

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**AVALIAÇÃO DE REDES DE PRÓXIMA GERAÇÃO PARA
SERVIÇOS IPTV COM BASE EM IMS E WiMAX: UM ESTUDO DE
CASO**

MARCOS PAULO CAROZZA

Orientador: PAULO ROBERTO DE LIRA GONDIM

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PUBLICAÇÃO: PPGENE.DM - 457/2011

BRASÍLIA/DF: SETEMBRO - 2011

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

AVALIAÇÃO DE REDES DE PRÓXIMA GERAÇÃO PARA
SERVIÇOS IPTV COM BASE EM IMS E WiMAX: UM ESTUDO DE
CASO

MARCOS PAULO CAROZZA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:

Paulo Roberto de Lira Gondim, Dr., ENE/UNB
(Orientador)

André Noll Barreto, Dr., ENE/UNB
(Examinador Interno)

Joel José Puga Coelho Rodrigues, Ph.D., DI/UBI
(Examinador Externo)

BRASÍLIA/DF, 27 DE SETEMBRO DE 2011

FICHA CATALOGRÁFICA

CAROZZA, MARCOS PAULO

Avaliação de Redes de Próxima Geração para Serviços IPTV com Base em IMS e WiMAX: Um Estudo de Caso [Distrito Federal] 2011.

xx, 123p., 210 x 297 mm (ENE/FT/UnB, Mestre, Engenharia Elétrica, 2011).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica.

1. *IP Multimedia Subsystem (IMS)*

2. IPTV

3. WiMAX

4. Simulação

5. Qualidade de serviço (QoS)

6. OPNET[®] *Modeler*

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Carozza, M. P. (2011). Avaliação de Redes de Próxima Geração para Serviços IPTV com Base em IMS e WiMAX: Um Estudo de Caso. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE.DM - 457/2011, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 123p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Marcos Paulo Carozza

TÍTULO: Avaliação de Redes de Próxima Geração para Serviços IPTV com Base em IMS e WiMAX: Um Estudo de Caso.

GRAU/ANO: Mestre/2011

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Marcos Paulo Carozza
SQS 402, Bloco Q, Apto. 307
CEP 70236-170 – Brasília – DF – Brasil.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que me incentivaram nos momentos mais difíceis e sempre me motivaram e ajudaram de todas as formas em minha educação e formação.

À minha esposa Katia, pelo amor, apoio e compreensão pelos momentos que estive ausente para a elaboração deste trabalho.

Ao meu orientador, professor Dr. Paulo Roberto de Lira Gondim, pela paciência, atenção, orientação dedicada e conhecimento transmitido durante esses anos.

A todos meus professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, da Faculdade de Tecnologia, da Universidade de Brasília, por proporcionarem a formação necessária para a elaboração desta dissertação.

Aos colegas da Superintendência de Serviços de Comunicação de Massa (SCM), da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), em especial ao Sr. Marconi Thomaz de Souza Maya, a Sra. Maria Lúcia Ricci Bardi e a Sra. Ângela Beatriz Cardoso de Oliveira Catarcione, pelo apoio e incentivo para a conclusão deste trabalho.

A Deus.

RESUMO

AVALIAÇÃO DE REDES DE PRÓXIMA GERAÇÃO PARA SERVIÇOS IPTV COM BASE EM IMS E WiMAX: UM ESTUDO DE CASO

Autor: Marcos Paulo Carozza

Orientador: Paulo Roberto de Lira Gondim

Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

Brasília, Setembro de 2011.

O IPTV (*Internet Protocol Television*) é uma tecnologia que vem sendo desenvolvida nos últimos anos e está ganhando reconhecimento no cenário mundial como uma alternativa viável à oferta de conteúdos audiovisuais pelas prestadoras de serviços de telecomunicações.

A arquitetura IMS (*IP Multimedia Subsystem*) é uma estrutura desenvolvida para a distribuição de serviços multimídias baseados no protocolo IP e o elemento chave para a convergência fixo-móvel das redes de próxima geração.

Além disso, o WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) é uma das principais tecnologias de redes sem fios que fornecem acesso em banda larga, tanto para terminais fixos como para terminais móveis, em uma ampla área geográfica.

Esta dissertação busca avaliar as possibilidades e limitações relativas à prestação de serviços IPTV baseados na integração da arquitetura IMS com a rede de acesso sem fio em banda larga WiMAX. Para esse fim, é considerada uma arquitetura de integração e utilizada a ferramenta de simulação OPNET[®] *Modeler*, permitindo avaliar aspectos de qualidade de serviço (QoS, *Quality of Service*) como atraso, perda de pacotes, *jitter* e vazão (*throughput*).

Os resultados obtidos em nossas simulações são comparados com a Recomendação ITU-T Y.1541, da União Internacional de Telecomunicações, que trata das métricas objetivas de rede para os serviços baseados no protocolo IP.

Desta forma, o trabalho procura contribuir com a análise de fatores que motivarão a adoção, ou não, das redes de acesso WiMAX para a prestação de serviços IPTV baseados em arquiteturas IMS.

ABSTRACT

EVALUATION OF NEXT GENERATION NETWORKS TO IPTV SERVICES BASED ON IMS AND WiMAX: A CASE STUDY

Author: Marcos Paulo Carozza

Supervisor: Paulo Roberto de Lira Gondim

Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

Brasília, Setembro de 2011.

IPTV (Internet Protocol Television) is a technology that has been developed over the last years and is gaining recognition worldwide as a viable alternative to offer audiovisual contents by telecommunications operators.

IMS (IP Multimedia Subsystem) architecture is a framework developed to deliver IP-based multimedia services and the key to fixed-mobile convergence of next generation networks.

Moreover, WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) is one of the main wireless access networks technologies that provide broadband access to both fixed and mobile terminals in a wide geographic area.

This work aims to evaluate possibilities and limitations related to IPTV services based on the integration between IMS architecture and WiMAX wireless broadband access network. To this end, an integration architecture is considered and the OPNET[®] Modeler simulation tool is used, allowing to evaluate aspects of quality of service (QoS) such as delay, packet loss, jitter and throughput.

The results obtained in our simulations are compared with the Recommendation ITU-T Y.1541 of International Telecommunication Union, which addresses the network performance objectives for IP-based services.

Thus, the work aims to contribute to the analysis of factors that will motivate or not the adoption of WiMAX access network technology to support IPTV services based on IMS architectures.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 – MOTIVAÇÃO	1
1.2 – OBJETIVOS	2
1.2.1 – Objetivo geral	2
1.2.2 – Objetivos específicos	2
1.3 – METODOLOGIA	3
1.4 – ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	3
2 – IP MULTIMEDIA SUBSYSTEM (IMS)	4
2.1 – INTRODUÇÃO	4
2.1.1 – Breve histórico	4
2.1.2 – Motivações para o desenvolvimento e emprego do IMS	4
2.2 – PROTOCOLOS	6
2.3 – ARQUITETURA IMS	7
2.3.1 – Os bancos de dados: HSS e SLF	8
2.3.2 – O CSCF	9
2.3.2.1 – O P-CSCF	9
2.3.2.2 – O I-CSCF	10
2.3.2.2 – O S-CSCF	10
2.3.3 – Os servidores de aplicações	11
2.3.4 – O MRF	12
2.3.5 – O BGCF	13
2.3.6 – O <i>gateway</i> PSTN/CS	13
2.4 – INTERFACES DO IMS	15
2.4.1 – Interface Gm	15
2.4.2 – Interface Mw	16
2.4.3 – Interface de controle de serviços IMS (ISC, <i>IMS Service Control</i>)	17
2.4.4 – Interface Cx	17
2.4.5 – Interface Dx	17
2.4.6 – Interface Sh	17
2.4.7 – Interface Si	17
2.4.8 – Interface Dh	17
2.4.9 – Interface Mm	18
2.4.10 – Interface Mg	18
2.4.11 – Interface Mi	18
2.4.12 – Interface Mj	18
2.4.13 – Interface Mk	18
2.4.14 – Interface Ut	19
2.4.15 – Interface Mr	19
2.4.16 – Interface Mp	19
2.4.17 – Interface Go	19
2.4.18 – Interface Gq	19
3 – SERVIÇOS IPTV SOBRE REDES BASEADAS NA ARQUITETURA IMS	20
3.1 – INTRODUÇÃO	20
3.2 – EVOLUÇÃO DOS SERVIÇOS IPTV EM DIREÇÃO ÀS ARQUITETURAS BASEADAS EM REDES DE PRÓXIMA GERAÇÃO COM NÚCLEO IMS	22

3.2.1 – Arquiteturas de serviços IPTV baseadas em redes NGN com núcleo IMS	24
3.3 – QUALIDADE DE SERVIÇO (QoS) DOS SERVIÇOS IPTV BASEADOS EM REDES NGN COM NÚCLEO IMS.....	28
3.3.1 – QoS em arquiteturas IMS.....	28
3.3.2 – QoS em Redes NGN	30
3.3.2.1 – Cenário 1.....	30
3.3.2.2 – Cenário 2.....	31
3.3.3 – QoS para os serviços IPTV baseados nas arquiteturas IMS	32
3.3.3.1 – Modo <i>pull</i>	32
3.3.3.2 – Modo <i>push</i>	33
3.3.4 – Qualidade de experiência (QoE) dos Serviços IPTV.....	34
4 – REDES DE ACESSO SEM FIOS WiMAX.....	35
4.1 – INTRODUÇÃO	35
4.2 – WiMAX	36
4.2.1 – Modelo de referência	37
4.2.2 – Camadas PHY e MAC	39
4.2.3 – Aspectos da interface aérea	40
4.2.3.1 – Múltiplo Acesso	40
4.2.3.2 – Alocação de espectro e canalização	42
4.2.3.3 – Duplexação	43
4.2.3.4 – Antenas avançadas	43
4.2.3.5 – Modulação e codificação	44
4.2.3.6 – Vazão.....	45
4.2.3.7 – Mobilidade.....	47
4.2.3.8 – Qualidade de Serviço (QoS).....	47
4.2.4 – Evolução para as tecnologias 4G.....	48
5 – INTEGRAÇÃO DAS REDES DE ACESSO WiMAX E A ARQUITETURA IMS.....	49
5.1 – INTRODUÇÃO	49
5.2 – INTEGRAÇÃO IMS-WiMAX	49
5.3 – QUALIDADE DE SERVIÇO (QoS)	52
6 – SIMULAÇÃO COM O OPNET® MODELER	54
6.1 – INTRODUÇÃO	54
6.2 – TRABALHOS RELACIONADOS	54
6.3 – AMBIENTE COMPUTACIONAL PARA SIMULAÇÃO.....	56
6.3.1 – <i>Softwares</i>	56
6.3.2 – Limitações do Modelo	57
6.3.3 – Topologia da Rede.....	57
6.3.3.1 – Mapeamento entre a Figura 5.1 e a Figura 6.2	57
6.3.3.2 – Aplicações	60
6.3.3.3 – Núcleo da rede de controle	63
6.3.3.4 – Rede de transporte.....	68
6.3.3.5 – Rede de acesso WiMAX (802.16e).....	68
6.3.4 – Mapeamento de QoS e pilha de protocolos.....	77

