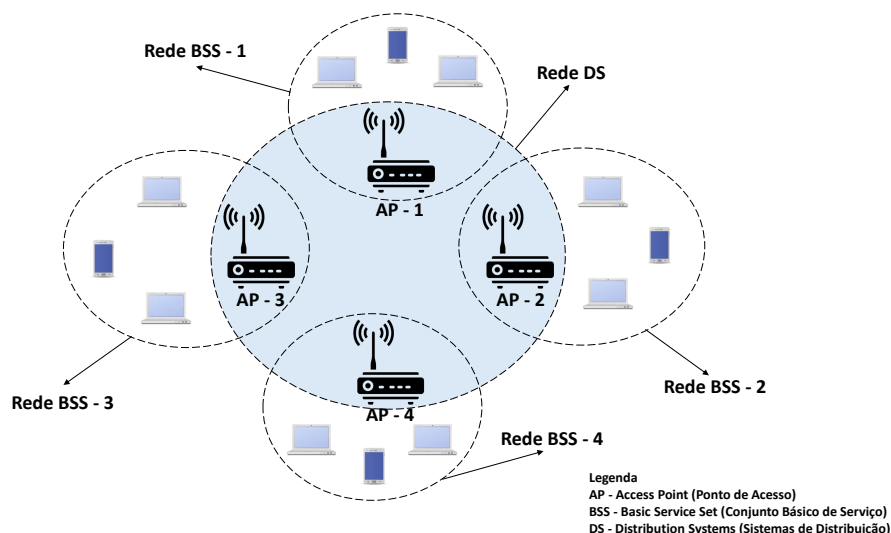
Fonte: Próprio Autor (2018)

Na análise da figura 11, nos é mostrado um roteador de borda, onde sua função é interligar duas redes diferentes através do uso de cabeamento. Controlando o acesso dos APs, que por sua vez tem a função de controlar o acesso dos dispositivos móveis conectados a elas.

2.4.2.4 Rede DS

As redes DS (do inglês, *Distribution Systems* - Sistemas de Distribuição) tem a função de interconectar os APs de múltiplos BSSs. Com isso as estações podem se mover de um BSS para outro BSS. O DS é o componente lógico usado para interconexão dos BSSs e provê serviços que permitem o *roaming* entre as estações e os BSSs. Os APs podem ser interconectados através da rede cabeada ou não. Na figura 12, é mostrado um exemplo de rede DS.

Figura 12 – Rede DS



Fonte: Próprio Autor (2018)

Na figura 12, nos é apresentado os APs, que coordena a comunicação entre as estações dentro de uma BSS. O DS, é o sistema usado para interconectar BSSs formando uma ESS. O Portal funciona como uma ponte entre uma rede sem fio e uma rede fixa.

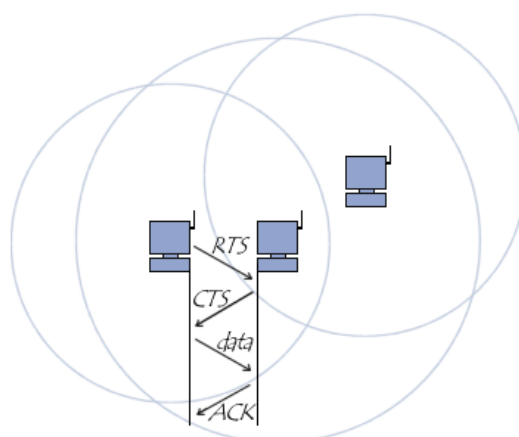
2.4.3 Camada de Enlace de uma Rede Wi-Fi

A camada de conexão de dados da norma 802.11 é composta por duas subcamadas. A camada de controle da conexão lógica (do inglês, *Logical Link Control* - LLC) e a camada de controle de acesso ao suporte (do inglês, *Media Access Control* - MAC), (CCM, 2017).

O grupo de engenheiros do IEEE 802.11 em 1997, ratificou o padrão para redes Wi-Fi, foi definido que o mecanismo de controle de acesso ao meio (MAC) seria o CSMA/CA (do inglês, *Carrier Sense Medium Access with Collision Avoidance* - Acesso ao meio com detecção de portadora e prevenção de colisão). (FILHO, 2014). Esse padrão segue um algoritmo chamado de *polling*, onde os dados atravessam o meio sem fio sem riscos de colisões.

Numa rede local *Ethernet* tradicional, o método de acesso utilizado pelas máquinas é o CSMA/CD (do inglês, *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect* - Acesso Múltiplo de Detecção de Transportadora com Detecção de Colisão), no qual cada máquina é livre de se comunicar a qualquer momento. Toda máquina que envia uma mensagem verifica se nenhuma outra mensagem foi enviada ao mesmo tempo, por outra máquina. Se for o caso, as duas máquinas aguardam durante um tempo aleatório, antes de recomençar a emitir. Num ambiente sem fio, este método não é possível na medida em que duas estações que se comunicam com um receptor não se ouvem, necessariamente, mutuamente, devido ao seu raio de alcance. Assim, a norma 802.11 propõe um protocolo similar chamado de CSMA/CA (do inglês, *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* - Acesso múltiplo com verificação de portadora com anulação ou prevenção de colisão). O protocolo CSMA/CA utiliza um mecanismo de anti-colisão baseado num princípio de recepção recíproca entre o emissor e o receptor. (CCM, 2017), ver figura 13.

Figura 13 – CSMA/CA

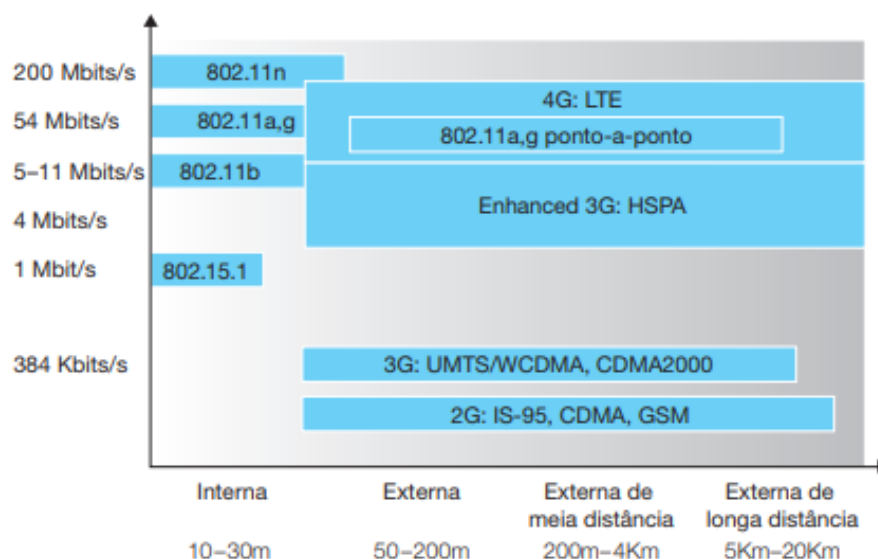


Fonte: CCM (2017)

A estação que quer emitir ouve a rede. Se a rede estiver congestionada, a transmissão será adiada. Caso contrário, se os meios de comunicação estiverem livres durante um determinado tempo (chamado em inglês, *Distributed Inter Frame Space - DIFS*), então, a estação poderá emitir. A estação transmitirá uma mensagem chamada de RTS (do inglês, *Request to send - Pedido a ser emitido*) com informações sobre o volume de dados que ela quer emitir, além de sua velocidade de transmissão. O receptor (geralmente, um ponto de acesso) responderá com um CTS (do inglês, *Clear To Send - ok para emitir*) e, assim, a estação começará a emissão dos dados. Na recepção de todos os dados emitidos pela estação, o receptor enviará um aviso de recepção chamado de ACK (forma abreviada do inglês, *Acknowledgement - Confirmação*). Todas as estações vizinhas esperarão um tempo que consideram ser o necessário para a transmissão do volume da informação a ser emitida na velocidade anunciada. (CCM, 2017).

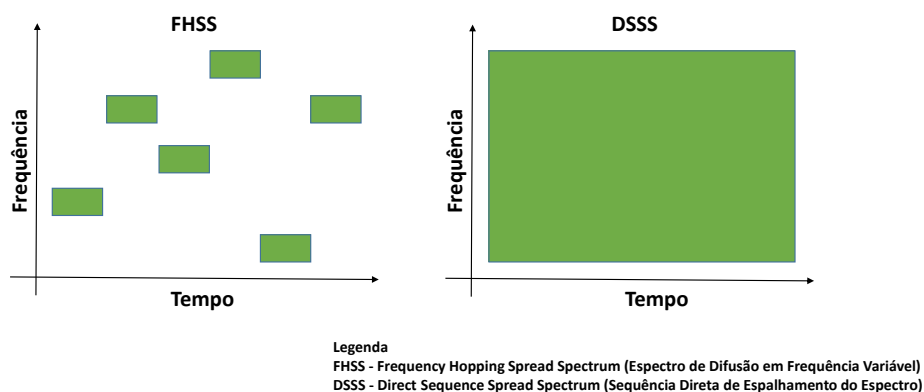
A principal diferença entre uma rede cabeada e uma rede sem fio está na camada de enlace, por isso, faz-se necessário entendermos as limitações, como a redução da força de sinal entre os *hosts* sem fio e as estações-base, isso se dá através da distância entre os dois, quanto maior a distância menor o sinal, interferências de outras fontes, como dispositivos que trabalhe nas mesmas frequências que os rádios transmissores, como micro-ondas e telefones sem fio. No gráfico 1, é mostrado algumas características dos enlaces nas redes sem fio.

Gráfico 1 – Características de Enlaces Padrões



Fonte: Kurose e Ross (2013)

Para que uma rede sem fio funcione é preciso fixar o sinal em determinada frequência, basicamente essa arquitetura é composta pela frequência chamada de FHSS (do inglês, *Frequency Hopping Spread Spectrum - Espectro de Difusão em Frequência Variável*) e a DSSS (do inglês, *Direct Sequence Spread Spectrum - Sequência Direta de Espalhamento do Espectro*). A primeira utiliza uma banda de frequência 80, enviando um sinal de ruptura denominado de "burst" sobre o canal e saltando "hopping" para outro canal, podemos visualizar no gráfico 2.

Gráfico 2 – Utilização da largura de banda do FHSS vs. DSSS.

Fonte: Próprio Autor (2018)

Analisando o gráfico 2, o FHSS divide o espectro disponível em bandas separadas. Tanto o ponto de acesso quanto o cliente "saltam" entre frequências baseadas no mesmo padrão pseudoaleatório, transferindo uma parte dos dados durante cada salto. (EDN, 1999). Sempre que a interferência corrompe o sinal, os dispositivos podem retomar a transferência de dados após o próximo salto para uma nova frequência que seja clara. O DSSS, em contraste, espalha o sinal através de uma largura de banda maior do que o FHSS, criando uma densidade de energia mais baixa em todo o espectro. Ele usa um sinal que substitui a mensagem por blocos de código de tamanho fixo, expandindo a largura de banda.

2.4.4 Protocolos IEEE 802.11

2.4.4.1 802.11b

Também conhecido como Wi-Fi, é especificado para operar em 2.4 GHz, utilizando a banda ISM (do inglês, *Industrial Scientific and Medical* - Indústria Científica e Médica), são bandas reservadas internacionalmente para o desenvolvimento industrial, científico e médico. Possui 3 canais de rádio frequência disponíveis. Utilizam a modulação DSSS (do inglês, *Direct Sequence Spread Spectrum*), permitindo altas taxas de velocidade em distâncias de até 50 metros em escritórios. O padrão permite taxas de transferência de até 11 Mbps, que são até cinco vezes maiores do que a especificação original do IEEE 802.11 e próxima ao padrão *Ethernet*.

2.4.4.2 802.11a

É o equivalente *Fast-Ethernet* do padrão IEEE 802.11b. O IEEE 802.11a é desenhado para operar numa banda de frequência de 5 GHz, com 8 canais de rádio disponíveis e com

54 Mbps por canal. Diferente dos padrões IEEE 802.11b/g, o IEEE 802.11a não usa o padrão DSSS. Ao contrário, utiliza o OFDM (do inglês, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* - Multiplexação por Divisão de Frequências Ortogonais) que opera mais facilmente em ambientes de escritórios. Apesar de as redes Wi-Fi populares funcionarem com o padrão 802.11b, os padrões 802.11a e 802.11g foram desenvolvidos para ser mais seguros ou para se movimentarem em mais canais.

2.4.4.3 802.11g

Prevê a especificação do MAC e da camada física (PHY). A camada física será uma extensão do IEEE 802.11b com uma taxa de transmissão de 54 Mbps usando a modulação OFDM. Usando um protocolo estendido, o 802.11g permite o uso misto da rede. Esta característica de uso misto permite que equipamentos que usam o 802.11b operando em 11 Mbps possam compartilhar a mesma rede com os novos equipamentos operando em 54 Mbps. Isso permitirá a migração sem impacto das redes de 11 Mbps para as redes de 54 Mbps.

2.4.4.4 802.11d

Foi desenvolvido para as áreas fora dos chamados cinco grandes domínios reguladores (EUA, Canadá, Europa, Japão e Austrália). Essa extensão tem *frame* estendido que inclui campos com informações dos países, dados de frequência e tabelas com parâmetros.

2.4.4.5 802.11e

Extensão ao padrão que introduz mecanismos de provisão de QoS (do inglês, *Quality of Service* - Qualidade de Serviço) no MAC 802.11. Essa extensão, por ainda não ter sido dado um ponto final na sua definição, pouco trabalho de caráter concreto tem sido feito, ficando as discussões apenas em um patamar teórico.

2.4.4.6 802.11h

Adiciona uma função de seleção dinâmica de frequência (do inglês, *Dynamic Frequency Selection* - DFS) e um controle de potência de transmissão para o padrão 802.11a.

2.4.4.7 802.11i

Criado para melhorar as funções de segurança do MAC 802.11, que agora é conhecido como ESN (do inglês, *Enhanced Security Network* - Rede de Segurança Aprimorada). O esforço do ESN é unificar todos os esforços para melhorar a segurança das WLANs.