7 – RESULTADOS OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES	79
7.1 – INTRODUÇÃO	79
7.2 – CENÁRIO 1 (H.264 AVC – <i>SINGLE LAYER</i>).....	82
7.2.1 – Perda de Pacotes	82
7.2.2 – Atraso (<i>Delay</i>)	84
7.2.3 – <i>Jitter</i>	86
7.2.4 – Vazão	88
7.3 – CENÁRIO 2 (H.264 AVC – <i>SPATIAL SCALABLE - QCIF BASED LAYER</i>)	90
7.3.1 – Perda de Pacotes	91
7.3.2 – Atraso (<i>Delay</i>)	93
7.3.3 – <i>Jitter</i>	94
7.3.4 – Vazão	96
7.4 – CENÁRIO 3 (H.264 AVC – <i>SPATIAL SCALABLE - CIF ENHANCEMENT LAYER</i>).....	99
7.4.1 – Perda de Pacotes	99
7.4.2 – Atraso (<i>Delay</i>)	101
7.4.3 – <i>Jitter</i>	103
7.4.4 – Vazão	105
7.5 – COMPARAÇÕES ENTRE OS CENÁRIOS.....	107
7.5.1 – Perda de Pacotes	107
7.5.2 – Atraso (<i>Delay</i>)	109
7.5.3 – <i>Jitter</i>	110
7.5.4 – Vazão	111
7.6 – ESTIMATIVA DA MÉDIA DE USUÁRIOS SERVIDOS	113
8 – CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	116
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Convergência Fixo-Móvel baseada na arquitetura IMS	6
Figura 2.2 - Visão geral da arquitetura IMS.....	8
Figura 2.3 - Tipos de servidores de aplicação	12
Figura 2.4 - <i>Gateway</i> PSTN/CS fazendo a interface com uma rede comutada por circuitos	14
Figura 2.5 - Interfaces padronizadas da arquitetura IMS.....	15
Figura 3.1 - Domínio IPTV	20
Figura 3.2 - Arquiteturas IPTV.....	22
Figura 3.3 - Interface gráfica do usuário na plataforma FOKUS MIL, do Instituto Fraunhofer, da Alemanha, para os serviços IPTV baseados no IMS.....	23
Figura 3.4 - Arquitetura funcional do serviços IPTV	25
Figura 3.5 - Arquiteturas de serviços IPTV baseadas em redes NGN com núcleo IMS	27
Figura 3.6 - Negociação de QoS no IMS	30
Figura 3.7 - Modo <i>push</i> de QoS em redes NGN	31
Figura 3.8 - Modo <i>pull</i> de QoS em redes NGN.....	32
Figura 3.9 - Modo <i>pull</i> de QoS para os serviços IPTV baseados no IMS	33
Figura 3.10 - Modo <i>push</i> de QoS para os serviços IPTV baseados no IMS	34
Figura 4.1 - Evolução das tecnologias de redes de comunicação móvel	35
Figura 4.2 - Arquitetura WiMAX.....	37
Figura 4.3 - Modelo de referência de rede do WiMAX.....	38
Figura 4.4 - Camadas PHY e MAC do WiMAX.....	39
Figura 4.5 - Estrutura do símbolo OFDM com prefixo cíclico	42
Figura 4.6 - Modulação adaptativa utilizada pelo WiMAX.....	44
Figura 5.1 - Arquitetura de integração IMS-WiMAX	50
Figura 5.2 - Método fracamente acoplado para a integração WiMAX-3G.....	51
Figura 5.3 - Método fortemente acoplado para a integração WiMAX-3G	52
Figura 6.1 - Arquitetura para fluxos de vídeo em redes IEEE 802.16.....	55
Figura 6.2 - Topologia proposta à integração das redes de acesso WiMAX e o IMS para a prestação de serviços IPTV	59
Figura 6.3 - Configurações da aplicação IPTV	61
Figura 6.4 - Configurações da aplicação VoIP com supressão de silêncio.....	62

Figura 6.5 - Configurações da aplicação HTTP <i>Light</i>	62
Figura 6.6 - Configuração do perfil <i>Triple_Play_User</i>	63
Figura 6.7 - Novos atributos dos servidores <i>proxy SIP</i>	65
Figura 6.8 - Configurações do S-CSCF	66
Figura 6.9 - Configurações do P-CSCF	67
Figura 6.10 - Configurações do I-CSCF	67
Figura 6.11 - Configuração dos parâmetros de QoS na rede de transporte.....	68
Figura 6.12 - Definições das Classes de QoS na rede de acesso WiMAX	70
Figura 6.13 - Definições das características da interface aérea (PHY).....	70
Figura 6.14 - Definições da banda de frequência e da largura de banda	71
Figura 6.15 - Definições do método de permutação das subportadoras OFDM	71
Figura 6.16 - Definições do método de permutação das subportadoras OFDM no enlace direto (DL PUSC).....	71
Figura 6.17 - Definições dos parâmetros das estações rádio base.....	73
Figura 6.18 - Configuração dos parâmetros da técnica de modulação adaptativa no enlace direto	74
Figura 6.19 - Configuração dos parâmetros da técnica de modulação adaptativa no enlace reverso	74
Figura 6.20 - Configuração dos parâmetros das estações móveis	75
Figura 6.21 - Configuração dos fluxos de serviços no enlace direto.....	76
Figura 6.22 - Configuração dos fluxos de serviços no enlace reverso.....	76
Figura 6.23 - Pilha de protocolos dos serviços IPTV sobre as redes de acesso WiMAX....	78
Figura 7.1 - Perda de pacotes dos serviços IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX (MS_1 a MS_4), Cenário 1.....	83
Figura 7.2 - Perda de pacotes dos serviços IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX (MS_5 a MS_7), Cenário 1.....	83
Figura 7.3 - Média da perda de pacotes do serviço IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX, Cenário 1.....	84
Figura 7.4 - Atraso médio fim-a-fim do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 1	85
Figura 7.5 - Atraso médio fim-a-fim do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 1	85
Figura 7.6 - Variação do atraso dos pacotes do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 1	86
Figura 7.7 - Variação do atraso dos pacotes do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 1.	87
Figura 7.8 - Variação média do atraso dos pacotes do serviço IPTV, Cenário 1	87

Figura 7.9 - Vazão do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 1	88
Figura 7.10 - Vazão do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 1	89
Figura 7.11 - Vazão média do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 1	89
Figura 7.12 - Vazão média do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 1	90
Figura 7.13 - Perda de pacotes dos serviços IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX (MS_1 a MS_4), Cenário 2.....	91
Figura 7.14 - Perda de pacotes dos serviços IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX (MS_5 a MS_7) , Cenário 2.....	92
Figura 7.15 - Média da perda de pacotes do serviço IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX, Cenário 2.....	92
Figura 7.16 - Atraso médio fim-a-fim do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 2.....	93
Figura 7.17 - Atraso médio fim-a-fim do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 2.....	94
Figura 7.18 - Variação do atraso dos pacotes do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 2	95
Figura 7.19 - Variação do atraso dos pacotes do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 2	95
Figura 7.20 - Variação média do atraso dos pacotes do serviço IPTV, Cenário 2	96
Figura 7.21 - Vazão do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 2	97
Figura 7.22 - Vazão do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 2	97
Figura 7.23 - Vazão média do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 2	98
Figura 7.24 - Vazão média do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 2	98
Figura 7.25 - Perda de pacotes dos serviços IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX (MS_1 a MS_4), Cenário 3.....	100
Figura 7.26 - Perda de pacotes dos serviços IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX (MS_5 a MS_7), Cenário 3.....	100
Figura 7.27 - Média da perda de pacotes do serviço IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX, Cenário 3.....	101
Figura 7.28 - Atraso médio fim-a-fim do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 3.....	102
Figura 7.29 - Atraso médio fim-a-fim do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 3.....	102
Figura 7.30 - Variação do atraso dos pacotes do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 3	103
Figura 7.31 - Variação do atraso dos pacotes do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 3	104
Figura 7.32 - Variação média do atraso dos pacotes do serviço IPTV, Cenário 3	104

Figura 7.33 - Vazão do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 3	105
Figura 7.34 - Vazão do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 3	106
Figura 7.35 - Vazão média do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 3	106
Figura 7.36 - Vazão média do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 3	107
Figura 7.37 - Comparação da perda de pacotes dos serviços IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX, MS_1	108
Figura 7.38 - Comparação da média da perda de pacotes do serviço IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX, MS_1	108
Figura 7.39 - Comparação do atraso médio fim-a-fim do serviço IPTV, MS_1	109
Figura 7.40 - Comparação da variação do atraso dos pacotes do serviço IPTV, MS_1	110
Figura 7.41 - Comparação da variação média do atraso dos pacotes do serviço IPTV, MS_1	111
Figura 7.42 - Comparação da vazão do serviço IPTV, MS_1	112
Figura 7.43 - Comparação da vazão média do serviço IPTV, MS_1	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Parâmetros dos símbolos OFDM do padrão IEEE 802.16e.....	41
Tabela 4.2 - Faixas de frequências comumente utilizadas pelo WiMAX no mundo	43
Tabela 4.3 - Largura de banda e tamanho da FFT no padrão IEEE 802.16e	46
Tabela 4.4 - Classes de QoS do WiMAX.....	47
Tabela 5.1 - Parâmetros das frequências do padrão IEEE 802.16e.....	53
Tabela 6.1 - Características do modelo WiMAX implantado no OPNET® <i>Modeler</i>	69
Tabela 6.2 - Resumo dos parâmetros de configuração das redes de acesso WiMAX utilizados nos cenários de simulação	77
Tabela 6.3 - Mapeamento de QoS entre as camadas da topologia de integração IMS- WiMAX para a prestação de serviços convergentes	78
Tabela 7.1 - Parâmetros de QoS para os serviços IPTV	81
Tabela 7.2 - Parâmetros do <i>video trace</i> H.264 AVC – <i>Single Layer</i>	82
Tabela 7.3 - Parâmetros do <i>video trace</i> H.264/SVC <i>Spatial Scalable</i> (<i>QCIF Based Layer</i>)	90
Tabela 7.4 - Parâmetros do <i>video trace</i> H.264/SVC <i>Spatial Scalable</i> (<i>CIF Enhancement Layer</i>).....	99
Tabela 7.5 - Cálculo da vazão média de cada célula WiMAX.....	114
Tabela 7.6 - Definição dos pesos das aplicações do perfil <i>Triple_Play_User</i>	114
Tabela 7.7 - Média do número de usuários servidos por célula nos cenários simulados ..	115

LISTA DE ACRÔNIMOS E SIGLAS

2G	2 ^a Geração das redes móveis
3G	3 ^a Geração das redes móveis
3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
4G	4 ^a Geração das redes móveis
AAA	<i>Authentication, Authorization and Accounting</i>
AF	<i>Assured Forwarding</i>
Anatel	Agência Nacional de Telecomunicações
AS	<i>Application Server</i>
ASN	<i>Access Service Network</i>
ASN-GW	<i>ASN-Gateway</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
AVC	<i>Advanced Video Coding</i>
B2BUA	<i>Back-to-Back User Agent</i>
BE	<i>Best Effort</i>
BGCF	<i>Breakout Gateway Control Function</i>
BICC	<i>Bearer Independent Call Control</i>
BS	<i>Base Station</i>
BWA	<i>Broadband Wireless Access</i>
CAMEL	<i>Customized Applications for Mobile network Enhanced Logic</i>
CAP	<i>CAMEL Application Part</i>
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i>
CBR	<i>Constant Bit Rate</i>
CC	<i>Convolutional Code</i>
CDF	<i>Content Delivery Functions</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CIF	<i>Common Intermediate Format</i>
COPS	<i>Common Open Policy Service</i>
CS	<i>Convergence Sublayer</i>
CP	<i>Cyclic Prefix</i>
CPS	<i>Common Part Sublayer</i>
CSCF	<i>Call Session Control Function</i>

CSN	<i>Connectivity Service Network</i>
CTC	<i>Convolutional Turbo Code</i>
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>
DiffServ	<i>Differentiated Services</i>
DNS	<i>Domain Name System</i>
DSCP	<i>Differentiated Services Code Point</i>
DSCQS	<i>Double Stimulus Continuous Quality Scale</i>
DSIS	<i>Double Stimulus Impairment Scale</i>
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
DOCSIS	<i>Data Over Cable Service Interface Specification</i>
EF	<i>Expedited Forwarding</i>
EIRP	<i>Equivalent Isotropically Radiated Power</i>
EPG	<i>Electronic Program Guide</i>
ertPS	<i>Extended Real Time Polling Service</i>
FBFS	<i>Fast Base Station Switching</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplexing</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
FMC	<i>Fixed-Mobile Convergence</i>
FQDN	<i>Fully Qualified Domain Name</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
FTTx	<i>Fiber to the x [onde x = (H)ome, (B)uilding, (C)urb]</i>
FUSC	<i>Fully Used of Sub-Carrier</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
gsmSCF	<i>GSM Service Control Function</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
HCSN	<i>Home Connectivity Service Network</i>
HFC	<i>Hybrid Fiber-Coaxial</i>
HHO	<i>Hard Handover</i>
HSS	<i>Home Subscriber Server</i>
HSPA	<i>High Speed Packet Access</i>
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i>
I-CSCF	<i>Interrogating-CSCF</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>

IMS	<i>IP Multimedia Subsystem</i>
IM-SSF	<i>IP Multimedia Service Switching Function</i>
IMT-Advanced	<i>International Mobile Telecommunications Advanced</i>
IntServ	<i>Integrated Services</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPsec	<i>IP Security Protocol</i>
IPTV	<i>Internet Protocol Television</i>
IPTV FG	<i>IPTV Focus Group</i>
IPTV-GSI	<i>IPTV Global Standards Initiative</i>
IPv4	<i>Internet Protocol version 4</i>
IPv6	<i>Internet Protocol version 6</i>
ISC	<i>IMS Service Control</i>
ISI	<i>Intersymbol Interference</i>
ISP	<i>Internet Service Provider</i>
ISUP	<i>Integrated Services Digital Network User Part</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
ITU-T	<i>Standardization Sector of ITU</i>
LOS	<i>Line-of-Sight</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
MAP	<i>Mobile Application Part</i>
MDHO	<i>Macro Diversity Handover</i>
MGC	<i>Media Gateway Controller</i>
MGCF	<i>Media Gateway Controller Function</i>
MGW	<i>Media Gateway</i>
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
MMDS	<i>Serviço de Distribuição de Sinais Multiponto Multicanal</i>
MPDU	<i>MAC Protocol Data Unit</i>
MRF	<i>Media Resource Function</i>
MRFC	<i>Media Resource Function Controller</i>
MRFP	<i>Media Resource Function Processor</i>
MSDU	<i>MAC Service Data Unit</i>
MTP	<i>Message Transfer Part</i>
NACF	<i>Network Attachment Control Function</i>

NGN	<i>Next Generation Network</i>
NLOS	<i>Non-Line-of-Sight</i>
NRM	<i>Network Reference Model</i>
nrtPS	<i>Non Real Time Polling Service</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
OPEX	<i>Operational Expenditure</i>
OFUSC	<i>Optional FUSC</i>
OPUSC	<i>Optional PUSC</i>
OSA API	<i>Open Service Access Application Programming Interface</i>
OSA AS	<i>Open Service Access Application Server</i>
OSA-SCS	<i>Open Service Access - Service Capability Server</i>
PCM	<i>Pulse Code Modulation</i>
P-CSCF	<i>Proxy-CSCF</i>
PDF	<i>Policy Decision Function</i>
PDP	<i>Packet Data Protocol</i>
PDV	<i>Packet Delay Variation</i>
PHY	<i>Physical</i>
PLR	<i>Packet Loss Ratio</i>
PNBL	<i>Programa Nacional de Banda Larga</i>
PS	<i>Privacy Sublayer</i>
PSNR	<i>Peak Signal-to-Noise Ratio</i>
PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i>
PSTN/CS	<i>Public Switched Telephone Network/Circuit Switched</i>
PUSC	<i>Partially Used of Sub-Carrier</i>
QCIF	<i>Quarter CIF</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RACF	<i>Resource and Admission Control Function</i>
RADIUS	<i>Remote Authentication Dial In User Service</i>
RFC	<i>Request for Comments</i>
RSVP	<i>Reservation Protocol</i>
RTCP	<i>Real Time Control Protocol</i>
rtPS	<i>Real Time Polling Service</i>
RTSP	<i>Real Time Stream Protocol</i>
RTP	<i>Real Time Protocol</i>

SAMVIQ	<i>Subjective Assessment Method for Video Quality Evaluation</i>
SCF	<i>Service Control Functions</i>
SCAJ	<i>Stimulus Comparison Adjectival Categorical Judgment</i>
SCM	Serviço de Comunicação Multimédia
SCP	<i>Service and Content Protection</i>
S-CSCF	<i>Serving-CSCF</i>
SAP	<i>Service Application Point</i>
SAS	<i>Smart Antenna Systems</i>
SCTP	<i>Stream Control Transmission Protocol</i>
SDF	<i>Service Discovery Functions</i>
SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i>
SG	<i>Study Group</i>
SGW	<i>Signaling Gateway</i>
SIP	<i>Session Initiation Protocol</i>
SIP URI	<i>SIP Uniform Resource Identifier</i>
SMP	Serviço Móvel Pessoal
SLF	<i>Subscriber Location Function</i>
SOFDMA	<i>Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
SS	<i>Subscriber Station</i>
SSF	<i>Service Switching Function</i>
SVC	<i>Scalable Video Coding</i>
TDD	<i>Time Division Duplexing</i>
TISPAN	<i>Telecoms & Internet Converged Services & Protocols for Advanced Networks</i>
TUSC	<i>Tile Used of Sub-Carrier</i>
UAC	<i>User Agent Client</i>
UAS	<i>User Agent Server</i>
UE	<i>User Equipment</i>
UGS	<i>Unsolicited Grant Service</i>
UMB	<i>Ultra Mobile Wideband</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
UIT	União Internacional de Telecomunicações
UIT-R	Setor de Radiocomunicação da União Internacional de Telecomunicações

UIT-T	Setor de Normalização da União Internacional de Telecomunicações
VBR	<i>Variable Bit Rate</i>
VoD	<i>Video on Demand</i>
VoIP	<i>Voice over IP</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
WQF	<i>Weighted Fair Queuing</i>

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – MOTIVAÇÃO

A cada dia, os serviços baseados em redes de comunicação se tornam cada vez mais relevantes e de importância crucial para toda a sociedade, sendo amplamente aceito que a convergência das tecnologias de telecomunicações e das infraestruturas será centrada na *Internet*.

Como parte desse processo, observa-se que boa parte das prestadoras de telecomunicações e provedores de serviços e aplicações vem migrando e adaptando suas infraestruturas de rede visando à adoção do protocolo IP, caracterizando uma tendência conhecida como redes *All IP-based*. Esta tendência é impulsionada pela redução do CAPEX (custos com investimentos) e do OPEX (custos de manutenção), e poderá eliminar, ou pelo menos reduzir, a necessidade de se manter múltiplas plataformas de rede (por exemplo, ATM, *Frame Relay*, X.25 etc.), que atualmente coexistem para manter a grande variedade de serviços.

Assim, a evolução das redes móveis de comunicação, especialmente a partir das redes de 3ª Geração (3G), juntamente com a ampla disseminação da *Internet*, tem levado à fusão desses dois paradigmas relativamente recentes no mercado das telecomunicações. No âmbito desse processo de fusão, o *IP Multimedia Subsystem* (IMS) destaca-se como elemento chave na arquitetura das redes 3G para fornecer o acesso móvel ubíquo a todos os serviços que a *Internet* proporciona.

Por outro lado, dentre as tecnologias de redes de acesso em banda larga, destaca-se o WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), um sistema de rede de comunicações sem fios que provê acesso em uma grande área de cobertura, baseado no padrão IEEE 802.16, com subpadrões tais como o IEEE 802.16d (para aplicações fixas ou nomádicas) e o IEEE 802.16e (para aplicações móveis). Essa padronização se volta exclusivamente para aspectos relativos às camadas de enlace e física (incluindo o controle do acesso ao meio) e, embora defina uma subcamada de convergência para tecnologias de redes tais como IP e ATM, não assegura por si só o provimento dos serviços que a *Internet* comumente provê.

Dessa forma, a integração entre as tecnologias WiMAX e IMS merece ser investigada em termos de possibilidades e limitações. Para isto, foi escolhido um serviço

que vem sendo e será cada vez mais empregado pela população em geral, além de representar um desafio para as infraestruturas de redes, face aos requisitos de tempo real e às necessidades de banda associadas: o serviço IPTV (*Internet Protocol Television*), visto como uma das *killer applications* que as prestadoras de serviços de telecomunicações ofertarão sobre suas redes de acesso em banda larga.

1.2 – OBJETIVOS

1.2.1 – Objetivo geral

Avaliar a QoS de serviços IPTV providos por redes de próxima geração com base nas tecnologias IMS e WiMAX.

1.2.2 – Objetivos específicos

Um primeiro objetivo específico se volta para a apresentação das principais tecnologias aqui consideradas, como base para discussões posteriores.

Em seguida, o trabalho busca atender aos seguintes objetivos específicos:

- Definir uma possível arquitetura de integração considerando transmissões de vídeo sob demanda (*unicast*);
- Avaliar a adequabilidade das redes de acesso WiMAX no sentido de prover a qualidade de serviço mínima estabelecida pela UIT para a prestação dos serviços IPTV, delimitando as condições para a realização dessa avaliação;
- Avaliar diferentes alternativas em termos de técnicas de codificação de vídeo do padrão H.264, para a viabilização dos serviços IPTV baseados na integração IMS-WiMAX;
- Com base nessas alternativas e na existência de tráfego concorrente, estimar a quantidade de usuários que podem ser atendidos em cada célula da arquitetura considerada;
- Contribuir para a análise dos fatores de natureza tecnológica que poderão motivar as prestadoras de serviços de telecomunicações na escolha da tecnologia de acesso em banda larga para a prestação de serviços convergentes e interativos, bem como para a adoção de redes *All IP-based*.

1.3 – METODOLOGIA

Visando caracterizar um arcabouço conceitual, serão inicialmente apresentadas as tecnologias IMS, IPTV e WiMAX.

Tomando por base uma arquitetura de integração entre WiMAX e IMS, será utilizada simulação a eventos discretos como técnica de avaliação de desempenho de redes, com base na definição de um *testbed*, permitindo avaliar diferentes alternativas de provimento de serviços IPTV.

Serão considerados cenários de emprego dos serviços IPTV para a transmissão de vídeos comprimidos com base em variações do padrão de codificação H.264, inclusive as que tratam de escalabilidade de vídeo (como o H.264/SVC – *Scalable Video Coding*).

Serão consideradas aplicações do tipo VoIP e *web browsing* (HTTP), além da transmissão citada (*streaming* de vídeo). Será realizado mapeamento dessas aplicações nas classes de serviço adotadas no núcleo IMS, na rede de transporte e na rede de acesso (WiMAX), caracterizando uma abordagem de QoS fim-a-fim.

Para avaliação de aspectos de QoS, serão consideradas métricas (tais como, perda de pacotes, o atraso e a vazão) que permitam avaliar a adequação da infraestrutura de rede para o provimento de serviços IPTV.

A Recomendação ITU-T Y.1541 [40], da União Internacional de Telecomunicações, que estabelece métricas objetivas de rede para os serviços baseados no protocolo IP, terá seus valores utilizados como alvo para comparação com os resultados obtidos por simulação.