2.5 Rede 4G/LTE

Essa tecnologia surgiu em 2012 no Brasil, através de uma licitação feita pela ANATEL, onde as frequências eram de 2500 MHz, as empresas que adquiriram estas frequências foram a Vivo, Tim, Claro, Oi, Sky e Sunrise. (ANATEL, 2018). O termo LTE (do inglês, *Long Term Evolution* – Evolução a Longo Prazo) é chamada de tecnologia de quarta geração (4G). O LTE é uma tecnologia que inicialmente foi projetada para prover serviços de dados e prover melhorias no *throughput* do usuário, a capacidade do setor em reduzir a latência do plano do usuário trazendo uma nova experiência com total mobilidade, (ALMEIDA, 2013). Essa tecnologia prioriza o tráfego de dados em vez de voz, como acontecia em gerações anteriores, isso proporciona uma rede de dados mais rápida e mais estável.

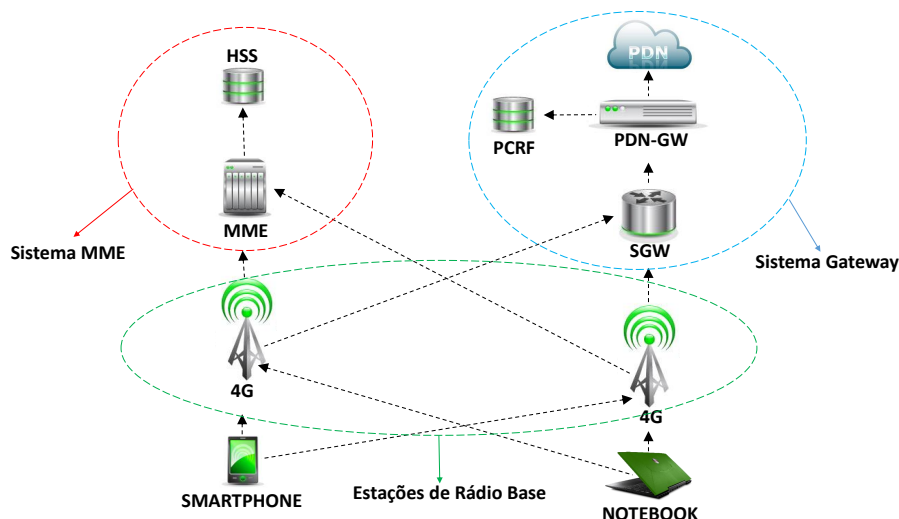
A sua padronização foi estabelecida pelo grupo 3GPP (do inglês, *3rd Generation Partnership Project*), (ALMEIDA, 2013). O 4G é sucessora da rede 3G (Terceira Geração), seu principal benefício é a melhoria significativa na velocidade. As características das redes 4G se dá na sua alta taxa de *download* (acima de 200 Mbps) e *upload* (acima de 50 Mbps), (ANATEL, 2018). O LTE permite a distribuição flexível do espectro através de novas frequências ou das faixas já utilizadas, ou seja, ela permite a coexistência desta rede com outras redes já implantadas como o GSM e o WCDMA (do inglês, *Wide Band Code Division Multiple Access* - Acesso Múltiplo por Divisão de Código em Sequência Direta de banda larga), que são tecnologias anteriores utilizadas pelas empresas de telefonia móvel, (ALMEIDA, 2013).

Ela é baseada no protocolo IP (do inglês, *Internet Protocol* - Protocolo da Internet), e seu funcionamento se dá através do EPC (do inglês, *Evolved Packet Core* - Núcleo de Pacote Evoluído) para comutação de circuitos para voz e comutação de pacotes para dados, separando seus módulos para utilização de tecnologias anteriores como o 2G (Segunda Geração) e 3G. A comunicação de voz é dada por VoIP (do inglês, *Voice over Internet Protocol* - Voz Sobre Protocolo da Internet) e utilizando QoS (do inglês, *Quality of service* - Qualidade de Serviço) ponta-a-ponta viabilizando conteúdos de multimídias com baixa latência e em tempo real. Possui flexibilidade de espectro de rádio, obtendo largura de banda de 1.4 MHz e 2 MHz trazendo resistência às interferências e suportando um número maior de usuários. É possível trabalhar com dois módulos de frequências, como o FDD (do inglês, *Frequency Division Duplex* - Dupla Divisão de Frequência) e o TDD (do inglês, *Time Division Duplex* - Dupla Divisão de Tempo). No modo FDD são utilizadas duas faixas de frequências distintas, na qual uma delas são utilizadas apenas para envio de dados e a outra para recebimento. Já no modo TDD apenas uma faixa é utilizada em que a transmissão e envio de dados, ocorrem em tempos diferentes. (ALMEIDA, 2013).

A rede LTE utiliza a arquitetura SAE (do inglês, *System Architecture Evolution* - Evolução da Arquitetura do Sistema), que visa otimizar o desempenho e diminuir os custos de serviços baseados em protocolo IP. Os principais componentes dessa arquitetura são as estações, a MME (do inglês, *Mobility Management Entity* - Entidade Gestora de Mobilidade) e o *Gateway*. As

estações, são as estações de rádio base da rede LTE, responsável pela transmissão de rádio frequência. Já o MME é o componente que controla o acesso à rede e o *Gateway* é o que conecta o sistema com a rede IP. A comunicação com as redes 2G e 3G se dá através de uma interface otimizada para o LTE, que torna a rede LTE extensível, como é mostrado na figura 14.

Figura 14 – Rede: Infraestrutura de Rede LTE



Fonte: Próprio Autor (2018)

2.6 Rede 4G/LTE Advance

O LTE-Advance foi desenvolvido com objetivo de cumprir os requisitos estabelecidos pela ITU para a IMT (do inglês, *International Mobile Telecommunications* - Telecomunicações Móveis Internacionais) Avançado, também conhecido como 4G. (3GPP, 2013). O foco dessa tecnologia está na maior capacidade, fornecer taxas de bits mais altas de uma maneira econômica.

As especificações são relatadas por Guedes e Vasconcelos (2009), onde acordos já foram confirmados com requisitos mínimos exigidos para implementação dessa infraestrutura, como largura de banda maior que 70 MHz para *downlink* e 40 MHz para *uplink*, taxa de transferência média para o usuário três vezes maior do que no LTE, taxa de pico com *downlink* de 1 Gbps, *uplink* de 500 Mbps, capacidade de pico com *downlink* de 30 bps/Hz e *uplink* de 15 bps/Hz, capacidade três vezes maior do que no LTE refletida como a eficiência do espectro, mobilidade igual à do padrão LTE, flexibilidade do espectro com suporte à agregação espectral e largura de banda escalável, compatibilidade com redes anteriores e cobertura deve ser otimizada.

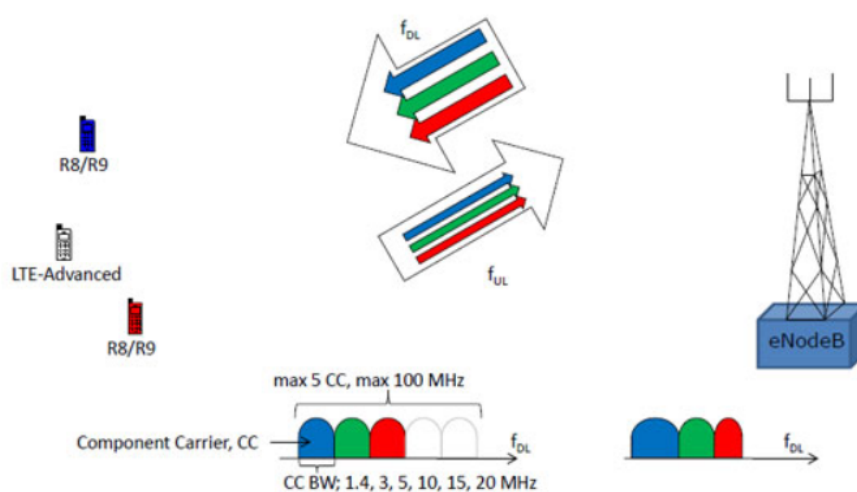
2.6.1 Agregação de Portadoras

Novas funcionalidades foram implementadas no LTE-Advance, como Agregação de Portadoras (do inglês *Carrier Aggregation* - CA). Isto é, o uso de técnicas de multi-antena e suporte para nós de retransmissão (do inglês *Relay Nodes* - RN). (3GPP, 2013). Essa tecnologia

aumenta a capacidade de transferência entre o dispositivo do usuário e a antena da operadora, ou seja, os celulares se conectam simultaneamente a mais de uma frequência ou faixa de espectro.

A maneira mais direta de aumentar a capacidade é adicionar mais largura de banda. Como é importante manter a compatibilidade retroativa com os celulares R8 e R9, o aumento da largura de banda no LTE-Advanced é fornecido por meio das portadoras agregadas R8 / R9. As portadoras agregadas pode ser usada para FDD e TDD. Um exemplo de portadoras agregadas é mostrado na figura 15.

Figura 15 – Portadoras Agregadas



Fonte: 3GPP (2013)

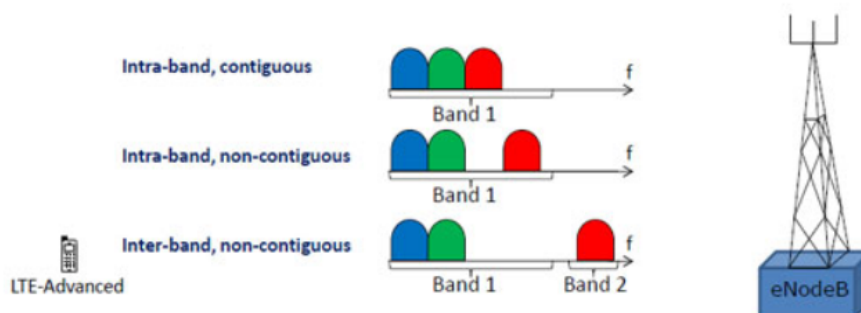
Conforme é mostrado na figura 15, cada transportador agregado é referido como um portador de componente. A portadora de componentes pode ter uma largura de banda de 1.4, 3, 5, 10, 15 ou 20 MHz e um máximo de cinco portadoras de componentes podem ser agregadas. Portanto, a largura de banda máxima é de 100 MHz. O número de portadores agregados pode ser diferente em *download* e *upload*, no entanto, o número de portadores de componentes *upload* nunca é maior do que o número de portadores de componentes *download*. Os portadores de componentes individuais também podem ter larguras de banda diferentes.

Por razões práticas, diferentes configurações de agregação de portadora, especificadas por exemplo, combinações de banda de operação E-UTRAN (do inglês, *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network* - Acesso ao Rádio Terrestre Universal Evoluído) e o número de portadoras de componentes, são introduzidas em etapas. Em R10 existem dois portadores de componentes no *download* e apenas um no *upload* (portanto não há agregação de portador no *upload*), em R11 existem duas portadoras de componente *download* e um ou dois portadores de componente no *upload* quando a agregação de portadora é usada.

Segundo 3GPP (2013), a maneira mais fácil de organizar a agregação é usar portadoras de componentes contíguos dentro da mesma faixa de frequência de operação (conforme definido para LTE), chamadas de contíguas dentro da banda. Isso pode nem sempre ser possível, devido a

cenários de alocação de frequência. Para alocação não contígua, ela pode ser *intra-band*, ou seja, as operadoras de componentes pertencem à mesma faixa de frequência de operação, mas são separadas por um intervalo de frequências, ou pode ser *inter-band*, caso em que as operadoras de componentes pertencem a diferentes bandas de frequência de funcionamento, ver figura 16.

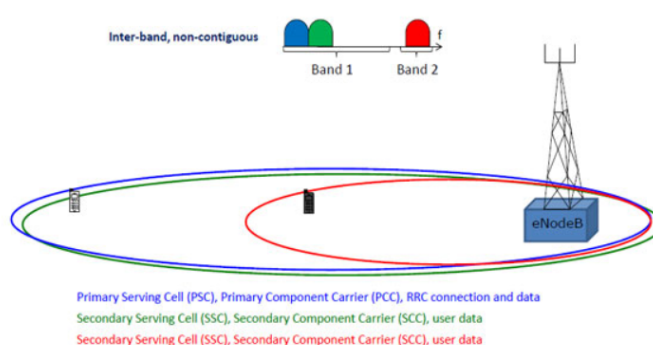
Figura 16 – Portadoras Agregadas: Alternativas intra e inter-bandas



Fonte: 3GPP (2013)

Quando as portadoras agregadas são utilizadas, há um número de células de serviço, uma para cada portadora de componente. A cobertura das células serventes pode diferir, devido, por exemplo, às frequências portadoras de componente. A conexão RRC (do inglês, *Radio Resource Control* - Controle de Recursos de Rádio) é manipulada por uma célula, a célula de serviço primária, servida pela PCC (do inglês, *Primary Component Carrier* - Portadora de Componente Primário), com DL (do inglês *Downlink* - Recepção de Pacotes) e UL (do inglês, *Uplink* - Transmissão de Pacotes). Os outros portadores de componentes são todos referidos como SSC (do inglês, *Secondary Component Carrier* - Portadora de Componente Secundário), com DL e possivelmente UL, servindo as células de serviço Secundárias.

Figura 17 – Carrier Aggregation: Servindo Células



Fonte: 3GPP (2013)

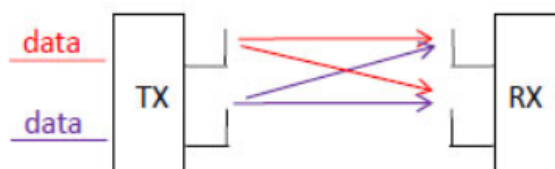
No exemplo da CA entre bandas mostrado na figura 17, a agregação de portadora em todas as três portadoras de componentes só é possível para o UE (do inglês, *User Equipment* - Equipamento do Usuário) preto, o UE branco não está dentro da área de cobertura da portadora de componente vermelho.

A introdução da agregação de portadores influencia principalmente o MAC e o protocolo da camada física, mas também o *buffer* de RLC (do inglês, *Radio Link Control* - Controle de Link de Rádio) deve ser maior. E o RRC deve ser capaz de tomar decisões sobre a adição ou remoção do CC secundário.