1.4 – ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O trabalho está estruturado da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta os principais conceitos da arquitetura IMS; o Capítulo 3 contextualiza os serviços IPTV baseados em redes de próxima geração com núcleo IMS; o Capítulo 4 introduz uma das principais tecnologias de redes de acesso sem fios em banda larga para a prestação de serviços de telecomunicações, o WiMAX; o Capítulo 5 contextualiza a integração entre as redes de acesso WiMAX e a arquitetura *IP Multimedia Subsystem*; o Capítulo 6 apresenta os conceitos e as configurações dos cenários de simulação propostos no trabalho, bem como

faz menção a outros trabalhos que estudaram o tema de distribuição de conteúdos multimídias sobre as redes de acesso WiMAX; o Capítulo 7 mostra os resultados obtidos nas simulações; e o Capítulo 8 apresenta as conclusões da dissertação e propõe trabalhos futuros.

2 – IP MULTIMEDIA SUBSYSTEM (IMS)

2.1 – INTRODUÇÃO

2.1.1 – Breve histórico

A título de um breve histórico, o IMS foi originalmente definido, em 1999, pelo Fórum “*Third Generation Internet Protocol Forum*”, responsável em promover os sistemas de comunicações móveis baseados no protocolo IP [1]. Posteriormente, a arquitetura IMS foi incorporada na padronização das redes UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), realizada pelo 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), a partir do *release 5*, como o subsistema dedicado ao controle e à prestação de serviços multimídias sobre redes comutadas por pacotes dentro da terceira geração das redes móveis [1] [3] [4].

2.1.2 – Motivações para o desenvolvimento e emprego do IMS

Com a evolução das redes de comunicação móvel e o início das operações das redes 3G, os usuários podem navegar na *web*, ler *e-mails*, baixar vídeos e fazer praticamente tudo o que podem fazer com qualquer outro tipo de conexão à *Internet*, tais como DSL (*Digital Subscriber Line*) ou DOCSIS (*Digital Over Cable Service Interface Specification*). Isto significa que qualquer usuário pode instalar um cliente VoIP (*Voice over Internet Protocol*) em seus terminais 3G e estabelecer chamadas sobre o domínio da comutação por pacotes.

Assim, por que precisamos do IMS, se todo o poder da *Internet* já está disponível aos usuários das redes 3G? A resposta é tripla: (i) QoS, (ii) faturamento (*billing*) e (iii) integração de diferentes serviços [1].

Uma das razões para a criação da arquitetura IMS foi fornecer a qualidade de serviço necessária para que os usuários utilizem as aplicações em tempo real. Neste sentido, para garantir que os usuários tenham uma experiência satisfatória na prestação dos serviços, o IMS faz a sincronização e o estabelecimento das sessões. Ademais, O IMS permite que as prestadoras flexibilizem a QoS destinada aos consumidores, de modo que grupos de usuários possam ser diferenciados de outros.

Outra razão para a criação do IMS foi viabilizar o faturamento das sessões multimídias de forma mais adequada. Sabemos, por exemplo, que um usuário envolvido em uma comunicação de vídeo chamada, sobre o domínio da comutação por pacotes, transfere uma grande quantidade de informações (vídeo e áudio codificados). Deste modo, dependendo da prestadora 3G, a transferência de dados pode gerar grandes custos aos usuários, pois normalmente as prestadoras tarifam os clientes pelo número de *bytes* trafegados na rede. Além disso, as prestadoras não têm o conhecimento sobre o conteúdo dos *bytes*, que poderiam ser de uma sessão de VoIP, de uma mensagem instantânea, de uma página da *web* ou de uma mensagem eletrônica.

Neste sentido, a arquitetura IMS fornece as informações das aplicações e serviços solicitados pelos usuários. Com estas informações, a prestadora decide se deve usar uma tarifa fixa, aplicar as tradicionais cobranças baseadas em tempo, praticar cobranças baseadas em QoS, ou mesmo, implantar um novo tipo de cobrança. Assim, o IMS não impõe qualquer modelo de negócio particular às prestadoras. Em vez disso, permite que as prestadoras tarifem os usuários de uma maneira muito mais flexível e eficiente.

Prover serviços integrados aos usuários é a terceira principal razão para a existência da arquitetura IMS. Neste novo cenário, as prestadoras poderão utilizar os serviços desenvolvidos por terceiros, combiná-los com os seus serviços e fornecer aos clientes um serviço completamente novo.

De acordo com o 3GPP, o objetivo do IMS não é apenas fornecer novos serviços, mas também oferecer todos os serviços, atuais e futuros, que a *Internet* proporciona. Ademais, os usuários devem acessar os serviços e aplicações em suas redes domésticas (*home networks*), bem como nas redes de outras prestadoras (*roaming*). Neste sentido, o IMS usa as tecnologias da *Internet* e os seus protocolos. Assim, uma sessão multimídia entre dois usuários IMS, entre um usuário IMS e um usuário na *Internet* ou entre dois usuários na *Internet* é estabelecida usando os mesmos protocolos [1].

As interfaces padronizadas do IMS também são baseadas em protocolos de *Internet*. Assim, o IMS realmente funde o ambiente da *Internet* com o mundo celular,

utilizando as tecnologias das redes de comunicação móveis para fornecer o acesso ubíquo e as tecnologias da *Internet* para fornecer os serviços. A Figura 2.1 mostra a convergência fixo-móvel utilizando o núcleo (*core*) IMS.

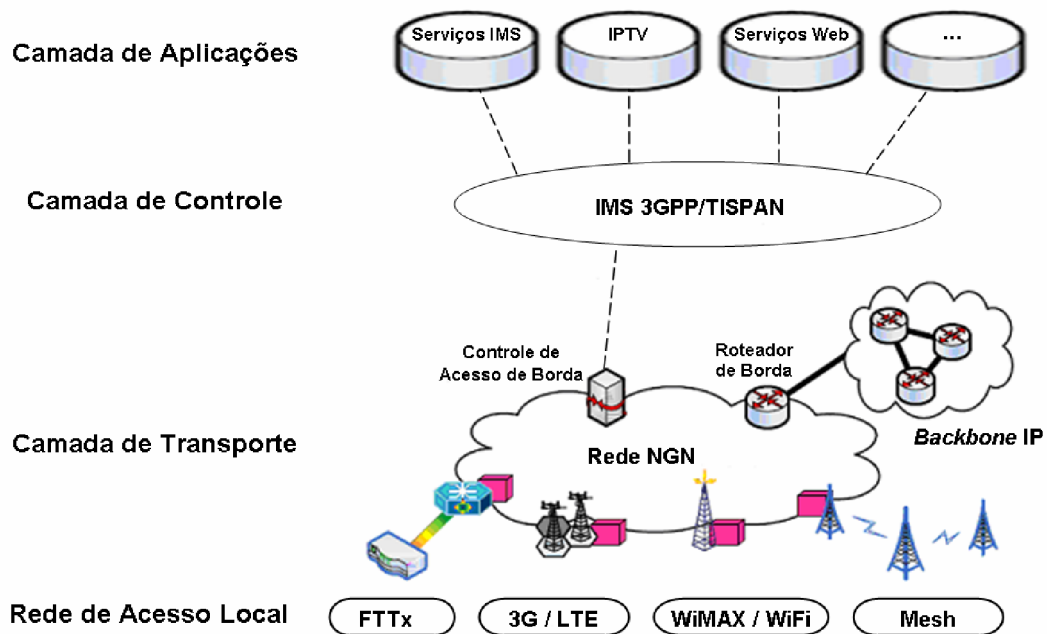


Figura 2.1 – Convergência Fixo-Móvel baseada na arquitetura IMS [2].

2.2 – PROTOCOLOS

O SIP (*Session Initiation Protocol*, IETF RFC 3261 [47]) foi escolhido como o protocolo de controle e estabelecimento das sessões para a arquitetura IMS. De fato o SIP facilita a criação de novos serviços, pois é um protocolo baseado em texto (HTTP), de fácil extensão e depuração.

O *Diameter* (IETF RFC 3588 [48]) foi escolhido como o protocolo de autenticação, autorização e cobrança (AAA – *Authentication, Authorization and Accounting*) do IMS [1] [3] [4] [7]. O protocolo *Diameter* é uma evolução do protocolo RADIUS (IETF RFC 2865 [49]), que é amplamente utilizado na *Internet* para realizar a função de AAA. O IMS utiliza o protocolo *Diameter* em uma série de interfaces, embora nem todas com mesma

*Diameter Application*¹. Por exemplo, o IMS define uma *Diameter Application* para interagir com o protocolo SIP durante a inicialização de uma sessão e outra *Diameter Application* para realizar o controle da tarifação dos serviços solicitados pelos usuários.

Além dos protocolos SIP e *Diameter* existem outros protocolos utilizados na arquitetura IMS. O protocolo H.248 (*Recommendation ITU-T H.248*) é utilizado pelos nós de sinalização para controlar os nós no plano de mídia (por exemplo, um MGC, *Media Gateway Controller*, controlando um *gateway* de mídia). Os protocolos RTP (*Real Time Protocol*) e RTCP (*Real Time Control Protocol*), ambos definidos na IETF RFC 3550, são usados para transportar mídias em tempo real, como aplicações de vídeo e/ou áudio [1] [7].

Inicialmente, o IMS foi especificado para utilizar o protocolo IPv6. No entanto, após o *release 6* do 3GPP, o IMS também oferece suporte ao protocolo IPv4 e a esquemas privados de endereçamento [1] [4] [7].

2.3 – ARQUITETURA IMS

A arquitetura IMS define uma estrutura criada com o objetivo de distribuir serviços multimídias IP aos usuários finais. Essa estrutura deve atender aos seguintes requisitos:

- Suporte para estabelecer sessões multimídias IP;
- Suporte a mecanismos de negociação de QoS;
- Suporte a interação com a *Internet* e às redes comutadas por circuitos;
- Suporte ao *roaming*;
- Suporte para controlar os serviços distribuídos aos usuários;
- Suporte a criação rápida dos serviços (sem a necessidade de padronização); e
- Suporte às redes de acesso heterogêneas (com fios e sem fios).

A arquitetura IMS envolve componentes que realizam funções de forma integrada, com base em interfaces padronizadas. A Figura 2.2 ilustra os componentes (nós) incluídos no núcleo IMS. Esses nós são [1] [3] [4]:

¹ *Diameter Applications* são personalizações ou extensões para o *Diameter* atender a uma aplicação específica em um determinado ambiente.

- Um ou mais bancos de dados chamados de HSS (*Home Subscriber Server*) e de SLF (*Subscriber Location Function*);
- Um ou mais servidores SIP, coletivamente chamados de CSCFs (*Call Session Control Functions*);
- Um ou mais servidores de aplicação (ASs - *Application Servers*);
- Um ou mais MRFs (*Media Resource Function*), divididos em MRFCs (*Media Resource Function Controller*) e MRFPs (*Media Resource Function Processor*);
- Um ou mais BGCFs (*Breakout Gateway Control Function*); e
- Um ou mais PSTN/CS (*Public Switched Telephone Network/Circuit Switched*) gateways, divididos em um SGW (*Signaling Gateway*), um MGCF (*Media Gateway Controller Function*) e um MGW (*Media Gateway*).

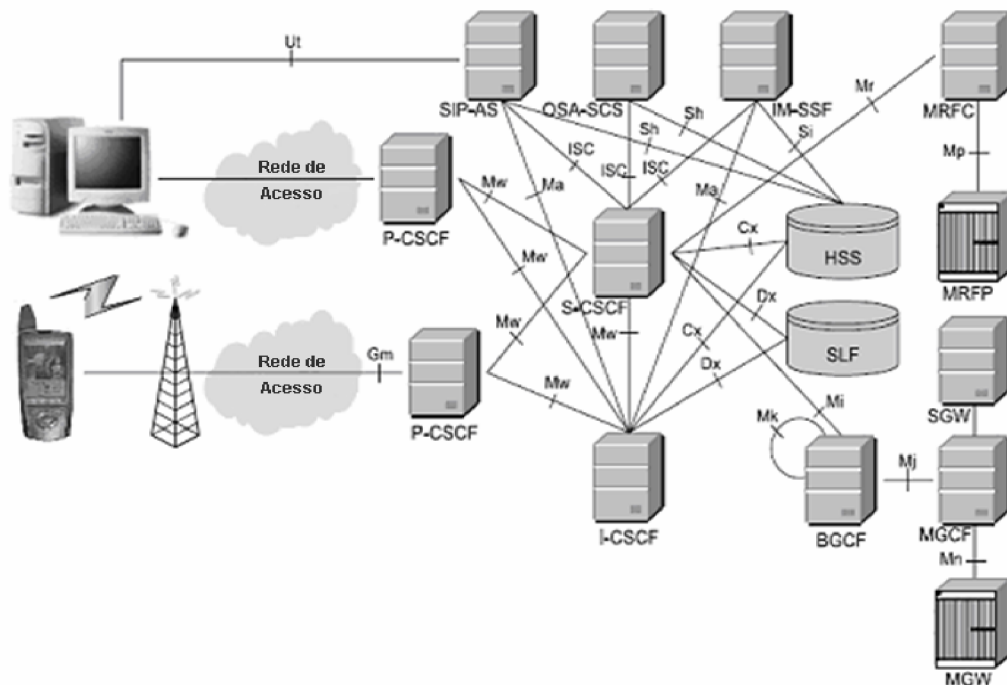


Figura 2.2 – Visão geral da arquitetura IMS [1].

2.3.1 – Os bancos de dados: HSS e SLF

O HSS é o repositório central das informações relacionadas aos usuários. Tecnicamente, o HSS é uma evolução do HLR (*Home Location Register*), utilizado nas

redes GSM (*Global System for Mobile Communications*). O HSS contém todos os dados necessários para lidar com as sessões multimídias, conforme a assinatura dos usuários. Estes dados incluem, dentre outros: (i) informação de localização; (ii) informações de segurança (incluindo as informações de autenticação e autorização); (iii) informações dos perfis dos usuários (incluindo os serviços assinados pelos usuários); e (iv) informações do S-CSCF (*Serving-CSCF*) atribuído aos usuários.

Caso a prestadora tenha uma grande quantidade de assinantes, a rede pode implantar mais de um HSS. No entanto, todos os dados relacionados a um determinado usuário são armazenados em um único HSS. As redes com mais de um HSS necessitam de um SLF [1] [3] [4].

O SLF é um banco de dados simples que mapeia os endereços dos usuários para o HSS. Um nó ao consultar o SLF informa o endereço do usuário e obtém do HSS, que armazena os dados desse usuário, todas as informações relacionadas ao seu perfil. Tanto o HSS como o SLF utilizam o protocolo *Diameter*.

2.3.2 – O CSCF

O CSCF é o principal nó da arquitetura IMS. Existem três tipos de CSCF, dependendo das funcionalidades que eles fornecem [1] [3] [4] [5] [6] [7] [8]:

- P-CSCF (*Proxy-CSCF*);
- I-CSCF (*Interrogating-CSCF*); e
- S-CSCF (*Serving-CSCF*).

2.3.2.1 – O P-CSCF

O P-CSCF é o primeiro ponto de contato no plano de sinalização, entre os terminais IMS e a arquitetura IMS. Do ponto de vista do protocolo SIP, o P-CSCF atua como servidor *proxy* SIP de entrada/saída. Isto significa que todas as solicitações iniciadas nos terminais IMS ou destinadas aos terminais IMS passam pelo P-CSCF.

O P-CSCF também inclui diversas funções, sendo que algumas relacionadas com a segurança. Inicialmente, o P-CSCF estabelece uma série de associações de segurança IPsec (*IP Security Protocol*) com os terminais IMS, que garantem a integridade e proteção dos conteúdos. Após a autenticação, o P-CSCF informa a identidade dos usuários aos demais

nós da rede para uma série de propósitos, como, por exemplo, prover serviços personalizados e gerar registros de tarifação.

Além disso, o P-CSCF inclui uma função de decisão de política de QoS chamada de PDF (*Policy Decision Function*), que autoriza os recursos e gerencia a qualidade de serviço sobre o plano de mídia.

Uma rede IMS pode incluir uma grande quantidade de P-CSCFs, por questões de redundância e escala. Ademais, dependendo da capacidade do nó, cada P-CSCF pode atender um determinado número de terminais IMS. No entanto, um terminal IMS se comunica apenas com um servidor P-CSCF durante o processo de registro na rede.

2.3.2.2 – O I-CSCF

O I-CSCF é um servidor *proxy* SIP localizado no limite de um domínio administrativo (área de prestação do serviço). As principais funções executadas pelo I-CSCF são: (i) escolher um S-CSCF para os usuários que executam um registro SIP; (ii) rotear as requisições SIP recebidas de outras redes para o S-CSCF; (iii) obter do HSS o endereço do S-CSCF; e (iv) encaminhar as requisições SIP para a escolha do MGW.

Além das funcionalidades de servidor *proxy* SIP, o I-CSCF tem uma interface com o HSS e SLF, usando o protocolo *Diameter*. Não obstante, para enviar as requisições dos serviços o I-CSCF tem uma interface com os servidores de aplicações.

2.3.2.3 – O S-CSCF

O S-CSCF é nó central do plano de sinalização da arquitetura IMS. O S-CSCF é basicamente um servidor SIP, que realiza o controle das sessões. Além das funcionalidades de servidor SIP, o S-CSCF também atua como um registrador SIP, ou seja, mantém a relação entre a localização do usuário (por exemplo, o endereço IP do terminal) e o registro de seu endereço SIP (*Public User Identity*).

Outra função importante do S-CSCF é prover serviços de roteamento SIP. Caso os usuários da rede IMS queiram estabelecer chamadas com os usuários da rede PSTN, o S-CSCF fornece um serviço de tradução, normalmente baseado no DNS E.164 *Number Translation* (IETF RFC 2916), para estabelecer as sessões.

O S-CSCF também analisa todas as mensagens SIP e determina se a sinalização deve iniciar um ou mais servidores de aplicações. Outrossim, o S-CSCF garante o

cumprimento das políticas estabelecidas pelas prestadoras de serviços (por exemplo, usuários podem, ou não, ser autorizados a estabelecer certos tipos de sessões).

Ademais, o S-CSCF utiliza uma interface com o protocolo *Diameter* para se comunicar com o HSS, com o objetivo de: (i) receber do HSS as informações de autenticação dos usuários que tentam acessar a rede IMS; (ii) receber do HSS os perfis dos usuários; e (iii) informar ao HSS qual é o S-CSCF atribuído ao usuário durante o procedimento de registro.

Toda sinalização SIP que o terminal IMS envia, ou recebe, sempre percorre o S-CSCF atribuído a este terminal. Assim como ocorre com o P-CSCF, cada S-CSCF atende um número de terminais IMS, dependendo da capacidade do nó.

2.3.3 – Os servidores de aplicações

Os servidores de aplicações (ASs, *Application Servers*) são entidades SIP que hospedam e executam os serviços. Dependendo do serviço, os servidores de aplicações podem operar no modo *proxy* SIP, no modo SIP UA (*User Agent*) ou no modo SIP B2BUA (*Back-to-Back User Agent*²). Além disso, os servidores de aplicações possuem interfaces com o S-CSCF e o I-CSCF, utilizando o protocolo SIP, e com o HSS, utilizando o protocolo *Diameter*. A Figura 2.3 mostra os três diferentes tipos de servidores de aplicações da arquitetura IMS.

- SIP AS: este servidor de aplicação hospeda e executa os serviços multimídias baseados no protocolo SIP [1].
- OSA-SCS (*Open Service Access-Service Capability Server*): este servidor fornece uma interface estruturada no servidor de aplicação OSA (OSA AS, *Open Service Access Application Server*). Assim, o servidor OSA-SCS herda todas as funcionalidades do servidor de aplicação OSA, especialmente a capacidade de acessar, por meio de redes externas, a arquitetura IMS com segurança. Este nó também age como um servidor de aplicação conectado ao S-CSCF, utilizando o protocolo SIP, e faz a interface entre o servidor de aplicação OSA e a OSA API (*Open Service Access Application Programming Interface*), definida na especificação 3GPP TS 29.198 [1].

² Concatenação de dois SIP *User Agents*.

- IM-SSF (*IP Multimedia Service Switching Function*): este servidor reutiliza os serviços baseados na arquitetura CAMEL (*Customized Applications for Mobile network Enhanced Logic*, ETSI TS 123 078), desenvolvida para o GSM. Deste modo, o IM-SSF permite que a entidade gsmSCF (*GSM Service Control Function*) controle uma sessão IMS. Ademais, o IM-SSF age como um servidor de aplicação conectado ao S-CSCF, utilizando o protocolo SIP, e com uma SSF (*Service Switching Function*) conectada à gsmSCF, utilizando o protocolo CAP (*CAMEL Application Part*), definido na especificação 3GPP TS 29.278 [1].

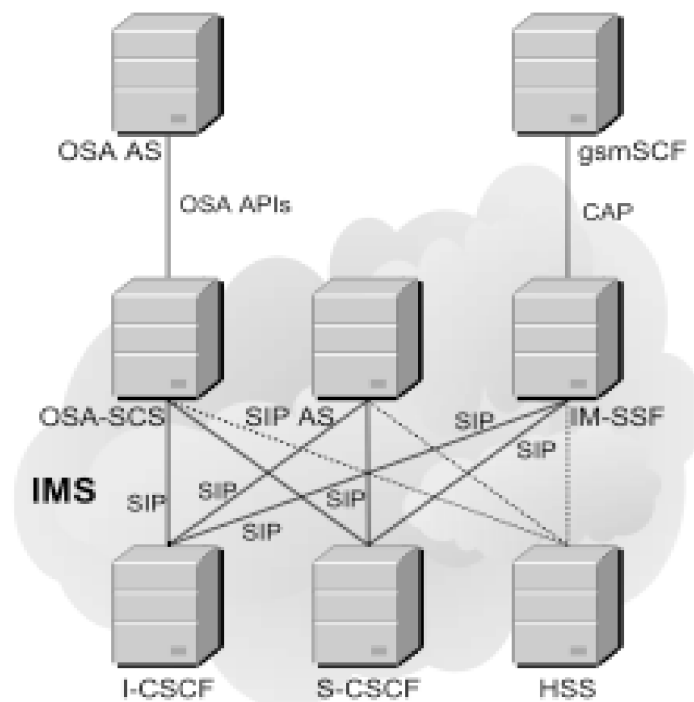


Figura 2.3 – Tipos de servidores de aplicação [1].

2.3.4 – O MRF (*Media Resource Function*)

O MRF fornece a fonte de mídias na rede doméstica com a capacidade de reproduzir anúncios, misturar fluxos, transcodificar diferentes formatos, coletar estatísticas e fazer qualquer tipo de análise de mídias. O MRF é dividido em um nó do plano de sinalização, chamado de MRFC (*Media Resource Function Controller*), e um nó do plano de mídia, chamado de MRFP (*Media Resource Function Processor*). O MRFC atua como um SIP *User Agent* e tem uma interface SIP conectada com o S-CSCF. O MRFC também

controla os recursos no MRFP, através de uma interface utilizando o protocolo H.248. Por outro lado, o MRFP implanta todas as funções relacionadas com as mídias, tais como executar e misturar as aplicações [1] [3] [4] [7].