2.6.2 Saída Múltipla de Múltiplas Entradas

Multiplexação Espacial ou Saída Múltipla de Múltiplas Entradas (do inglês, *Multiple Input Multiple Output* - MIMO), é usado para aumentar a taxa de bits global através da transmissão de dois (ou mais) fluxos de dados diferentes em duas (ou mais) antenas diferentes. Usando os mesmos recursos em frequência e tempo, separados apenas pelo uso de sinais de referência diferentes, a serem recebidos por duas ou mais antenas. Ver figura 18.

Figura 18 – MIMO - Spatial Multiplexing (2x2)

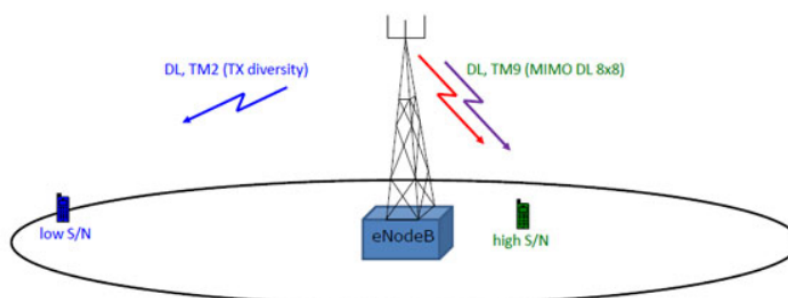


Fonte: 3GPP (2013)

Conforme mostrado na figura 18, a Ilustração simplificada de MIMO 2x2 (Multiplexação Espacial). Dois fluxos de dados diferentes são transmitidos em duas antenas TX e recebidos por duas antenas RX, usando a mesma frequência e tempo, separados apenas pelo uso de diferentes sinais de referência.

Um ou dois blocos de transporte são transmitidos por TTI. Uma grande mudança no LTE-Advanced é a introdução de 8x8 MIMO no DL e 4x4 no UL. O MIMO pode ser usado quando S/N (relação sinal/ruído) é alta, ou seja, canal de rádio de alta qualidade. Para situações com baixo S/N, é melhor usar outros tipos de técnicas de multi-antena para melhorar o S/N, por exemplo, por meio da diversidade de TX. Ver figura 19.

Figura 19 – MIMO - High S/N



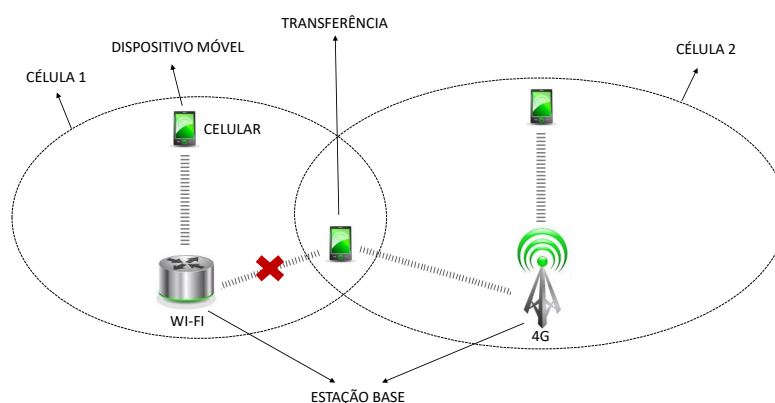
Fonte: 3GPP (2013)

O MIMO é recomendado para alta S/N e a diversidade de TX é preferencialmente usada para cenários com baixo S/N.

2.7 Handover

O *Handover* ou *Handoff* (HO), é a técnica de transferência de uma estação móvel (do inglês, *Mobile Station* - MS) de um canal para outro, atribuído a uma estação-base alvo. (QUENTAL; GONÇALVES, 2013). O *Handover* é utilizado nos dispositivos móveis como nos celulares e *tablets*, de uma maneira que seja garantido a mobilidade dos usuários sem que seus serviços percam qualidade. Ver figura 20.

Figura 20 – Handover



Fonte: Próprio Autor (2018)

Conforme é mostrado na figura 20, o processo de funcionamento do *handover* ocorre primeiramente dentro da célula 1, através da troca de mensagens entre o terminal móvel (celular) e a estação atual (Wi-Fi) responsável pelo gerenciamento dessa célula, ou seja, um relatório de medição é enviado pelo dispositivo móvel para estação atual. Essas informações são trocadas posteriormente entre as estações Wi-Fi e 4G, ou seja, a célula atual repassa todas as informações necessárias de medição do dispositivo móvel para a nova estação (4G). A decisão de *Handover* é tomada pela estação atual (Wi-Fi) baseada no relatório de medição. A nova estação pode realizar um processo de controle de admissão dependendo das informações de QoS recebidas. Basicamente, ela avalia se existem recursos disponíveis para atender o dispositivo móvel (celular). Caso existam recursos, os mesmos são configurados e uma mensagem é enviada para estação atual. Caso contrário o *handover* (HO) é rejeitado. Um comando de *handover* é enviado da estação atual para o dispositivo móvel. O dispositivo móvel se desconecta da estação atual (Wi-Fi) e conecta na nova estação (4G), consolidando assim o processo de *handover*. (SILVA, 2018).

O *Handover* possui algumas características e classificações. Pode ser classificado em

relação a seu tipo, sendo *Soft Handover*, onde a transferência entre redes ocorre de forma suave, não havendo perda da conexão anterior antes que a conexão atual esteja ativa e operacional. E *Hard Handover*, onde a transferência é feita de forma abrupta, com a perda da conexão anterior antes da atual ser estabelecida. (MONTEIRO, 2012).

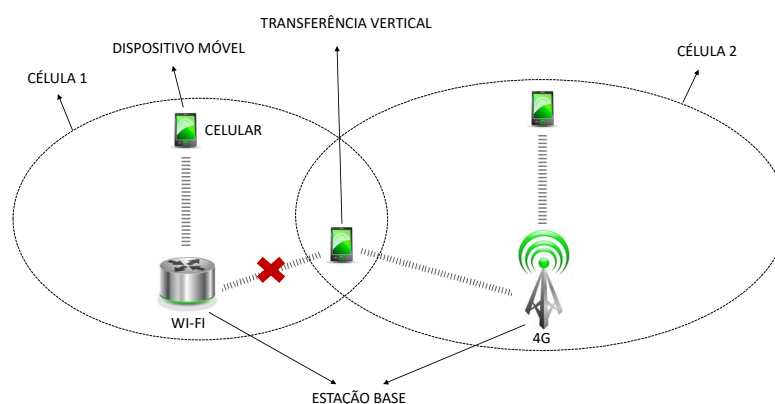
2.7.1 Classificação do Handover

Sobre as classificações do *handover*, podem ser feita baseada nos tipos de RATs (do inglês, *Radio Access Technologies*) das redes envolvidas, ou seja, a mobilidade de um terminal móvel entre redes com a mesma RAT, o *handover* é chamado de *Handover Horizontal* (do inglês, *Horizontal Handover - HHO*). já a mobilidade entre redes de RATs diferentes, é chamada de *Handover Vertical* (do inglês, *Vertical Handover - VHO*). (MONTEIRO, 2012).

2.7.1.1 Handover Vertical

Handover Vertical (do inglês, *Vertical Handover - VHO*), trata da migração dos dispositivos móveis entre redes heterogêneas sem fio, (MONTEIRO, 2012). Ver figura 21.

Figura 21 – Handover Vertical



Fonte: Próprio Autor (2018)

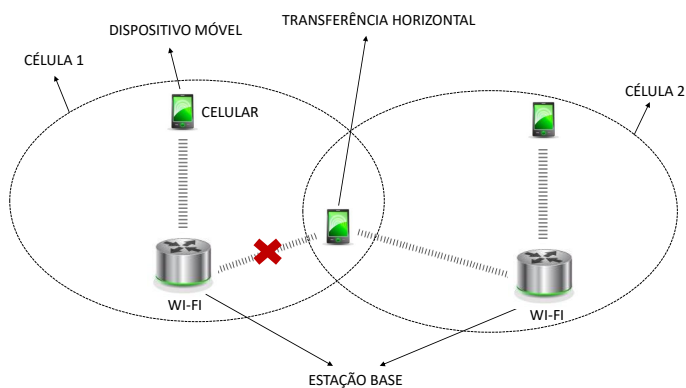
Conforme Monteiro (2012), o *handover* vertical utilizados em redes heterogêneas (Wi-Fi e 4G), utilizam-se de dois mecanismos na mobilidade. A utilização do MIH (do inglês, *Media Independent Handover - Transferência Independente de Mídia*) e o padrão IMS (do inglês, *IP Multimedia Subsystem - Subsistema Multimídia IP*). O primeiro tenta, a todo custo, reduzir o tempo gasto com os procedimentos de descoberta de pontos de acesso (redes disponíveis), assim como com a execução física do *handover*. O segundo, vai em direção a uma tendência mundial, que são as redes All-IP. Estudos tem mostrado que o caminho mais natural para integrar redes celulares a redes comutadas por pacotes, é fazer as duas “falarem” o mesmo protocolo. Sendo assim, o IMS propõe a inserção da pilha IP, dentro do núcleo de uma rede celular, integrando o que há de melhor nos dois mundos.

Segundo Silva (2018), podemos ter dois modos de mobilidade em redes LTE: mobilidade no modo conectado e no modo ocioso, ou seja, quando o dispositivo móvel se encontra no modo ocioso e altera a célula, o processo é chamado resseleção de célula, e quando o dispositivo móvel estiver no modo conectado e muda de célula, o processo é chamado de *handover*. A rede controla as transições do dispositivo móvel de modo ocioso para conectado e vice-versa.

2.7.1.2 Handover Horizontal

O *Handover* Horizontal ocorre na migração do terminal móvel entre redes de mesma tecnologia, como por exemplo, na utilização de um celular em um campus de uma universidade, onde geralmente tem várias redes Wi-Fi disponíveis. Essas redes são de uma mesma tecnologia, trabalhando em uma mesma faixa de frequência, diferentemente das redes 4G, que trabalha em frequências diferentes. Outro exemplo ocorre na migração de uma cidade para outra, ou seja, em viagens longas, onde os dispositivos móveis como celulares transitam entre várias antenas de uma mesma tecnologia como as redes 4G (LTE). Para que ocorra o *Handover* Horizontal, basta que tenha no mínimo duas antenas e um dispositivo móvel migrando de uma área de cobertura de uma célula para outra área de cobertura de outra célula. Ver figura 22.

Figura 22 – Handover Horizontal



Fonte: Próprio Autor (2018)

Na figura 22, é mostrado a migração de um dispositivo móvel da célula 1 para célula 2. Note no momento da interseção entre as duas células, que o dispositivo detecta uma nova estação base, no momento em que se distancia da estação base atual, ele começa a trocar informações para a troca para nova estação base, completando assim o *handover horizontal*.

3 TRABALHOS CORRELATOS

Neste capítulo, será realizado um apanhado geral sobre alguns trabalhos relacionados a redes heterogêneas. Com intuito de apontar algumas soluções relacionados a qualidade dessas redes e justificar através dos trabalhos propostos a grande contribuição a qual esse trabalho se propõe a fazer.

3.1 Visão Geral

Em Monteiro (2012), são apresentadas duas arquiteturas: O SMIP (*Specialized Mobile IP*) e o QoV-NS (*Quality of Video - Network Selection*). O primeiro é apresentado como uma solução alternativa ao protocolo MIP, para gerência de mobilidade, enquanto que a segunda como uma solução para seleção de redes, baseada na NQM (*Network Quality Metric*), uma métrica, que mede a qualidade de uma rede, visando verificar a sua aptidão para a transmissão de um tráfego de vídeo. Basicamente esse sistema é monitorado pelo próprio dispositivo móvel, chamado de AMAM (Ambiente de Mobilidade Assistido pelo Móvel), ele fornecerá ao usuário QoE e QoS necessárias para manter a continuidade de conexões na utilização de redes heterogêneas. Porém esse trabalho contribui para uma melhora na mobilidade dos dispositivos e dá uma melhor opção de migração de rede para utilização de aplicação de vídeo, mas vale ressaltar que ainda ocorrerá concorrência na interface do dispositivo podendo comprometer a conexão.

Os autores Quental e Gonçalves (2013), apresentam uma estratégia de tentativas de *handover* para o esquema proposto em (LEE; CHO, 2011). O referido esquema foi projetado para lidar com *handovers* verticais em grupo com base em uma probabilidade de bloqueio máxima estabelecida. Conclui que a estratégia proposta reduz a latência total de *handover* do esquema de referência enquanto mantém uma probabilidade equivalente de bloqueio de *handover*. Contudo, apenas bloqueia *handovers* desnecessários, de certa forma o *handover* ocorrerá, ou seja, ainda terá concorrência na interface do dispositivo.

Numa tentativa de assegurar baixa latência de *handover* entre redes WLAN e LTE, o autor (TRINETO, 2016), cria um novo protocolo de autenticação, dotado de diversas propriedades voltadas à segurança. Todavia ele contribui para diminuição do tempo na troca de pacotes na hora de aplicação do *handover* e melhora a segurança, mas não resolve a concorrência da interface na utilização do *handover* vertical.

Nesse sentido, em (JUNIOR et al., 2017) os autores propõem uma implementação e avaliação de desempenho de uma estratégia de *handover* que reduz a latência do processo de re-autenticação. Utilizando técnica de transferência de contexto de informações de segurança, bem como, considera uma arquitetura SDN para programar dinamicamente o tratamento da mobilidade com suporte dos ativos pertencentes ao núcleo da rede. O que viabiliza a continuidade do serviço e requisitos de QoS/QoE (QoE – Qualidade de Experiência do Usuário), (MENEZES,

MENDES, et al., 2008) das aplicações, além de evitar o envolvimento do dispositivo móvel na sinalização para troca de ponto de acesso. No entanto não resolve a concorrência da interface na utilização do *handover* vertical.

O trabalho proposto pelos autores (TEIXEIRA, MATOS e AUGUSTO, 2016) utilizando um estudo de avaliação “*Link Going Down*” do MIH, através de simulação do NS2 (*Network Simulator*). Os resultados obtidos foram satisfatórios para prevenir a ocorrência de *handover*, suavizando o *handover*. Entretanto nem todos os dispositivos mostra que tipo de MIH estão utilizando na hora do *handover*, de certa maneira mesmo utilizando o *Link Going Down* ainda continuará ocorrendo a concorrência da interface na utilização do *handover* vertical.

Em (CÓRDOVA e GONDIM, 2016) propõem uma abordagem baseada em redes definidas por software, apresentando uma arquitetura de rede que não somente permite obter os benefícios intrínsecos do SDN, mas também lidar de forma simplificada e eficiente com o gerenciamento de mobilidade de modo distribuído em redes de acesso heterogêneas, garantindo principalmente a continuidade de sessão IP durante o deslocamento do usuário entre as redes. Não obstante o mesmo apenas propõe uma melhoria na gerência da mobilidade do móvel, continuando assim havendo concorrência na interface do dispositivo.

Neste trabalho realizado pelos autores (SILVA, MONTEIRO e BATISTA, 2014) foi feito um estudo sobre a utilização de ferramentas computacionais para classificação de redes, visando subsidiar o processo de escolha através do emprego de métodos de auxílio à tomada de decisão. Foram sugeridos dois métodos de decisão multicritério, Promethee II (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*) e TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*). Para validação dos experimentos, as abordagens apresentadas são comparadas com outras estratégias que utilizam o AHP (*Analytic Hierarchy Process*), GRA (*Grey Relation Analysis*), e hibridizações com lógica nebulosa. Os resultados foram satisfatórios em sua viabilidade, esse método de classificação apenas dá uma melhor escolha de rede disponíveis, de certa forma não resolverá os impactos da utilização do *handover* vertical, que aumenta consideravelmente a viabilidade a qual esse trabalho se propõe.

Como podemos perceber na citação dos trabalhos selecionados, de certa forma eles contribuem em boa parte na resolução dos problemas de *handover* e nas suas métricas, mas não resolverá a concorrência das interfaces de redes sem fio, devido os dispositivos móveis optar por uma única interface ao requisitar algum serviço, ou seja, dependendo do tipo de pacote a qual essa interface irá transferir ou receber, poderá ocorrer perda de pacotes, sem falar no número de usuários ligadas às subestações. Por isso a importância da validade deste trabalho para o aumento das melhorias das redes sem fio em geral. Isso devido não necessitar de *handover* vertical, pois os usuários poderão acessar simultaneamente as duas redes através das duplas interfaces, não havendo assim, concorrência entre as interfaces.

4 PROPOSTA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM DISPOSITIVO MÓVEL COM DUAL-INTERFACE COM CONEXÃO SIMULTÂNEA EM REDES HETEROGÊNEAS

Neste capítulo, será realizada uma visão geral sobre a implementação de um dispositivo móvel com dual-interface com conexão simultânea em redes heterogêneas. Com intuito de apontar uma solução viável para os impactos causados pelo *handover* vertical e justificar a grande contribuição a qual esse trabalho se propõe a fazer.

4.1 Problematização

Existem vários problemas causados pela migração dos dispositivos móveis entre redes de diferentes tecnologias, como por exemplo, na qualidade de serviço, na perda de pacotes, na queda e oscilação da vazão, no atraso dos envios e recebimentos dos pacotes. Tudo isso ocorre devido os dispositivos atuais possuírem uma única interface para se conectarem a uma rede sem fio, e ao se depararem com mais redes sem fio, são obrigados a utilizar o *handover*, permitindo que sua única interface possa sofrer concorrência entre redes de diferentes tecnologias.

Vários são os transtornos que ocorrem na interface do dispositivo como fornecimento de serviços e degradação de desempenho na utilização das aplicações. Principalmente em serviços que envolvem o uso de *streaming*, onde as falhas são cruciais e comprometem a qualidade, podendo assim trazer maiores prejuízos para usuários que necessitam de uma conexão estável. Outras aplicações podem ser afetadas como o atraso nos envios dos pacotes, principalmente na utilização de serviços voltados a servidores, que mantem serviços na WEB, tanto para usuários finais, como para compartilhamento de processamento em máquinas que não possuem equipamentos com um alto poder de processamento e necessitam de compartilhamento de recursos, temos uma equiparação no entanto, para medir o grau que o atraso pode causar a seus usuários. Para mitigar esses problemas, várias técnicas são utilizadas, desde soluções voltadas ao núcleo de rede, aos terminais das redes sem fio. Considerando que a viabilidade financeira para a utilização de soluções nos terminais de rede é limitada, por configurarem-se maioria em relação ao núcleo, são escassas as propostas voltadas para os dispositivos de borda de rede nesse sentido. Daí a necessidade de criar uma solução para os dispositivos dos terminais das redes sem fio para mitigação da problemática causada na utilização da migração das redes sem fio heterogêneas.

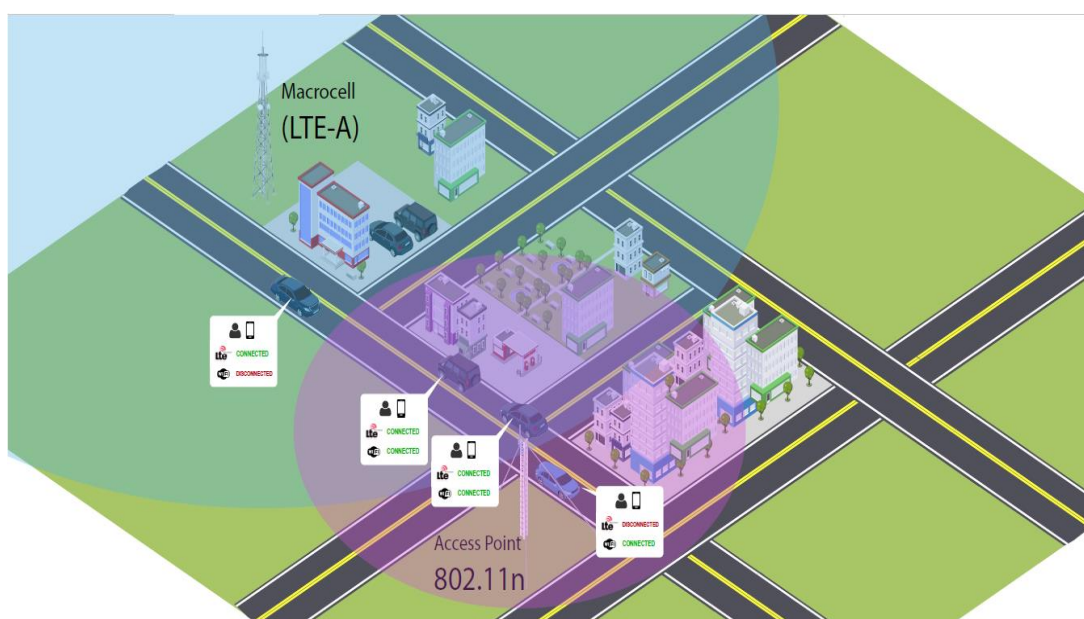
4.2 Proposta

Com o objetivo de prover uma forma de mitigar os problemas nos terminais das redes sem fio, o presente trabalho foi desenvolvido. Segundo Ecommercebrasil (2018), em 2017, os dispositivos móveis representaram 48% dos acessos a internet. Evidenciada a maioria dentre a gama

de dispositivos, é de fácil conclusão que os problemas elencados na seção 4.1 atinjam a maioria dos usuários da internet ao redor do globo. Diante do exposto, observou-se a necessidade da proposta de um dispositivo móvel com dual-interface, que pudesse se conectar simultaneamente entre duas redes sem fio heterogênea, priorizando uma interface exclusiva para cada tipo de rede sem fio, ou seja, separar uma exclusivamente para as redes 4g e a outra para usufruir de uma rede Wi-Fi, proporcionando aos usuários um aproveitamento total da vazão da rede, evitando assim de uma possível concorrência em uma única interface como é comum entre os dispositivos móveis atuais.

O fato nos mostra a importância de criar um dispositivo com tal funcionalidade, que não necessite fazer o *handover*, sendo capaz de se conectar em duas redes simultaneamente, evitando que sua interface possa sofrer alguma concorrência entre a sua interface. Dando aos seus usuários a garantia de uma conexão estável, e permanência na execução de aplicações cruciais como no uso de *streaming*. Vale lembrar que mesmo que ocorra eventualmente uma concorrência em uma das interfaces do dispositivo proposto, teremos sempre uma conectado em uma das interfaces, dando comodidade aos seus usuários, garantindo o acesso das aplicações utilizadas pelos usuários. Ver figura 23.

Figura 23 – Cenário de Conexão Simultânea de Dispositivo Com Dual-Interface



Fonte: Próprio Autor (2018)

Na figura 23, é mostrado uma ilustração da utilização desse dispositivo proposto por este trabalho, como em três possíveis casos. No primeiro caso, um dispositivo móvel com dual-interface dentro da área de cobertura da rede 4G, utilizando uma única interface do dispositivo. Segundo caso, dois dispositivos com dual-interface dentro da área de *handover*, conectados simultaneamente nas duas redes (4G e Wi-Fi), utilizando simultaneamente as duas interfaces. E no terceiro e último caso, um dispositivo móvel com dual-interface conectado na rede Wi-Fi, utilizando uma única interface de seu dispositivo.

4.3 Limitações

A proposta prevê algumas limitações, as quais cito a seguir. Primeiramente, devido ao uso simultâneo de duas interfaces de rede, haveria um aumento na utilização da bateria do dispositivo móvel, que pode ser resolvido com a implementação de baterias de amperagem maior. Em segundo lugar, a existência de múltiplas redes disponíveis nos mesmos tipos abrangidos pela proposta acarretaria *handover*, problema alvo desta pesquisa, mas tal ocorrência pode ser resolvida através da utilização de recursos de seleção de melhor rede já implementados nos dispositivos atuais.

5 RESULTADOS

Nesse capítulo serão apresentados e detalhados os resultados obtidos nas simulações. Será feita uma explanação sobre o comportamento dos dispositivos móveis entre redes heterogêneas. Além disso, dar uma abordagem sobre o simulador utilizado, adaptando seus módulos para que o novo dispositivo com dual-interface funcione corretamente na utilização de *handover* vertical.

5.1 Simulação

Para obter o estudo da pesquisa, foi desenvolvido a técnica de uso de simulações de eventos discretos. Essa técnica de avaliação é utilizada para obtenção de desempenho de um sistema baseada em sua arquitetura, abstraindo e equiparando a um sistema real, que armazenam aspectos essenciais do objeto em estudo.

A ferramenta utilizada neste trabalho é o *Network Simulator 2* (NS2), ela é uma ferramenta de simulação de redes de computadores. Primeiramente o NS2 teve seu início como uma variante do Simulador de rede Real em meados de 1989 e evoluiu substancialmente até os dias atuais. Diversos trabalhos são produzidos tanto a nível acadêmicos, quanto empresariais, na produção de projetos de simulações de redes para implementações, com objetivo principalmente de redução de custos.

Para representar uma rede 4G real, foi utilizado a biblioteca LTE do NS2. Os parâmetros que serão analisados são comuns a todo tipo de rede sem fio, como a análise da vazão, que é definida como o número de bits que podem ser transmitidos sobre a rede num dado tempo, sendo expressa em bits por segundo (bps). Da mesma forma que a vazão, são utilizados outros parâmetros como o atraso e perda de pacotes, que são parâmetros gerais entre diversos tipos de redes.

Para obtenção dos cenários em estudo, serão coletado todos os tráfegos da rede, através do arquivo gerado pela ferramenta, denominado de arquivo de trace da rede "*trace-all*", que serve para gravar arquivos de *trace* com informações em formato geral. Para monitorar todo o tráfego da rede é utilizado a biblioteca "*LossMonitor*", que é conectado no nó receptor, para rastrear os pacotes perdidos e os detalhes dos pacotes recebidos. O objetivo desse monitoramento é avaliar os impactos de *handover* vertical, principalmente no tráfego da vazão, atraso e perda de pacotes.

No quadro 1 é mostrado os parâmetros gerais das simulações desenvolvidos através do NS2.

Para abstração e plotagem dos gráficos foram utilizadas o XGRAPH e o MATLAB, que são ferramentas voltadas para criação de gráficos, abstraindo dos arquivos ".tr"coletados pelo NS2.

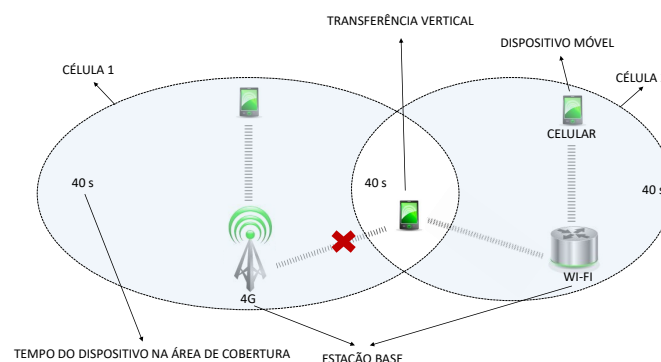
Quadro 1 – Parâmetros Gerais

PARÂMETRO	VALOR
ÁREA DE SIMULAÇÃO	2000 m x 2000 m
QTDE ROTEADORES	2
QTDE ESTAÇÕES	2
QTDE DISPOSITIVOS MÓVEIS	1
DUPLEX LINK	1500 Mb 40 ms
TIPO DE FILA	DropTail
TEMPO DE SIMULAÇÃO	120 s
CHANNEL WIRELESS	Type 802.11
RATE	54 Mb
POTÊNCIA DE TRANSMISSÃO	50 m
FREQUÊNCIA	2.4 GHz
CHANNEL WIRELESS	LTE
RATE	124 Mb
POTÊNCIA DE TRANSMISSÃO	500 m
FREQUÊNCIA	3.5 Ghz
APLICAÇÃO	CBR
TAMANHO PACOTE	1024 kB

Fonte: Próprio Autor (2018)

5.2 Cenário 1

Para este cenário é utilizado um dispositivo móvel tradicional, composta por uma única interface de rede sem fio, que se conectará com duas estações base (4g e Wi-Fi). A duração do tempo de simulação total será de 120 segundos (s), sendo que tanto dentro da área de cobertura da estação base 4G, como na área de *handover* e Wi-Fi, o dispositivo permanecerá com um tempo aproximadamente de 40 segundos em cada área específica, para que possa ter os parâmetros necessários para compararmos com o cenário do novo dispositivo de dual-interface. Na figura 24, nos é mostrado uma ilustração do primeiro cenário.