2.3.5 – O BGCF

O BGCF é essencialmente um servidor SIP que inclui as funcionalidades de roteamento baseadas na numeração telefônica. O BGCF é utilizado apenas nas sessões que são iniciadas por um terminal IMS e endereçadas aos usuários em uma rede comutada por circuitos, tais como a PSTN [1] [3] [4]. As principais funções do BGCF são:

- Selecionar a rede apropriada para a interação com o domínio da comutação por circuitos; e
- Selecionar o *gateway* PSTN/CS apropriado se a interação ocorrer na rede onde o BGCF está localizado.

2.3.6 – O *gateway* PSTN/CS

O *gateway* PSTN/CS fornece a interface às redes comutadas por circuitos, permitindo que os terminais IMS façam e recebam chamadas da PSTN, ou de qualquer outra rede comutada por circuitos [1] [3] [4]. A Figura 2.4 mostra a interface do *gateway* PSTN/CS com uma rede comutada por circuitos.

O *gateway* PSTN/CS é composto das seguintes funções:

- SGW (*Signaling Gateway*): este *gateway* conecta o plano de sinalização da rede comutada por circuitos à rede IMS. É o SGW que realiza a conversão de protocolos das camadas mais baixas. Por exemplo, o SGW é responsável por substituir o protocolo de transporte MTP (*Message Transfer Part, Recommendation ITU-T Q.701*) pelo protocolo SCTP (*Stream Control Transmission Protocol, IETF RFC 2960*) sobre IP. Além disso, o SGW transforma o ISUP (*Integrated Services Digital Network User Part, Recommendation ITU-T Q.761*) ou BICC (*Bearer Independent Call Control,*

Recommendation ITU-T Q.1901) sobre MTP em ISUP ou BICC sobre SCTP/IP (tanto o ISUP quanto o BICC são protocolos de controle de chamadas nas redes comutadas por circuitos).

- MGCF (*Media Gateway Control Function*): o MGCF é o nó central do *gateway* PSTN/CS. Ele implanta uma máquina de estado que faz a conversão de protocolos e o mapeamento SIP, quer seja ISUP sobre IP ou BICC sobre IP. Além da conversão de protocolos de controle de chamadas, o MGCF controla os recursos do *gateway* de mídias, utilizando o protocolo H.248.
- MGW (*Media Gateway*): o *gateway* de mídias é a interface com o plano de mídias das redes comutadas por circuitos. De um lado, o MGW pode enviar e receber as mídias da rede IMS, usando o protocolo RTP. Do outro lado, o MGW utiliza um ou mais intervalos de tempo (*time slots*) PCM (*Pulse Code Modulation*) para se conectar às redes comutadas por circuitos. Além disso, quando o terminal IMS não suporta o codificador/decodificador (*codec*) utilizado pela rede comutada por circuitos o MGW executa a função de transcodificador de mídias.

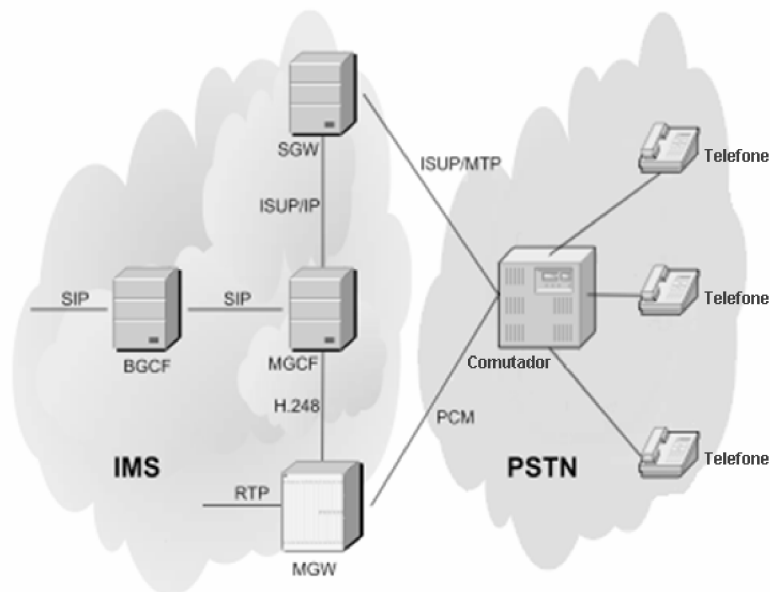


Figura 2.4 – *Gateway* PSTN/CS fazendo a interface com uma rede comutada por circuitos [1].

2.4 – INTERFACES DO IMS

Este item explica como as entidades anteriormente descritas são conectadas umas às outras e quais são os protocolos utilizados. A Figura 2.5 mostra as interfaces padronizadas pelo 3GPP para a arquitetura IMS [4].

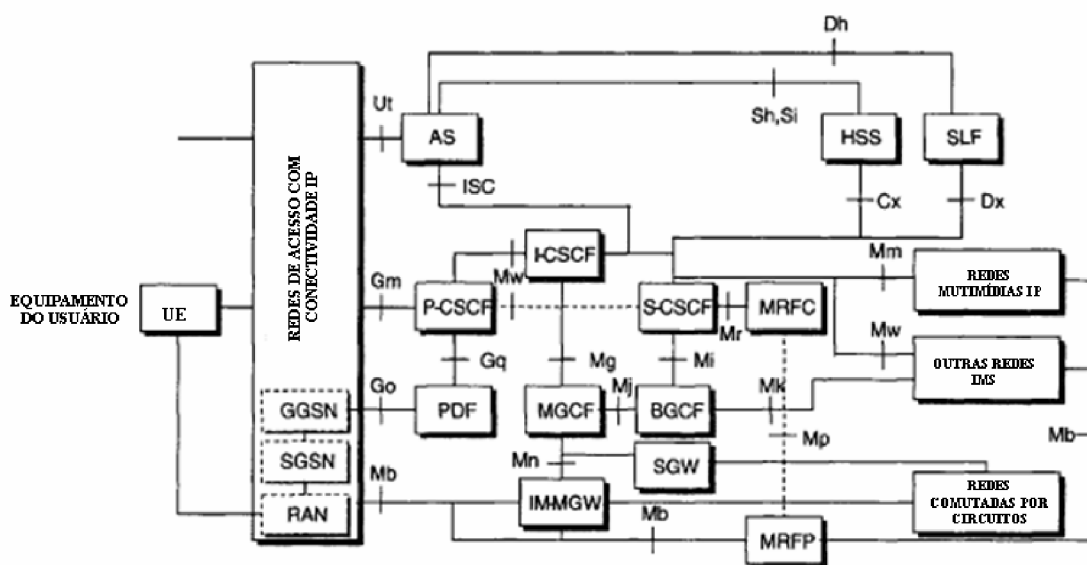


Figura 2.5 – Interfaces padronizadas da arquitetura IMS [4].

2.4.1 – Interface Gm

Esta interface é utilizada para transportar as mensagens de sinalização SIP entre o equipamento do usuário (UE, *User Equipment*) e o P-CSCF. Os procedimentos executados pela interface Gm podem ser divididos em três categorias principais:

- Procedimentos de registro: Os equipamentos dos usuários utilizam a interface Gm para enviar as requisições de registro ao P-CSCF. Durante o processo de registro os equipamentos dos usuários informam os parâmetros necessários à autenticação; negociam os parâmetros para uma conexão segura com o P-CSCF; e iniciam a compressão das mensagens SIP. Ademais, a interface Gm é usada para informar os equipamentos dos usuários sobre as ocorrências de desregistro ou de nova autenticação na rede.

- Procedimentos de controle de sessão: Os procedimentos de controle de sessão contêm os mecanismos de controle das sessões originadas ou terminadas nos equipamentos dos usuários. Nas sessões originadas pelos usuários, a interface Gm é usada para encaminhar as requisições dos terminais dos usuários para o P-CSCF. Nas sessões terminadas pelos usuários, a interface Gm é usada para enviar as requisições do P-CSCF para os UEs.
- Procedimentos de transação: Os procedimentos de transação são utilizados para enviar e receber os pedidos durante o estabelecimento das sessões.

2.4.2 – Interface Mw

Esta interface, baseada no protocolo SIP, é usada para interconectar os diferentes CSCFs da arquitetura IMS. Os procedimentos realizados pela interface Mw também podem ser divididos em três categorias principais:

- Procedimentos de registro: O P-CSCF utiliza a interface Mw para enviar os pedidos de registro dos equipamentos dos usuários para o I-CSCF, que, por sua vez, encaminha estes pedidos ao S-CSCF. As respostas dos pedidos de registro ao S-CSCF também são realizadas pela interface Mw. Além disso, o S-CSCF usa a interface Mw para informar o equipamento do usuário sobre o desregistro na rede, bem como para notificar o P-CSCF sobre a liberação de recursos a um determinado usuário.
- Procedimentos de controle de sessão: Contêm os mecanismos de controle das sessões originadas ou terminadas nos equipamentos dos usuários. Nas sessões originadas pelos usuários, a interface Mw é usada para enviar as requisições tanto do P-CSCF para o S-CSCF, como do S-CSCF para o I-CSCF. Por outro lado, nas sessões terminadas pelos equipamentos dos usuários, a interface Mw é utilizada para enviar as requisições do I-CSCF ao S-CSCF e do S-CSCF ao P-CSCF. Esta interface também é usada para autorizar o início de uma sessão na rede. Ademais, as informações relacionadas com a cobrança dos usuários são transmitidas pela interface Mw.
- Procedimentos de transação: São procedimentos usados para enviar e receber os pedidos durante o estabelecimento das sessões.

2.4.3 – Interface de controle de serviços IMS (ISC, *IMS Service Control*)

A interface de controle de serviços IMS é utilizada para enviar e receber as mensagens SIP entre o CSCF e os servidores de aplicações.

2.4.4 – Interface Cx

Esta interface é localizada entre o HSS e o CSCF e utiliza o protocolo *Diameter* para realizar a autenticação, autorização e cobrança dos usuários. Os procedimentos da interface Cx podem ser divididos em três categorias: (i) gerenciamento de localização; (ii) manipulação dos dados dos usuários; (iii) e autenticação dos usuários.

2.4.5 – Interface Dx

Quando há na arquitetura IMS mais de um HSS, a interface Dx conecta o CSCF ao SLF usando o protocolo *Diameter*. A interface Dx também é usada em conjunto com a interface Cx para obter o endereço do HSS que armazena os dados de um determinado usuário.

2.4.6 – Interface Sh

A interface Sh interliga o HSS e os servidores de aplicações SIP AS ou OSA-SCS, utilizando o protocolo *Diameter*. Os procedimentos da interface Sh são divididos em duas categorias: (i) manipulação dos dados e (ii) assinatura/notificação.

2.4.7 – Interface Si

Esta é a interface que conecta o servidor de aplicação IM-SSF ao HSS. O protocolo utilizado na interface Si é o MAP (*Mobile Application Part*).

2.4.8 – Interface Dh

Quando há na rede IMS mais de um HSS, a interface Dh acopla os servidores de aplicações ao SLF, usando o protocolo *Diameter*.

2.4.9 – Interface Mm

Esta interface é utilizada para interligar a rede IMS com outras redes multimídias IP. A interface Mm permite que o I-CSCF receba os pedidos de sessão de outros servidores ou terminais SIP localizados em outras redes multimídias. Similarmente, o S-CSCF usa a interface Mm para enviar as requisições originadas nos terminais IMS aos servidores e terminais SIP situados em outras redes multimídias IP. O protocolo usado na interface Mm é o SIP.

2.4.10 – Interface Mg

A interface Mg utiliza o protocolo SIP e permite que o MGCF envie para o I-CSCF as sessões de sinalização que chegam das redes comutadas por circuitos.

2.4.11 – Interface Mi

Esta interface conecta o S-CSCF ao BGCF com o objetivo de encaminhar as sessões aos usuários localizados no domínio das redes comutadas por circuitos. O protocolo utilizado pela interface Mi é o SIP.

2.4.12 – Interface Mj

Quando o BGCF recebe uma sessão através da interface Mi, ele seleciona o domínio da rede comutada por circuito onde a requisição está ocorrendo. Se a solicitação acontece na mesma rede, o BGCF envia a sessão ao MGCF por meio da interface Mj. O SIP também é o protocolo usado pela interface Mj.

2.4.13 – Interface Mk

Quando um BGCF recebe uma sessão por meio da interface Mk, ele seleciona o domínio da rede comutada por circuitos onde a solicitação está acontecendo. Se o pedido ocorre em outra rede, ele encaminha a sessão ao BGCF localizado na outra rede usando a interface Mk. O protocolo utilizado pela interface Mk é o SIP.

2.4.14 – Interface Ut

A interface Ut é o ponto de referência entre o equipamento do usuário e os servidores de aplicações. Além disso, esta interface permite que os usuários configurem e gerenciem as informações relacionadas com os serviços hospedados em um servidor de aplicação. O protocolo usado pela interface Ut é o HTTP.

2.4.15 – Interface Mr

Quando o S-CSCF precisa ativar os serviços de *bearer (bearer services)* ele envia a sinalização SIP ao MRFC através da interface Mr.

2.4.16 – Interface Mp

A interface Mp, baseada no protocolo H.248, é utilizada quando o MRFC precisa controlar os fluxos de mídias.

2.4.17 – Interface Go

Esta interface foi definida para a comunicação entre as redes IMS e as redes GPRS, com o propósito de garantir a QoS e o endereçamento de origem e destino dos fluxos de mídias. O protocolo utilizado na interface Go é o COPS (*Common Open Policy Service*).

2.4.18 – Interface Gq

A interface Gq está localizada entre o P-CSCF e o PDF para transportar as informações de configuração de QoS.

3 – SERVIÇOS IPTV SOBRE REDES BASEADAS NO IMS

3.1 – INTRODUÇÃO

De acordo com a UIT (*Recommendation ITU-T Y.1901*), os conteúdos IPTV podem ser compostos por diferentes mídias (vídeo, áudio, texto, gráficos e dados), que necessitam de tratamentos diferenciados em termos de QoS, qualidade de experiência (QoE, *Quality of Experience*), desempenho, segurança, interatividade e confiabilidade [9] [16].

A Figura 3.1 apresenta os entes envolvidos na distribuição dos serviços IPTV: (i) os usuários; (ii) os provedores de conteúdo; (iii) as prestadoras de serviços; e (iv) os provedores de redes de transporte, que distribuem os conteúdos por meio de infraestruturas de acesso fixas e/ou móveis [10] [16] [17].

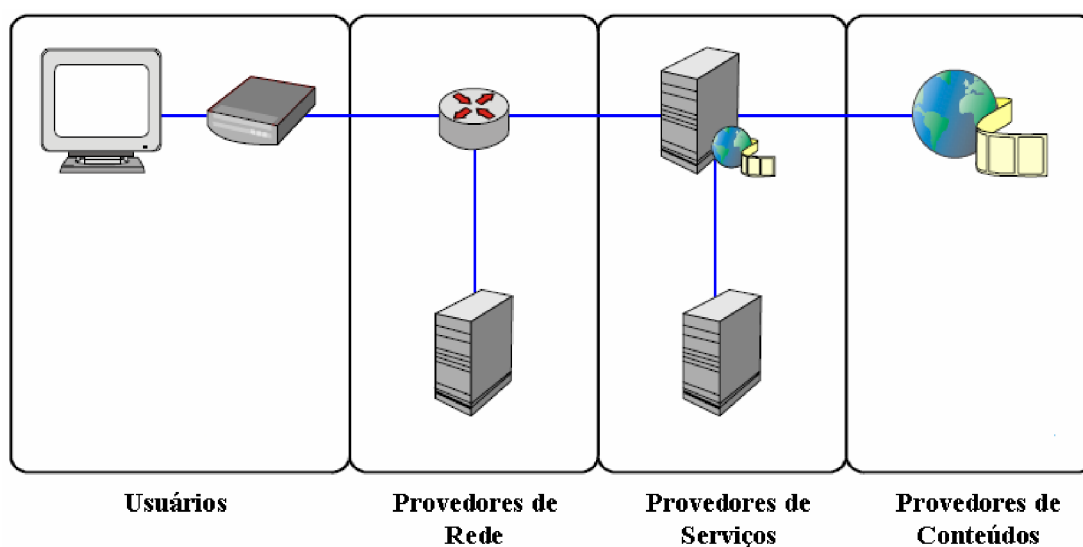


Figura 3.1 – Domínio IPTV [17].

Os serviços IPTV também podem suportar diferentes modelos de negócios, tais como vídeo sob demanda (VoD, *Video on Demand*), TV interativa, *download* de mídias etc. No entanto, em cada modelo é necessária uma combinação diferente de entidades, tecnologias e funcionalidades, que aumentam a complexibilidade de gerenciamento dos serviços e aplicações.

Segundo os autores de [10], os usuários têm interesse em consumir serviços flexíveis, adaptados às suas necessidades específicas e com sistemas de cobrança

unificados. Neste sentido, de acordo com as exigências para integrar os serviços IPTV com as redes de próxima geração (NGN, *Next Generation Networks*) com núcleo IMS, algumas características são associadas com a capacidade de configuração e adaptação dos serviços, como:

- Soluções abertas para os serviços IPTV;
- Existência de perfis de usuários;
- Autenticação baseada nos perfis dos usuários ao invés de baseada nos dispositivos dos usuários;
- Modelo de assinatura única para os diversos serviços;
- Mobilidade sem restrição (dispositivos e localização);
- Descoberta pessoal de serviços; e
- Manipulação e processamento de metadados.

Ressalta-se, ainda, que contrariamente aos outros novos serviços, o IPTV concorre com os já existentes serviços de radiodifusão terrestre e com o mercado de DVDs e *Blu-rays*. Por esta razão, os consumidores esperam pelo menos uma qualidade semelhante para os serviços de televisão distribuídos pelas redes IP. Deste modo, os serviços IPTV baseados no IMS têm que fornecer mecanismos e recursos suficientes para garantir a qualidade das aplicações audiovisuais. Além disso, as infraestruturas de serviços IPTV baseadas na arquitetura IMS devem implantar interfaces amigáveis (tanto para os *hardwares* como para os *softwares*) para a interação entre os usuários e os serviços.

3.2 – EVOLUÇÃO DOS SERVIÇOS IPTV EM DIREÇÃO ÀS ARQUITETURAS BASEADAS EM REDES DE PRÓXIMA GERAÇÃO COM NÚCLEO IMS

A migração para uma arquitetura IPTV baseada em redes NGN com o núcleo IMS pode ser definida como um processo de quatro etapas, como mostra a Figura 3.2.

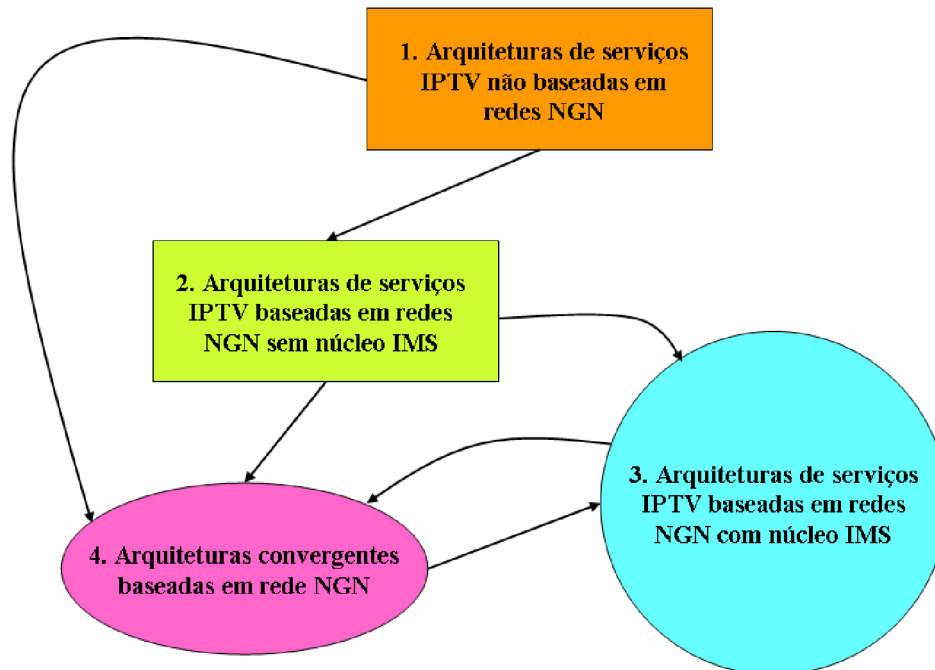


Figura 3.2 – Arquiteturas IPTV [6] [10] [11].

- Arquiteturas de serviços IPTV não baseadas em redes NGN: soluções proprietárias utilizadas pela maioria das prestadoras de serviços IPTV em operação atualmente no mundo. Neste cenário, é possível criar alguma interoperabilidade entre as arquiteturas IPTV não baseadas em redes NGN com os subsistemas da rede NGN. No entanto, são necessárias funções separadas nas camadas de aplicação e de controle [6] [10] [11];
- Arquiteturas de serviços IPTV baseadas em redes NGN: permitem a interação e interoperabilidade sobre interfaces localizadas entre as funções dos serviços IPTV e alguns nós existentes na rede NGN, tais como elementos de controle de transporte para o subsistema de controle e admissão de recursos (RACF,

Resource and Admission Control Function), ou para o subsistema de conexão com a rede (NACF, *Network Attachment Control Function*). Nestes cenários, um nó dedicado dentro da rede NGN é utilizado para fornecer todas as funcionalidades necessárias aos serviços, bem como para integrar os componentes da arquitetura IPTV na infraestrutura das redes de próxima geração [6] [10] [11];

- Arquiteturas de serviços IPTV baseadas em redes NGN com núcleo IMS (NGN IMS): soluções que especificam as funções dos serviços IPTV sobre a arquitetura IMS, permitindo o uso das funcionalidades de inicialização e controle de mecanismos baseados no protocolo SIP [6] [10] [11]; e
- Arquiteturas convergentes baseadas em redes NGN: combinação de arquiteturas de serviços IPTV baseadas em redes NGN com arquiteturas de serviços IPTV baseadas em redes NGN com núcleo IMS, em uma configuração comum para distribuir serviços IPTV convergentes [6] [10] [11].

A cada passo evolutivo na arquitetura é possível perceber novas características e funcionalidades para a oferta de novos serviços (por exemplo, o aumento da qualidade de experiência dos usuários e a convergência da televisão com outros serviços de multimídia interativa e telecomunicações). A Figura 3.3 mostra uma interface gráfica de serviços IPTV baseados em arquiteturas com o núcleo IMS no equipamento terminal do usuário.



Figura 3.3 – Interface gráfica do usuário na plataforma FOKUS MIL, do Instituto Fraunhofer, da Alemanha, para os serviços IPTV baseados no IMS [9].