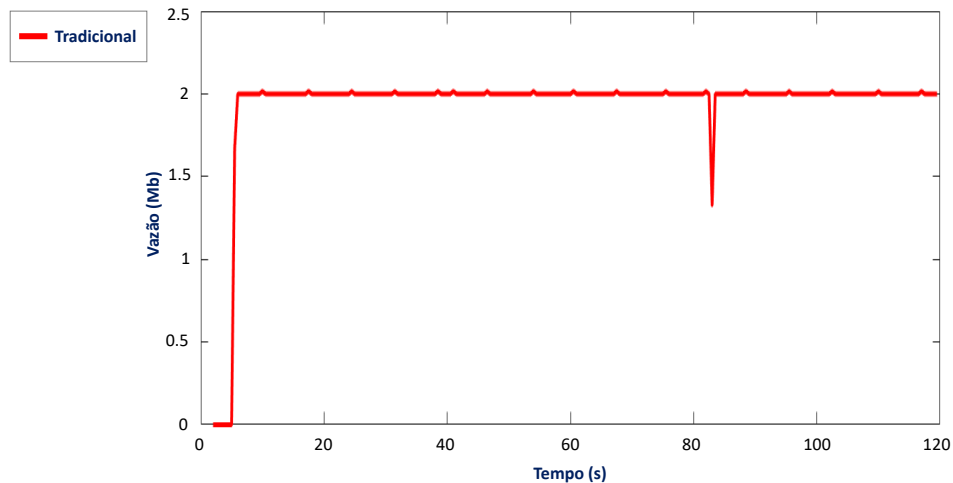
Figura 24 – Dispositivo Tradicional

Fonte: Próprio Autor (2018)

Os resultados obtidos na primeira simulação mostram o comportamento da coleta da

vazão, e mostram claramente uma oscilação na troca da rede 4G para a rede Wi-Fi, justamente na utilização do *handover* vertical, onde ocorre a concorrência na interface do dispositivo. No gráfico 3, nos é mostrado o gráfico da vazão do dispositivo tradicional.

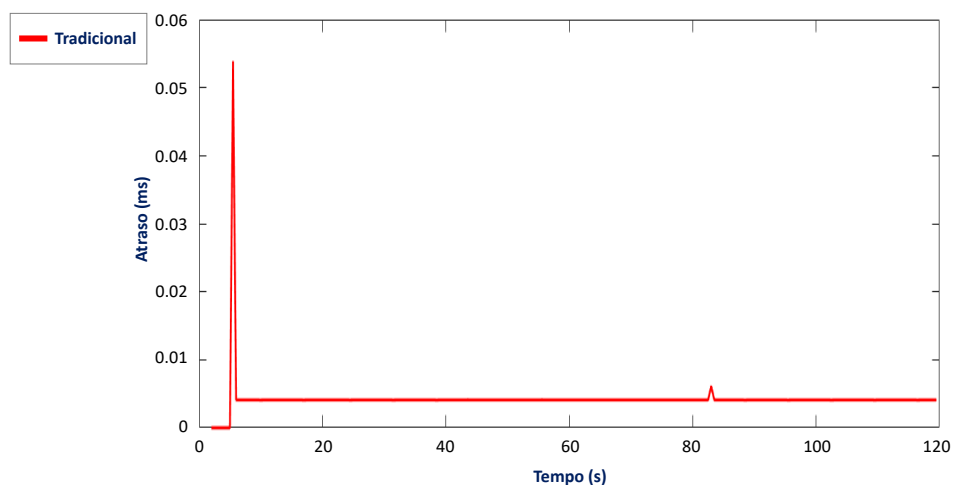
Gráfico 3 – Vazão do Dispositivo Tradicional



Fonte: Próprio Autor (2018)

Existem vários tipos de atraso, como por exemplo, atraso de transmissão, atraso de propagação, atraso de fila e de Processamento, (KUROSE; ROSS, 2013). Basicamente o atraso tem as mesmas especificações, medir o tempo entre a origem até os destinatários. O NS2, analisa o tempo total em que o emissor envia ao receptor, dando um resultado de fácil compreensão aos usuários.

Gráfico 4 – Atraso do Dispositivo Tradicional



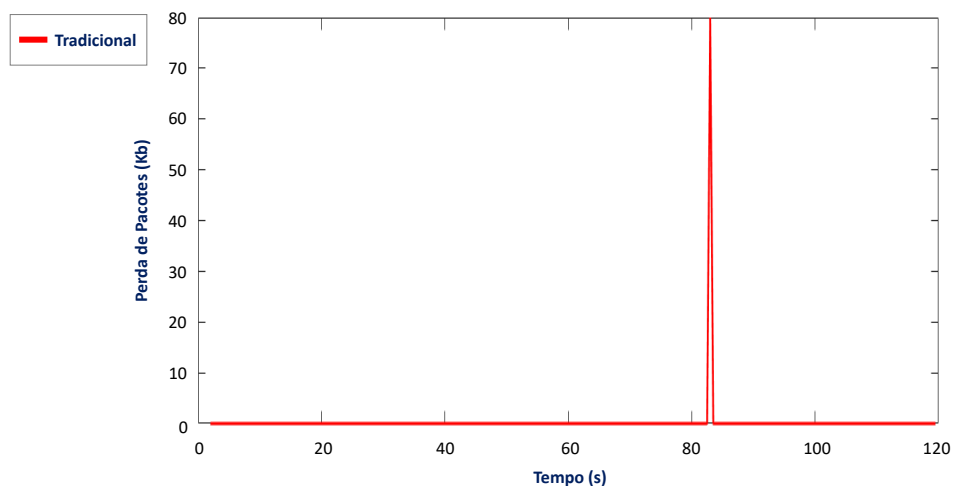
Fonte: Próprio Autor (2018)

No gráfico 4, nos é mostrado os resultados da coleta do atraso em que o dispositivo tradicional obteve uma perda na hora de estabelecer uma conexão para recebimento de pacotes

na rede 4G. Isso ocorreu no instante de tempo de 5 segundos, também isso ocorreu no instante de tempo 85 segundos, onde ocorre o *handover*, na hora de se conectar com a rede Wi-Fi. O atraso foi menor em relação o atraso do instante 5 segundos, devido a simulação ser projetada para utilização do protocolo de rede chamado de MIH (*Media Independent Handover*), que basicamente não interrompe a conexão, garantindo que na utilização do protocolo IP, a conexão não seja interrompida até que haja um estabelecimento de conexão com a outra rede sem fio, no caso a Wi-Fi. Ver gráfico 4.

No gráfico 5, nos é mostrado os resultados da coleta da perda de pacotes do dispositivo tradicional. Onde ocorreu uma perda na instante de tempo de 85 segundos, devido a troca de rede entre a rede 4G e a Wi-Fi, ou seja, na utilização do *handover*. Note mesmo com a utilização do protocolo de rede MIH, para que o dispositivo não perdesse sua conexão, houve as perdas de pacotes, isso devido a concorrência que ocorre na interface de rede do dispositivo tradicional. Ver gráfico 5.

Gráfico 5 – Perda de Pacotes do Dispositivo Tradicional

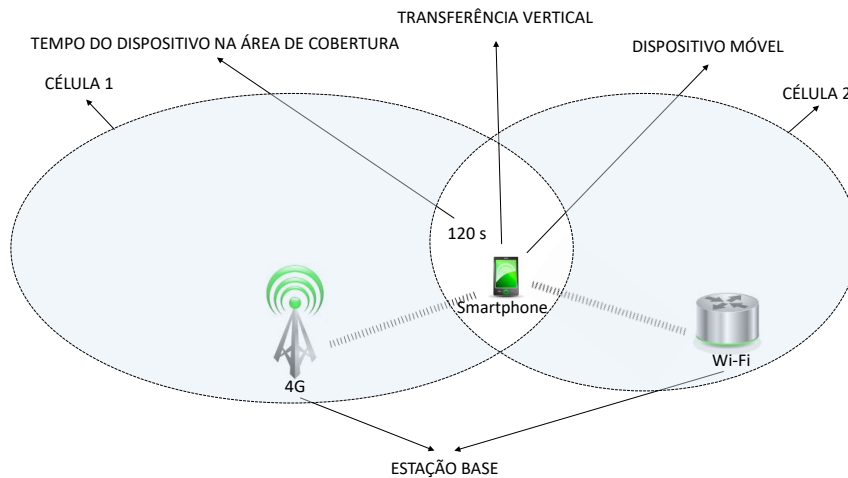


Fonte: Próprio Autor (2018)

5.3 Cenário 2

Para este cenário é utilizado um dispositivo móvel com dual-interface, composta por duas interface de rede sem fio, que se conectará simultaneamente a duas estações base (4G e Wi-Fi). A duração do tempo de simulação total será de 120 segundos (s), sendo que ao deparar dentro da área de *handover*, o dispositivo permanecerá conectado simultaneamente as duas redes, até o término da simulação, para que possa ter os parâmetros necessários para compararmos com o cenário do dispositivo tradicional, que é comum nos dispositivos dos dias atuais. Na figura 25, nos é mostrado uma ilustração do segundo cenário.

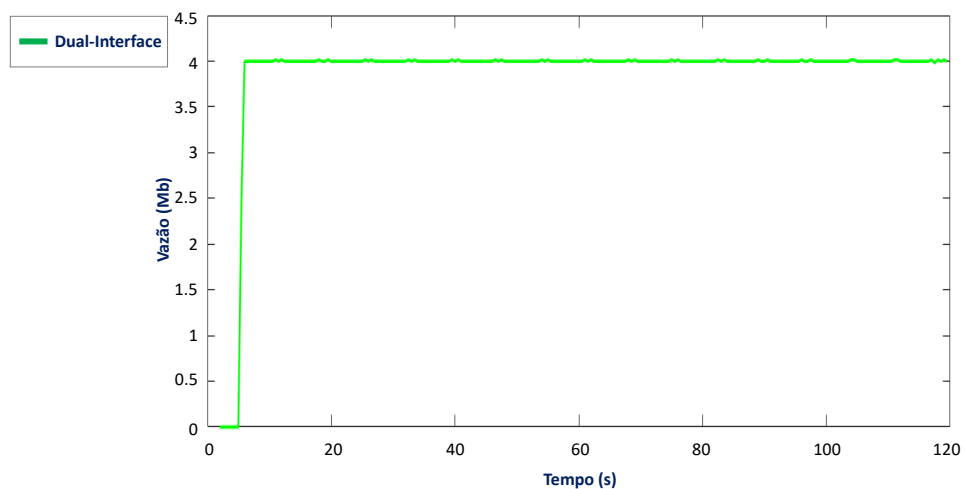
Figura 25 – Dispositivo com Dual-Interface



Fonte: Próprio Autor (2018)

Os resultados obtidos pela coleta da vazão na segunda simulação, obtidos com o dispositivo de dual-interface. Mostram-nos o valor total da vazão coletada pelo dispositivo móvel, onde o dispositivo recebeu em cada interface de rede, uma taxa de 2 Mbps, totalizando assim, uma taxa de 4 Mbps, dando ao usuário um total uso da banda. No gráfico 6, nos é mostrado o gráfico da vazão da atuação do dispositivo de dual-interface no cenário proposto.

Gráfico 6 – Vazão do Dispositivo Dual-Interface

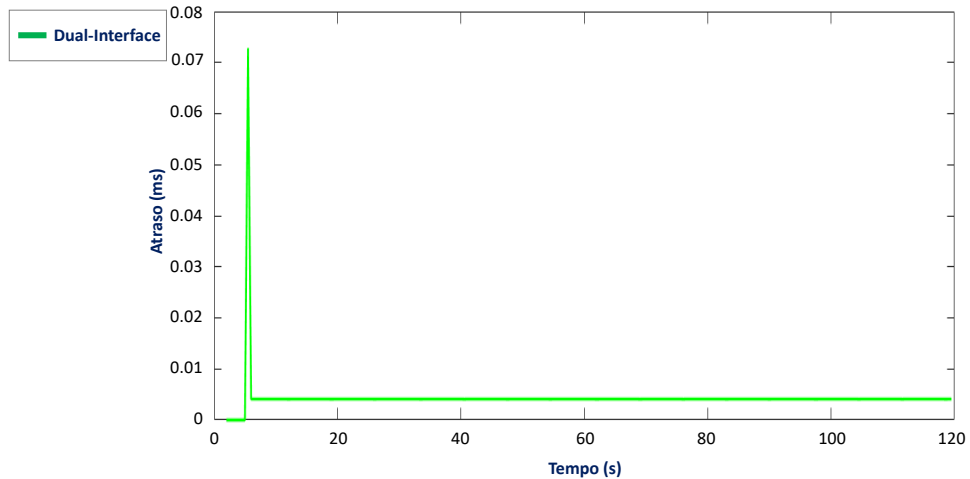


Fonte: Próprio Autor (2018)

Os resultados obtidos pelo atraso na segunda simulação, obtidos com o dispositivo de dual-interface, como é mostrado no gráfico 7. Mostram-nos um pequeno atraso entre 0.07 a 0.08 milissegundo, no instante 5 segundos, onde ocorre o início do tráfego entre o dispositivo móvel e as estações base. Depois o gráfico nos mostra que no decorrer da simulação, o dispositivo móvel

permanece estável e constante. Concluindo assim, que o dispositivo por possuir duas interfaces, garante a estabilidade dos serviços utilizados, não necessitando do uso do *handover* vertical.

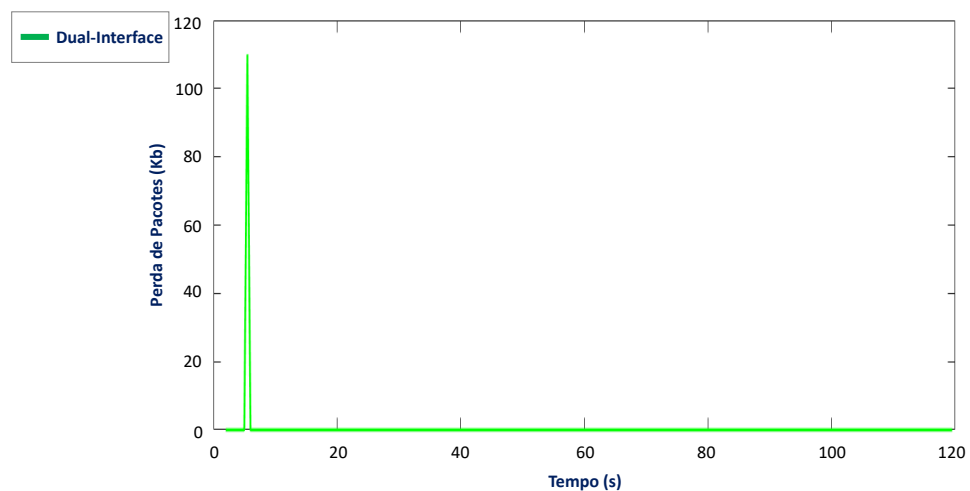
Gráfico 7 – Atraso do Dispositivo Dual-Interface



Fonte: Próprio Autor (2018)

Os resultados obtidos pela perda de pacotes na segunda simulação, obtidos com o dispositivo de dual-interface. Mostram-nos uma pequena perda de pacotes entre 100 a 120 Kb, no instante 5 segundos, onde ocorre o início do tráfego entre o dispositivo móvel e as estações base. Depois o gráfico nos mostra que no decorrer da simulação, o dispositivo móvel permanece estável e constante, sem nenhuma perda. Concluindo assim, que o dispositivo por possuir duas interfaces, garante a estabilidade dos serviços utilizados. Ver gráfico 8.

Gráfico 8 – Perda de Pacotes do Dispositivo Dual-Interface



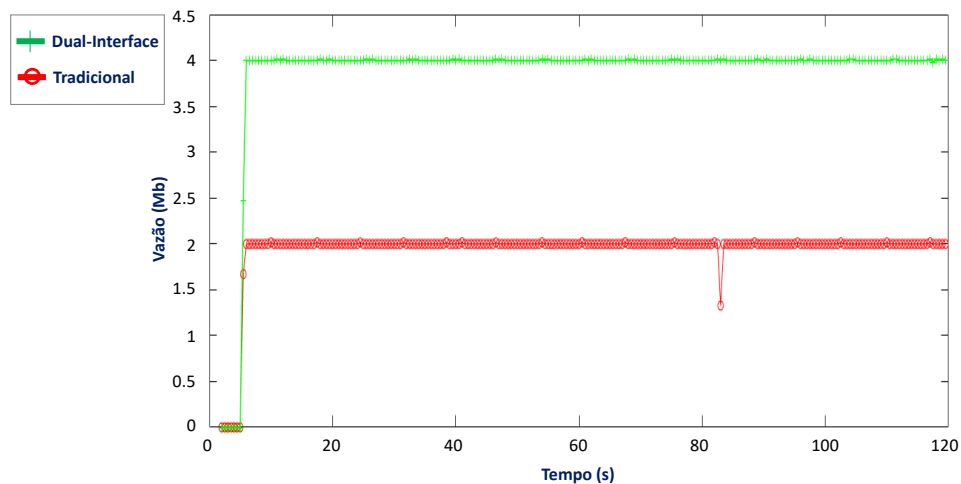
Fonte: Próprio Autor (2018)

5.4 Comparação entre os Cenários

Para a comparação entre os dois cenários, será apresentado os resultados em um único gráfico para cada coleta respectivamente. Assim sendo, um único gráfico contendo as duas coletas das vazões (cenário 1 e 2), outro segundo gráfico contendo as coletas dos atrasos e um último gráfico contendo os resultados das coletas das perdas de pacotes. Logo em seguida será feita a análise de cada gráfico, mostrando a contribuição de viabilidade da proposta apresentada neste trabalho.

No gráfico 9, é mostrado os resultados das vazões dos dois dispositivos móveis. Analisando as taxas das vazões, o dispositivo correspondente aos dispositivos tradicionais, recebeu pacotes das duas redes heterogêneas (4G e Wi-Fi), com uma taxa média de 2 Mbps, com o tempo de simulação de 120 segundos. Porém, como o dispositivo possui apenas uma única interface, houve uma oscilação no instante 85 segundos, justamente no início do *handover* vertical, podendo causar perda na qualidade dos serviços. Já o dispositivo de Dual-Interface proposto neste trabalho, houve uma estabilidade em toda simulação, com um aproveitamento de 100% da banda, obtendo assim uma vazão de 4 Mbps, sendo o dobro em relação o dispositivo tradicional, por possuir duas interfaces de redes e está conectado simultaneamente as duas redes heterogêneas. Mitigando assim, uma solução viável para problemas com *handover* vertical.

Gráfico 9 – Comparação dos Resultados da Vazão

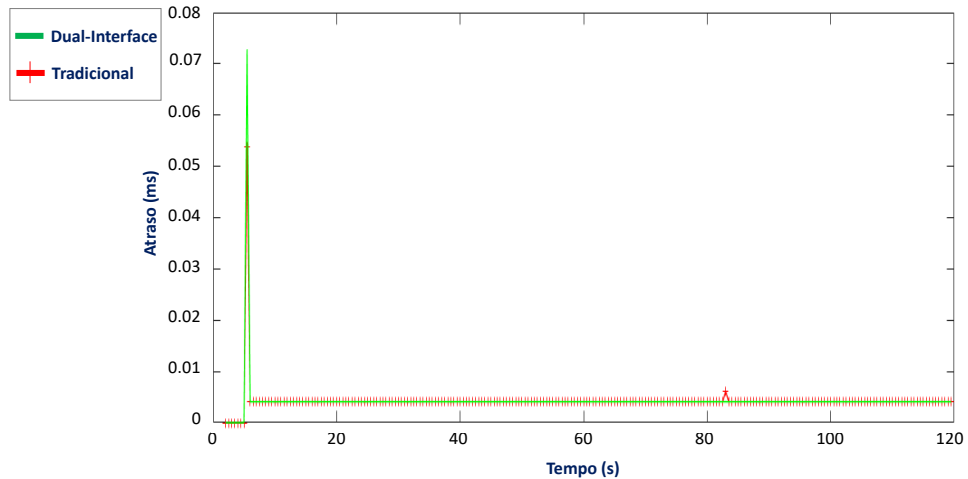


Fonte: Próprio Autor (2018)

No gráfico 10, é mostrado os resultados dos atrasos dos dois dispositivos móveis. Analisando as taxas do atraso, o dispositivo correspondente aos dispositivos tradicionais, obteve um pequeno atraso de aproximadamente 0.06 milissegundo, e de certa forma obteve um desempenho melhor em relação o dispositivo com Dual-Interface, mas vale ressaltar que o mesmo estava recebendo somente uma taxa de 2 Mbps em uma única interface. Já o dispositivo com Dual-Interface, por ter um pequeno atraso de aproximadamente 0.08 milissegundo, estava recebendo um total de

taxa de 4 Mbps, 2 Mbps em cada uma das interfaces, dando um aproveitamento melhor da banda para o usuário.

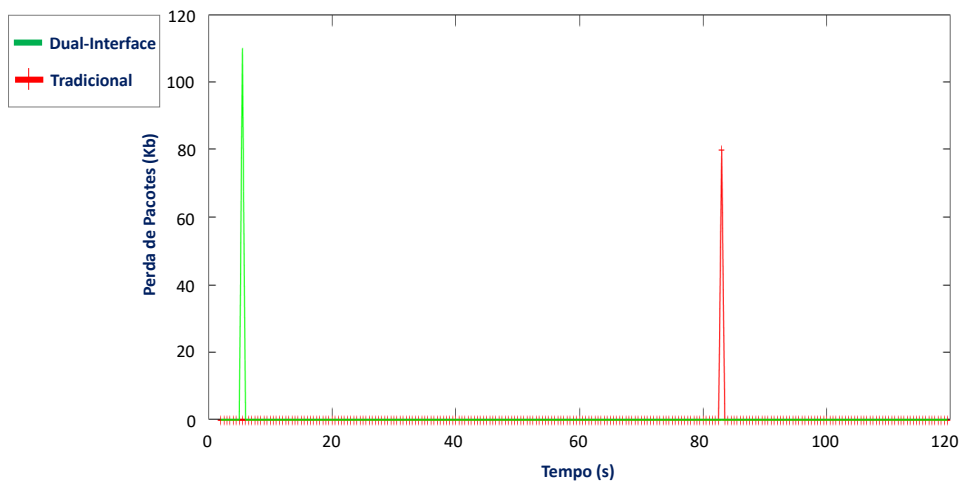
Gráfico 10 – Comparação dos Resultados do Atraso



Fonte: Próprio Autor (2018)

No gráfico 11, é mostrado os resultados da perda de pacotes dos dois dispositivos móveis. Analisando as taxas da perda de pacotes, o dispositivo correspondente aos dispositivos tradicionais, obteve uma pequena perda de pacotes de aproximadamente 90 Kb (*kilo bits*), justamente na transferência vertical (*handover* vertical) entre as redes heterogêneas.

Gráfico 11 – Comparação dos Resultados das Perdas de Pacotes



Fonte: Próprio Autor (2018)

Já o dispositivo com Dual-Interface, no início da simulação obteve uma pequena perda de pacotes, de aproximadamente 110 Kb na conexão com a rede 4G, não na área de *handover*, que é o objetivo deste estudo, tendo uma vantagem significativa em relação ao dispositivo tradicional,

por não perder pacotes na área de *handover*, isso devido por não haver a necessidade de fazer o *handover* por possuir duas interfaces. Dando um aproveitamento melhor da banda para os usuários do dispositivo proposto, tendo uma conexão simultânea nas duas redes heterogêneas (4G e Wi-Fi).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o crescimento exponencial dos dispositivos móveis na atualidade, é de suma importância observar a escalabilidade das redes sem fio heterogêneas. E propôr sempre estudos voltados para os impactos causados pelo *handover*, para mitigar soluções cada vez mais eficazes para contribuição da manutenção das redes de diferentes tecnologias.

O trabalho em questão buscou apresentar um estudo, com objetivo de mostrar que a utilização de duas aplicações ao mesmo tempo em tecnologias diferentes, trouxe uma melhora no desempenho de métricas de qualidade de serviço (vazão, atraso e perda de pacotes). Dessa forma, uma aplicação não “concorre” com a outra, dando aos usuários, um melhor aproveitamento da banda.

A principal melhora do dispositivo com dual-interface, está relacionado a coleta da vazão. Que teve uma melhora de cem por cento em relação o dispositivo tradicional, por utilizar as duas interfaces ao mesmo tempo. E para obter os resultados nas simulações, foi feita uma adaptação nos módulos do NS2, pois o mesmo, foi configurado, para fazer simulações de dispositivos comuns, com uma única interface, tendo concorrência em sua interface na migração entre redes heterogêneas. Isso devido não existir um dispositivo com dual-interface, com tal funcionalidade exposta neste trabalho. E os resultados foram satisfatórios, pois o dispositivo conseguiu receber o dobro da vazão em relação o dispositivo tradicional.

Para trabalhos futuros, devemos incluir inteligência computacional para a tomada de decisão do “*handover* duplo” para escolha da melhor rede, caso o dispositivo tenha a cima de duas redes disponíveis. Outro trabalho seria um estudo aprofundado de consumo de bateria de energia, pois o dispositivo por utilizar duas aplicações ao mesmo tempo, requer um alto consumo de energia. Outro estudo seria criar uma aplicação que priorize os serviços utilizados pelos usuários, como priorizar a interface 4G, para aplicações de uso de *streaming* e outra interface que priorize serviços HTTP (páginas de internet) na utilização do Wi-Fi.

REFERÊNCIAS

- 3GPP. *LTE-Advanced*. [S.l.], 2013. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>>. Acesso em: 23 out. 2018.
- ALMEIDA, M. A. F. R. de. **Introdução ao LTE – Long Term Evolution**. [S.l.], 2013. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialintlte/default.asp>>. Acesso em: 16 out. 2018.
- ANATEL. **Linhas pós-pagas atingem 40 por cento de mercado na telefonia móvel em julho**. [S.l.], 2018. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/dados/acessos-telefonia-movel/>>. Acesso em: 17 set. 2018.
- BRAGA, L. **As especificações do 5G: latência de 4 ms e velocidade de até 20 Gb/s**. [S.l.], 2016. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/209530/5g-especificacoes-preliminares-imt-2020/>>. Acesso em: 18 nov. 2018.
- BULHMAN, H. J.; CABIANCA, L. A. **Redes LAN/MAN Wireless II: Funcionamento do Padrão 802.11**. [S.l.], 2016. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrwanman2/default.asp>>. Acesso em: 11 out. 2018.
- CCM. **Redes sem fio - WLAN**. [S.l.], 2017. Disponível em: <<https://br.ccm.net/contents/819-redes-sem-fio-wlan>>. Acesso em: 23 out. 2018.
- CCM. **WPAN - Rede pessoal sem fio**. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://br.ccm.net/contents/822-wpan-rede-pessoal-sem-fio>>. Acesso em: 23 out. 2018.
- ECOMERCEBRASIL. **Mobile já representa 48% das vendas do varejo online no Brasil**. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://www.ecommercebrasil.com.br/noticias/vendas-mobile-varejo-online-brasil/>>. Acesso em: 05 dez. 2018.
- EDN. **FHSS versus DSSS**. [S.l.], 1999. Disponível em: <<https://www.edn.com/electronics-news/4361355/FHSS-versus-DSSS-item-2>>. Acesso em: 08 out. 2018.
- FILHO, F. X. M. B. **Redes Wi-fi II: Estudo de Caso – Instalação em Campus da IFAM (Manaus, AM)**. [S.l.], 2014. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwifimaneus2/default.asp>>. Acesso em: 08 out. 2018.
- FOROUZAN, B. A. In: FIGUEIREDO, G. E. de (Ed.). **Comunicação de Dados e Redes de Computadores**. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2010. p. 1103.
- GUEDES, L. C. dos S.; VASCONCELOS, R. R. de. **UMTS, HSPA e LTE**. [S.l.], 2009. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/grad/09_1/versao-final/umts/index.html>. Acesso em: 21 out. 2018.
- JUNIOR, A. L. da C. **Redes sem Fio: Protocolo Bluetooth Aplicado em Interconexão entre Dispositivos**. [S.l.], 2012. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredespaid/default.asp>>. Acesso em: 23 out. 2018.
- JUNIOR, E. C. de A. et al. **Mobility-Flow: Solução para Handover Transparente e com Suporte à Autenticação 802.1x em Redes OpenFlow**. [S.l.], 2017. Disponível em: <https://sbrc2017.ufpa.br/downloads/trilha-principal/ST02_02.pdf>. Acesso em: 27 set. 2018.

- KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. In: VIEIRA, D. (Ed.). **Redes de Computadores e a Internet: Uma abordagem top-down**. 6. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013. p. 634.
- LEE, W.; CHO, D.-H. Enhanced group handover scheme in multiaccess networks. **IEEE transactions on vehicular technology**, v. 60, n. 5, p. 2389–2395, 2011.
- MEHI, E. L. de M. **Redes de Acesso sem Fios**. [S.l.], 2008. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/te155/aulas/3-Historico.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2018.
- MONTEIRO, C. de C. **Um Ambiente para Apoio à Integração de Redes Sem Fio Heterogêneas**. 211 p. Tese (Doutorado) — Faculdade de Tecnologia - Universidade de Brasília, Brasília, 2012. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/10766>>. Acesso em: 28 jul. 2018.
- PRADO, E. **WiMAX no Brasil**. [S.l.], 2010. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/wimax.asp>>. Acesso em: 14 set. 2018.
- QUENTAL, N. C.; GONÇALVES, P. A. da S. **Uma Estratégia de Tentativas de Handover Vertical em Grupo**. [S.l.], 2013. Disponível em: <<http://ce-resd.facom.ufms.br/sbrc/2013/artigo-29.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2018.
- ROCHA, J. W. V. **Redes Sem Fio I: Fundamentos de Rede Sem Fio**. [S.l.], 2006. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredesemfio1/pagina_2.asp>. Acesso em: 07 set. 2018.
- SANCHES, C. A. In: **Projetando Redes WLAN – Conceitos e Práticas**. 1. ed. [S.l.]: Érica, 2005. p. 344.
- SILVA, K. da C. **Estratégia de Planejamento e Otimização do Handover em Redes Móveis Densificadas**. 100 p. Tese (Doutorado) — Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Pará, 2018. Disponível em: <https://sigaa.ufpa.br/sigaa/public/programa/noticias_desc.jsf?lc=pt_BR&id=454¬icia=4350218>. Acesso em: 30 out. 2018.
- TANENBAUM, A. S.; WETHERALL, D. In: VIEIRA, D. (Ed.). **Redes de Computadores**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. p. 582.
- TRINETO, J. B. M. **Avaliação de desempenho de protocolos de autenticação para redes sem fio heterogêneas**. 174 p. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Tecnologia - Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/20601>>. Acesso em: 25 set. 2018.

Apêndices

APÊNDICE A – SCRIPT BASE DE SIMULAÇÃO DO DISPOSITIVO TRADICIONAL

```

set max_fragmented_size 1024
set packetSize 1052
global ns
Agent/ND set debug_ 1
Agent/MIH set debug_ 1
Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6 set debug_ 1
Mac/802_16 set debug_ 1
Mac/802_11 set debug_ 1
Mac/802_16 set dcd_interval_ 5 ;
Mac/802_16 set ucd_interval_ 5 ;
set default_modulation OFDM_16QAM_3_4 ;
set contention_size 5 ;
Mac/802_16 set t21_timeout_ 0.02 ;
Mac/802_16 set client_timeout_ 50
set seed 6
set move [new RandomVariable/Uniform]
$move set min_ 2
$move set max_ 12
for {set j 0} {$j < $seed} {incr j} {
    set departure [$move value]
}
proc finish {} {
    global ns f v0 p0 a0 j0 namtrace
    $ns flush-trace
    close $f
    close $v0
    close $p0
    close $a0
    close $j0
    close $namtrace
    puts " Simulation ended."
    exec nam mpls.nam &
    exit 0
}
set v0 [open multi-interface_vazao.tr w]
set p0 [open multi-interface_perda.tr w]
set a0 [open multi-interface_atraso.tr w]
set j0 [open multi-interface_jitter.tr w]
set holdtime 0
set holdseq 0
set atraso 0
set jitter 0
proc record {} {

```

```

global null0 v0 p0 a0 j0 holdtime holdseq atraso jitter handover

set ns [Simulator instance]

set time 0.5

set bw0 [$null0 set bytes_]

set gw0 [$null0 set nlost_]
set aw0 [$null0 set lastPktTime_]

set cw0 [$null0 set npkts_]
set now [$ns now]

puts $v0 "$now [expr $bw0/$time*8/1000000]"

puts $p0 "$now [expr $gw0/$time]"
if { $cw0 > $holdseq } {
    puts $a0 "$now [expr ($aw0 - $holdtime)/($cw0 - $holdseq)]"
    set atraso [expr ($aw0 - $holdtime)/($cw0 - $holdseq)]
    puts $j0 "$now [expr $atraso - $jitter]"
} else {
    puts $a0 "$now [expr ($cw0 - $holdseq)]"
    set $atraso [expr ($cw0 - $holdseq)]
    puts $j0 "$now [expr $atraso - $jitter]"
}
}
$handover set vazao [expr $bw0/$time*8/1000000]
$null0 set bytes_ 0
$null0 set nlost_ 0
set holdtime $aw0
set holdseq $cw0
set jitter $atraso
$ns at [expr $now+$time] "record"
}
Mac/802_11 set pr_limit_ 1.1 ;#1.0 for link down only
Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/Handover2 set shutdown_on_ack_ 0
set ns [new Simulator]
set f [open trace_all.tr w]
$ns trace-all $f
$ns node-config -addressType hierarchical
AddrParams set domain_num_ 18 ;
AddrParams set cluster_num_ {1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1} ;
AddrParams set nodes_num_ {1 1 1 1 1 1 1 1 5 5 1 1 1 1 1 1} ;
set router0 [$ns node 0.0.0]; $router0 set X_ 550.0; $router0 set Y_ 450.0; $router0 set Z_ 0.0 ;
$ns at 0.0 " $router0 label INTERNET "
$ns at 0.0 " $router0 add-mark n1 blue hexagon "
puts "router0: tcl=$router0; id=[$router0 id]; addr=[$router0 node-addr]"

```

```

set router1 [$ns node 1.0.0]; $router1 set X_ 500.0; $router1 set Y_ 400.0; $router1 set Z_ 0.0 ;
$ns at 0.0 " $router1 label Roteador_Borda "
$ns at 0.0 " $router1 add-mark n1 red circle "
puts "router1: tcl=$router1; id=[$router1 id]; addr=[$router1 node-addr]"

$ns duplex-link $router0 $router1 1500Mb 40ms DropTail
$ns node-config -multiIf ON ;
set multiFaceNode [$ns node 14.0.0] ;
puts "multiFaceNode: tcl=$multiFaceNode; id=[$multiFaceNode id];
addr=[$multiFaceNode node-addr]"
$ns node-config -multiIf OFF
set opt(chan) Channel/WirelessChannel ;
set opt(prop) Propagation/TwoRayGround ;
set opt(netif) Phy/WirelessPhy ;
set opt(mac) Mac/802_11 ;
set opt(ifq) Queue/DropTail/PriQueue ;
set opt(ll) LL ;
set opt(ant) Antenna/OmniAntenna ;
set opt(ifqlen) 50 ;
set opt(adhocRouting) DSDV ;
set opt(umtsRouting) "" ;
set opt(energymodel) EnergyModel ;
set opt(initialenergy) 1000 ;
set opt(x) 2000 ;
set opt(y) 2000 ;
set namtrace [open mpls.nam w]
$ns namtrace-all-wireless $namtrace $opt(x) $opt(y)
Mac/802_11 set basicRate_ 54.0Mb
Mac/802_11 set dataRate_ 54.0Mb
Mac/802_11 set bandwidth_ 54.0Mb
set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid $opt(x) $opt(y)
set chan [new $opt(chan)]
create-god 20 ;
Phy/WirelessPhy set Pt_ 0.0134
Phy/WirelessPhy set freq_ 2412e+6
Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 5.25089e-10
Phy/WirelessPhy set CStresh_ [expr 0.9*[Phy/WirelessPhy set RXThresh_]]
$ns node-config -adhocRouting $opt(adhocRouting) \
                -llType $opt(ll) \
                -macType $opt(mac) \
                -channel $chan \
                -ifqType $opt(ifq) \
                -ifqLen $opt(ifqlen) \
                -antType $opt(ant) \
                -propType $opt(prop) \
                -phyType $opt(netif) \

```

```

        -topoInstance $topo \
        -wiredRouting ON \
        -agentTrace ON \
        -routerTrace OFF \
        -macTrace ON \
        -movementTrace OFF \
        -energyModel $opt(energymodel) \
        -idlePower 1.0 \
        -rxPower 1.0 \
        -txPower 2.0 \
        -sleepPower 0.001 \
        -transitionPower 0.2 \
        -transitionTime 0.005 \
        -initialEnergy $opt(initialenergy)
set bstation802 [$ns node 3.0.0] ;
$bstation802 set X_ 550.0
$bstation802 set Y_ 350.0
$bstation802 set Z_ 0.0
puts "bstation802: tcl=$bstation802; id=[$bstation802 id]; addr=[$bstation802 node-addr]"
$ns at 0.0 " $bstation802 label WIFI "
$ns at 0.0 " $bstation802 add-mark n1 purple circle "
set bstationMac [$bstation802 getMac 0]
set AP_ADDR_0 [$bstationMac id]
puts "bss_id for bstation 1=$AP_ADDR_0"
$bstationMac bss_id $AP_ADDR_0
$bstationMac enable-beacon
$ns node-config -wiredRouting OFF \
                -macTrace ON

set iface1 [$ns node 3.0.1] ;
$iface1 random-motion 0 ;
$iface1 base-station [AddrParams addr2id [$bstation802 node-addr]] ;
$iface1 set X_ 400.0
$iface1 set Y_ 335.0
$iface1 set Z_ 0.0
$ns at 5.0 " $iface1 label Motorola "
$ns at 5.0 " $iface1 add-mark n1 yellow square "
$ns at 5.0 "$iface1 setdest 500.0 335.0 10.0"
$ns at 40.0 "$iface1 setdest 570.0 335.0 10.0"
$ns at 80.0 "$iface1 setdest 620.0 335.0 10.0"
#$ns at 50.0 "$iface1 setdest 470.0 330.0 30.0"
puts "iface1: tcl=$iface1; id=[$iface1 id]; addr=[$iface1 node-addr]"
$ns duplex-link $bstation802 $router1 1500Mb 40ms DropTail
set opt(netif)      Phy/WirelessPhy/OFDM ;
set opt(mac)        Mac/802_16 ;

Phy/WirelessPhy set Pt_ 0.025
Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 2.025e-12;#7.91016e-15 ;#500m:2.025e-12

```

```

Phy/WirelessPhy set CStresh_ [expr 0.8*[Phy/WirelessPhy set RXThresh_]]
$ns node-config -adhocRouting $opt(adhocRouting) \
    -llType $opt(ll) \
    -macType $opt(mac) \
    -channel $chan \
    -ifqType $opt(ifq) \
    -ifqLen $opt(ifqlen) \
    -antType $opt(ant) \
    -propType $opt(prop) \
    -phyType $opt(netif) \
    -topoInstance $topo \
    -wiredRouting ON \
    -agentTrace ON \
    -routerTrace ON \
    -macTrace ON \
    -movementTrace OFF \
    -energyModel $opt(energymodel) \
    -idlePower 1.0 \
    -rxPower 1.0 \
    -txPower 1.0 \
    -sleepPower 0.001 \
    -transitionPower 0.2 \
    -transitionTime 0.005 \
    -initialEnergy $opt(initialenergy)
set bstation802_16 [$ns node 2.0.0] ;
$bstation802_16 set X_ 450
$bstation802_16 set Y_ 350
$bstation802_16 set Z_ 0.0
puts "bstation802_16: tcl=$bstation802_16; id=[$bstation802_16 id]; addr=[$bstation802_16 node-addr]"
$ns at 0.0 " $bstation802_16 label 4G "
$ns at 0.0 " $bstation802_16 add-mark n1 green circle "
set clas [new SDUClassifier/Dest]
[$bstation802_16 set mac_(0)] add-classifier $clas
set bs_sched [new WimaxScheduler/BS]
$bs_sched set-default-modulation $default_modulation
[$bstation802_16 set mac_(0)] set-scheduler $bs_sched
[$bstation802_16 set mac_(0)] set-channel 1
$ns node-config -wiredRouting OFF \
    -macTrace ON
set iface2 [$ns node 2.0.1] ;
$iface2 random-motion 0 ;
$iface2 base-station [AddrParams addr2id [$bstation802_16 node-addr]] ;
$iface2 set X_ 400.0
$iface2 set Y_ 335.0
$iface2 set Z_ 0.0
set clas2 [new SDUClassifier/Dest]
[$iface2 set mac_(0)] add-classifier $clas2

```

```
set ss_sched [new WimaxScheduler/SS]
[$iface2 set mac_(0)] set-scheduler $ss_sched
[$iface2 set mac_(0)] set-channel 1
$ns at 5.0 "$iface2 setdest 500.0 335.0 10.0"
$ns at 40.0 "$iface2 setdest 570.0 335.0 10.0"
$ns at 80.0 "$iface2 setdest 620.0 335.0 10.0"
puts "iface2: tcl=$iface2; id=[$iface2 id]; addr=[$iface2 node-addr]"
$ns duplex-link $bstation802_16 $router1 1500Mb 40ms DropTail
$ns duplex-link-op $router0 $router1 orient down
$ns duplex-link-op $router1 $bstation802_16 orient left-down
$ns duplex-link-op $router1 $bstation802 orient right-down
$multiFaceNode add-interface-node $iface1
$multiFaceNode add-interface-node $iface2
set nd_bs [$bstation802 install-nd]
$nd_bs set-router TRUE
$nd_bs router-lifetime 1800
set nd_mn [$iface1 install-nd]
set nd_bs2 [$bstation802_16 install-nd]
$nd_bs2 set-router TRUE
$nd_bs2 router-lifetime 20 ;
set nd_mn2 [$iface2 install-nd]
Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/Handover2 set debug_ 1
set handover [new Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/Handover2]
$multiFaceNode install-ifmanager $handover
$nd_mn set-ifmanager $handover
$handover nd_mac $nd_mn [$iface1 set mac_(0)] ;
$nd_mn2 set-ifmanager $handover
$handover nd_mac $nd_mn2 [$iface2 set mac_(0)] ;
$handover set classe 3
set ifmgmt_cn [$router0 install-default-ifmanager]
set mih [$multiFaceNode install-mih]
$handover connect-mih $mih ;
set mih_bs [$bstation802 install-mih]
set tmp_bs [$bstation802 set mac_(0)]
$tmp_bs mih $mih_bs
$mih_bs add-mac $tmp_bs
set mih_bs [$bstation802_16 install-mih]
set tmp_bs [$bstation802_16 set mac_(0)]
$tmp_bs mih $mih_bs
$mih_bs add-mac $tmp_bs
set tmp20 [$iface1 set mac_(0)] ;
$tmp20 mih $mih
$mih add-mac $tmp20 ;
set tmp20 [$iface2 set mac_(0)] ;
$tmp20 mih $mih
$mih add-mac $tmp20 ;
$ns at 5 "$nd_bs start-ra"
```

```
$ns at 5 "$nd_bs2 start-ra"
set nb_UGS 1
for {set j 1} {$j < [expr $nb_UGS + 1]} {incr j} {
set udp_ugs($j) [new Agent/UDP]
$udp_ugs($j) set packetSize_ 1024
$ns attach-agent $router0 $udp_ugs($j)
set cbr_ugs($j) [new Application/Traffic/CBR]
    $cbr_ugs($j) set packetSize_ 1024 ;
    $cbr_ugs($j) set rate_ 2.0Mb
    $cbr_ugs($j) attach-agent $udp_ugs($j)
set null0 [new Agent/LossMonitor]
$ns attach-agent $multiFaceNode $null0
$ns connect $udp_ugs($j) $null0
$udp_ugs($j) set fid_ 1
$handover add-flow $null0 $udp_ugs($j) $iface2 1
$ns at 5.0 "$cbr_ugs($j) start"
}
$ns at 2.0 "record"
$ns at 120.0 "finish"
$ns run
```

APÊNDICE B – SCRIPT BASE DE SIMULAÇÃO DO DISPOSITIVO COM DUAL-INTERFACE

```

set max_fragmented_size 1024

set packetSize 1052

global ns

Agent/ND set debug_ 1
Agent/MIH set debug_ 1
Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6 set debug_ 1
Mac/802_16 set debug_ 1
Mac/802_11 set debug_ 1
Mac/802_16 set dcd_interval_      5 ;
Mac/802_16 set ucd_interval_      5 ;
set default_modulation            OFDM_16QAM_3_4 ;
set contention_size                5 ;
Mac/802_16 set t21_timeout_       0.02 ;
Mac/802_16 set client_timeout_    50

proc finish {} {
    global ns f v0 p0 a0 j0 namtrace
    $ns flush-trace
    close $f
    close $v0
    close $p0
    close $a0
    close $j0
    close $namtrace
    puts " Simulation ended."
    exec nam mpls.nam &
    exit 0
}

set v0 [open dual-interface_vazao.tr w]

set p0 [open dual-interface_perda.tr w]

set a0 [open dual-interface_atraso.tr w]

set j0 [open dual-interface_jitter.tr w]

set holdtime 0

set holdseq 0

```

```
set atraso 0

set jitter 0

proc record {} {
    global sink0 sink1 v0 p0 a0 j0 holdtime holdseq atraso jitter

    set ns [Simulator instance]

    set time 0.5

    set fg1 [$sink0 set bytes_]
    set fg2 [$sink1 set bytes_]
    set bw0 [expr $fg1 + $fg2]

    set fg3 [$sink0 set nlost_]
    set fg4 [$sink1 set nlost_]
    set gw0 [expr $fg3 + $fg4]

    set fg5 [$sink0 set lastPktTime_]
    set fg6 [$sink1 set lastPktTime_]
    set aw0 [expr $fg5 + $fg6]

    set fg7 [$sink0 set npkts_]
    set fg8 [$sink1 set npkts_]
    set cw0 [expr $fg7 + $fg8]

    set now [$ns now]

    puts $v0 "$now [expr $bw0/$time*8/1000000]"

    puts $p0 "$now [expr $gw0/$time]"

    if { $cw0 > $holdseq } {
        puts $a0 "$now [expr ($aw0 - $holdtime)/($cw0 - $holdseq)]"
        set atraso [expr ($aw0 - $holdtime)/($cw0 - $holdseq)]
        puts $j0 "$now [expr $atraso - $jitter]"
    } else {
        puts $a0 "$now [expr ($cw0 - $holdseq)]"
        set $atraso [expr ($cw0 - $holdseq)]
        puts $j0 "$now [expr $atraso - $jitter]"
    }

    $sink0 set bytes_ 0
    $sink1 set bytes_ 0
}
```

```

    $sink0 set nlost_ 0
    $sink1 set nlost_ 0

    set holdtime $aw0
    set holdseq $cw0
    set jitter $atraso

    $ns at [expr $now+$time] "record"
}

Mac/802_11 set pr_limit_ 1.1 ;#1.0 for link down only
Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/Handover2 set shutdown_on_ack_ 0

set ns [new Simulator]

set f [open trace_all.tr w]
$ns trace-all $f

$ns node-config -addressType hierarchical

AddrParams set domain_num_ 18 ;
AddrParams set cluster_num_ {1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1} ;
AddrParams set nodes_num_ {1 1 1 1 1 1 1 1 1 5 5 1 1 1 1 1 1} ;

set router0 [$ns node 0.0.0]; $router0 set X_ 550.0; $router0 set Y_ 450.0; $router0 set Z_ 0.0 ;
$ns at 0.0 " $router0 label INTERNET "
$ns at 0.0 " $router0 add-mark n1 blue hexagon "
puts "router0: tcl=$router0; id=[$router0 id]; addr=[$router0 node-addr]"

set router1 [$ns node 1.0.0]; $router1 set X_ 500.0; $router1 set Y_ 400.0; $router1 set Z_ 0.0 ;

$ns at 0.0 " $router1 label Roteador_Borda "
$ns at 0.0 " $router1 add-mark n1 red circle "
puts "router1: tcl=$router1; id=[$router1 id]; addr=[$router1 node-addr]"

$ns duplex-link $router0 $router1 1500Mb 40ms DropTail

set opt(chan) Channel/WirelessChannel ;
set opt(prop) Propagation/TwoRayGround ;
set opt(netif) Phy/WirelessPhy ;
set opt(mac) Mac/802_11 ;
set opt(ifq) Queue/DropTail/PriQueue ;
set opt(ll) LL ;
set opt(ant) Antenna/OmniAntenna ;
set opt(ifqlen) 50 ;
set opt(adhocRouting) DSDV ;
set opt(umtsRouting) "" ;

```

```
set opt(energymodel) EnergyModel ;
set opt(initialenergy) 1000 ;

set opt(x) 2000 ;
set opt(y) 2000 ;

set namtrace [open mpls.nam w]
$ns namtrace-all-wireless $namtrace $opt(x) $opt(y)

Mac/802_11 set basicRate_ 54.0Mb
Mac/802_11 set dataRate_ 54.0Mb
Mac/802_11 set bandwidth_ 54.0Mb

set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid $opt(x) $opt(y)

set chan [new $opt(chan)]

create-god 20 ;

Phy/WirelessPhy set Pt_ 0.0134
Phy/WirelessPhy set freq_ 2412e+6
Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 5.25089e-10
Phy/WirelessPhy set CStresh_ [expr 0.9*[Phy/WirelessPhy set RXThresh_]]

$ns node-config -adhocRouting $opt(adhocRouting) \
                -llType $opt(ll) \
                -macType $opt(mac) \
                -channel $chan \
                -ifqType $opt(ifq) \
                -ifqLen $opt(ifqlen) \
                -antType $opt(ant) \
                -propType $opt(prop) \
                -phyType $opt(netif) \
                -topoInstance $topo \
                -wiredRouting ON \
                -agentTrace ON \
                -routerTrace OFF \
                -macTrace ON \
                -movementTrace OFF \
                -energyModel $opt(energymodel) \
                -idlePower 1.0 \
                -rxPower 1.0 \
                -txPower 2.0 \
                -sleepPower 0.001 \
                -transitionPower 0.2 \
                -transitionTime 0.005 \
```

```

        -initialEnergy $opt(initialenergy)

set bstation802 [$ns node 3.0.0] ;
$bstation802 set X_ 550.0
$bstation802 set Y_ 350.0
$bstation802 set Z_ 0.0
puts "bstation802: tcl=$bstation802; id=[$bstation802 id]; addr=[$bstation802 node-addr]"
$ns at 0.0 " $bstation802 label WIFI "
$ns at 0.0 " $bstation802 add-mark n1 purple circle "
set bstationMac [$bstation802 getMac 0]
set AP_ADDR_0 [$bstationMac id]
puts "bss_id for bstation 1=$AP_ADDR_0"
$bstationMac bss_id $AP_ADDR_0
$bstationMac enable-beacon

$ns node-config -wiredRouting OFF \
                -macTrace ON

set iface1 [$ns node 3.0.1] ;
$iface1 random-motion 0 ;
$iface1 base-station [AddrParams addr2id [$bstation802 node-addr]] ;
$iface1 set X_ 500.0
$iface1 set Y_ 335.0
$iface1 set Z_ 0.0

$ns at 5.0 " $iface1 label Motorola "
$ns at 5.0 " $iface1 add-mark n1 yellow square "
$ns at 5.0 "$iface1 setdest 570.0 335.0 10.0"
puts "iface1: tcl=$iface1; id=[$iface1 id]; addr=[$iface1 node-addr]"

$ns duplex-link $bstation802 $router1 1500Mb 40ms DropTail

set opt(netif)      Phy/WirelessPhy/OFDM      ;
set opt(mac)        Mac/802_16                ;

Phy/WirelessPhy set Pt_ 0.025
Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 2.025e-12;#7.91016e-15 ;
Phy/WirelessPhy set CStresh_ [expr 0.8*[Phy/WirelessPhy set RXThresh_]]

$ns node-config -adhocRouting $opt(adhocRouting) \
                -llType $opt(ll) \
                -macType $opt(mac) \
                -channel $chan \
                -ifqType $opt(ifq) \
                -ifqLen $opt(ifqlen) \
                -antType $opt(ant) \
                -propType $opt(prop) \

```

```

        -phyType $opt(netif) \
        -topoInstance $topo \
        -wiredRouting ON \
        -agentTrace ON \
        -routerTrace ON \
        -macTrace ON \
        -movementTrace OFF \
        -energyModel $opt(energymodel) \
        -idlePower 1.0 \
        -rxPower 1.0 \
        -txPower 1.0 \
        -sleepPower 0.001 \
        -transitionPower 0.2 \
        -transitionTime 0.005 \
        -initialEnergy $opt(initialenergy)

set bstation802_16 [$ns node 2.0.0] ;
$bstation802_16 set X_ 450
$bstation802_16 set Y_ 350
$bstation802_16 set Z_ 0.0
puts "bstation802_16: tcl=$bstation802_16; id=[$bstation802_16 id]; addr=[$bstation802_16 node-addr]"
$ns at 0.0 " $bstation802_16 label 4G "
$ns at 0.0 " $bstation802_16 add-mark n1 green circle "
set clas [new SDUClassifier/Dest]
[$bstation802_16 set mac_(0)] add-classifier $clas
set bs_sched [new WimaxScheduler/BS]
$bs_sched set-default-modulation $default_modulation
[$bstation802_16 set mac_(0)] set-scheduler $bs_sched
[$bstation802_16 set mac_(0)] set-channel 1

$ns node-config -wiredRouting OFF \
                -macTrace ON

set iface2 [$ns node 2.0.1] ;
$iface2 random-motion 0 ;
$iface2 base-station [AddrParams addr2id [$bstation802_16 node-addr]] ;
$iface2 set X_ 500.0
$iface2 set Y_ 335.0
$iface2 set Z_ 0.0
set clas2 [new SDUClassifier/Dest]
[$iface2 set mac_(0)] add-classifier $clas2
set ss_sched [new WimaxScheduler/SS]
[$iface2 set mac_(0)] set-scheduler $ss_sched
[$iface2 set mac_(0)] set-channel 1
$ns at 5.0 "$iface2 setdest 570.0 335.0 10.0"
puts "iface2: tcl=$iface2; id=[$iface2 id]; addr=[$iface2 node-addr]"

```

```
$ns duplex-link $bstation802_16 $router1 1500Mb 40ms DropTail

$ns duplex-link-op $router0 $router1 orient down

$ns duplex-link-op $router1 $bstation802_16 orient left-down
$ns duplex-link-op $router1 $bstation802 orient right-down

set nd_bs [$bstation802 install-nd]
$nd_bs set-router TRUE
$nd_bs router-lifetime 20

set nd_mn [$iface1 install-nd]

set nd_bs2 [$bstation802_16 install-nd]
$nd_bs2 set-router TRUE
$nd_bs2 router-lifetime 20 ;#just enough to expire while we are connected to wlan.

set nd_mn2 [$iface2 install-nd]

set ifmgmt_cn [$router0 install-default-ifmanager]

$ns at 5 "$nd_bs start-ra"
$ns at 5 "$nd_bs2 start-ra"

set udp_ugs(1) [new Agent/UDP]
$udp_ugs(1) set packetSize_ 1024
$ns attach-agent $router0 $udp_ugs(1)

set cbr_ugs(1) [new Application/Traffic/CBR]

    $cbr_ugs(1) set packetSize_ 1024 ;#600x8/0.005=960k
    $cbr_ugs(1) set rate_ 2.0Mb
    $cbr_ugs(1) attach-agent $udp_ugs(1)

set sink0 [new Agent/LossMonitor]
$ns attach-agent $iface1 $sink0

$ns connect $udp_ugs(1) $sink0
$udp_ugs(1) set fid_ 1

$ns at 5.0 "$cbr_ugs(1) start"

set udp(2) [new Agent/UDP]
$udp(2) set packetSize_ 1024
$ns attach-agent $router0 $udp(2)

set cbr(2) [new Application/Traffic/CBR]
```

```
$cbr(2) set packetSize_ 1024 ;
$cbr(2) set rate_ 2.0Mb
$cbr(2) attach-agent $udp(2)

set sink1 [new Agent/LossMonitor]
$ns attach-agent $iface2 $sink1

$ns connect $udp(2) $sink1
$udp(2) set fid_ 2

$ns at 5.0 "$cbr(2) start"

$ns at 2.0 "record"

$ns at 120.0 "finish"

$ns run
```