3.2.1 – Arquiteturas de serviços IPTV baseadas em redes NGN com núcleo IMS

As arquiteturas de serviços IPTV baseadas no IMS possuem algumas vantagens sobre as demais arquiteturas, tais como: suporte a mobilidade, interação com os serviços das redes de próxima geração, personalização de conteúdos, adaptação de mídias e integração dos serviços de voz, dados e vídeo. Além disso, podem aperfeiçoar e utilizar conceitos das redes NGN para as seguintes questões:

- Registro e autenticação integrados;
- Gerenciamento de assinantes, centralizado no perfil dos usuários, com ofertas flexíveis e personalização de serviços;
- Gerenciamento de sessão, encaminhamento e numeração;
- Interação com serviços de localização, mensagens, gerenciamento de grupos, dentre outros;
- Suporte a nomadicidade e *roaming*;
- QoS e controle de tráfego; e
- Cobrança e faturamento unificados.

Ademais, as arquiteturas de serviços IPTV sobre o IMS permitem a adaptação dos fluxos de dados IPTV de acordo com os recursos da rede e as capacidades disponíveis nos equipamentos dos usuários. Deste modo, o usuário pode acessar os serviços IPTV não apenas em sua residência, mas também em outros locais por meio de terminais móveis e/ou portáteis.

Deste modo, as arquiteturas de serviços IPTV baseadas no IMS permitem a integração de redes de acesso heterogêneas, ou seja, a tão desejada convergência entre as redes de acesso com fios e as redes de acesso sem fios (FMC, *Fixed-Mobile Convergence*) [10].

Não obstante, os serviços IPTV baseados na arquitetura IMS também permitem o controle de outros serviços, graças ao estabelecimento das sessões baseados no protocolo SIP (por exemplo, um usuário com um terminal IMS pode controlar remotamente a gravação de um canal IPTV em outro dispositivo). O *handover* das sessões ativas entre diferentes tipos de tela pode ser outro serviço interessante nas arquiteturas IPTV baseadas no IMS (por exemplo, de um *laptop* para uma televisão com suporte a alta definição) [13].

A Figura 3.4 ilustra os principais grupos de funções definidos pela UIT (*Recommendation ITU-T Y.1910*) para a arquitetura funcional dos serviços IPTV [17]:

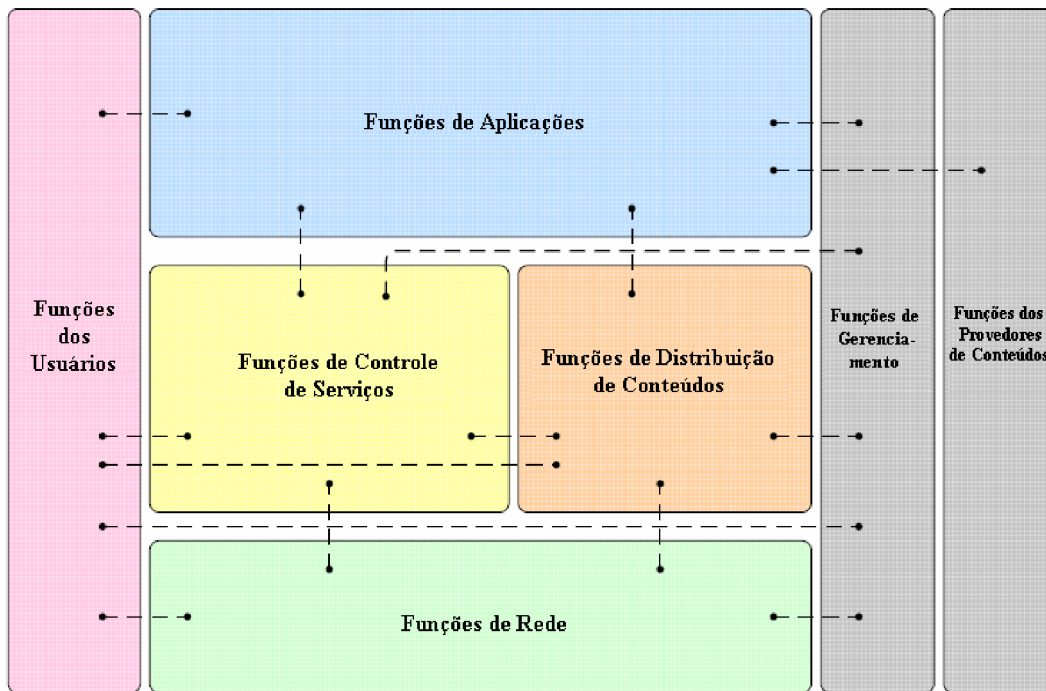


Figura 3.4 – Arquitetura funcional dos serviços IPTV [17].

- Funções dos usuários: executam a mediação entre os usuários e a infraestrutura IPTV;
- Funções de aplicações: habilitam as funções dos usuários para selecionar e comprar, ou alugar, os conteúdos multimídias;
- Funções de controle de serviços (SCF, *Service Control Functions*): fornecem as funções para requisitar e liberar os recursos de rede e serviços, necessários para suportar os serviços IPTV;
- Funções de distribuição de conteúdos (CDF, *Content Delivery Functions*): recebem os conteúdos das funções de aplicações, os armazenam, os processam e os distribuem às funções dos usuários utilizando as capacidades das funções de rede, por meio das funções de controle de serviços.
- Funções de rede: fornecem a conectividade na camada IP entre os componentes dos serviços IPTV e as funções dos usuários. As funções de rede são compartilhadas entre todos os serviços distribuídos aos usuários finais. Além

disso, as funções de rede contribuem para a provisão da QoS necessária pelos serviços IPTV;

- Funções de gerenciamento: executam todo o gerenciamento do sistema (*i.e.*, operação, administração, manutenção e provisionamento); e
- Funções dos provedores de conteúdos: são fornecidas por uma entidade que é proprietária ou detém a licença para prover os conteúdos distribuídos aos usuários (*i.e.*, vender, alugar ou dar permissão de uso livre).

Neste contexto, a proposta da UIT (*Recommendation ITU-T Y.1910*) às arquiteturas de serviços IPTV baseadas em redes NGN com núcleo IMS oferece uma estrutura abstrata para os serviços e integra diferentes funções³ e blocos funcionais⁴, como mostra a Figura 3.5, incluindo [9] [17]:

- Bloco funcional de sessão cliente;
- Funções do núcleo IMS;
- Bloco funcional dos perfis de serviços disponíveis aos usuários;
- Funções de aplicações que fornecem facilidades à rede, tais como:
 - Funções de aplicações IPTV;
 - Funções de proteção dos serviços e conteúdos (SCP, *Service and Content Protection*);
 - Bloco funcional dos perfis de aplicações; e
 - Funções de preparação dos conteúdos.
- Funções de aplicações clientes; e
- Funções de distribuição de conteúdo para fornecer facilidades de rede aos fluxos de mídias.

³ No contexto da arquitetura IPTV, “funções” são definidas com uma coleção de funcionalidades [17].

⁴ De acordo com a UIT, os “blocos funcionais” da arquitetura IPTV são definidos como um grupo de funcionalidades que não foram subdivididos em nível de detalhes na Recomendação ITU-T Y.1910 [17].

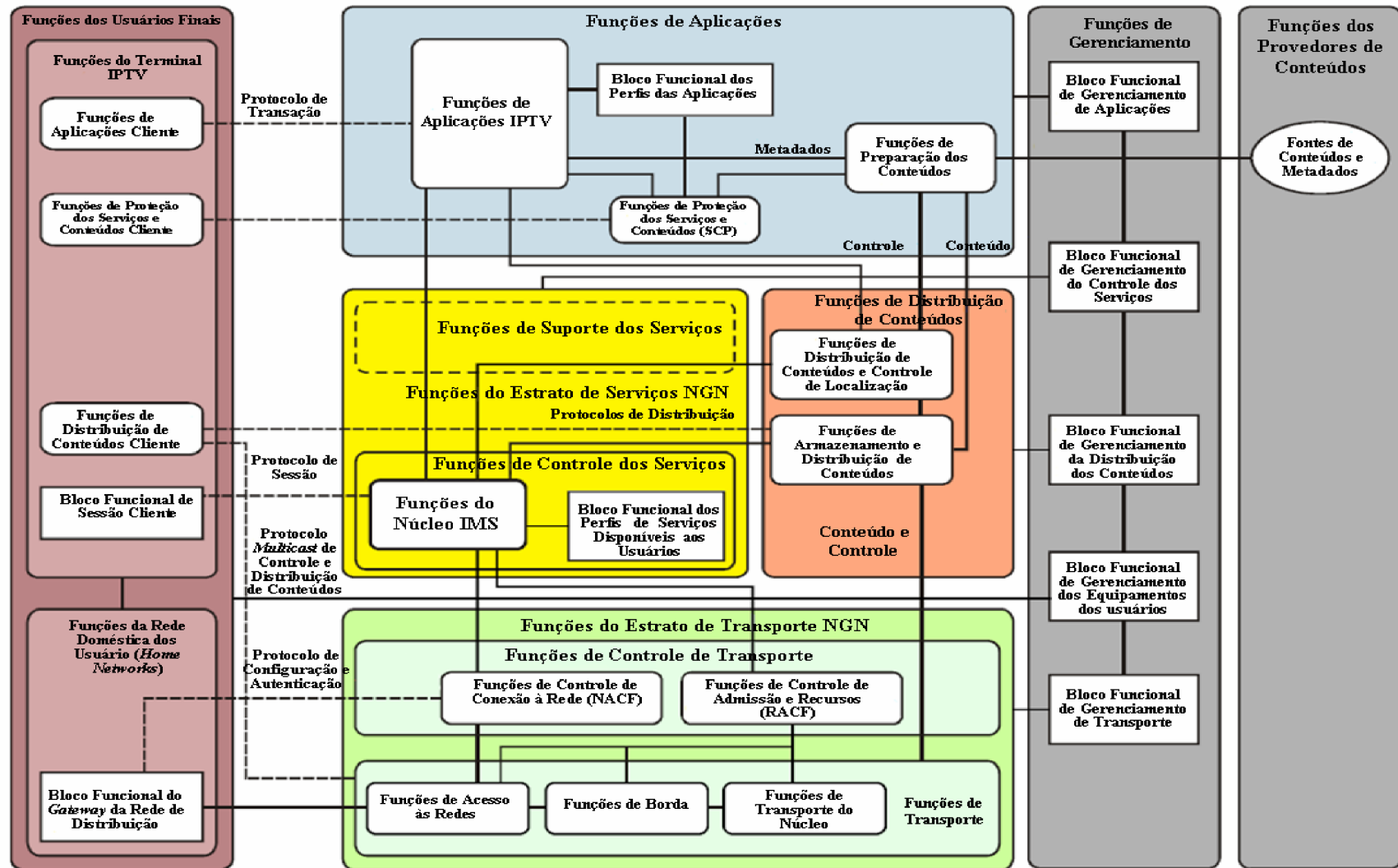


Figura 3.5 – Arquiteturas de serviços IPTV baseadas em redes NGN com núcleo IMS [17].

Não obstante, para os autores de [9] e [12], os principais desafios na oferta de serviços multimídias baseados no IMS, em redes fixas e móveis, são o gerenciamento da adaptabilidade, da mobilidade, da interatividade, do contexto e da personalização dos serviços. Neste sentido, é necessário integrar um conjunto de funções adicionais sobre a arquitetura IMS, como:

- Funções de descoberta de serviços (SDF, *Service Discovery Functions*): possibilitam que os equipamentos dos usuários encontrem as entidades adequadas para a seleção dos serviços. Estas entidades fornecem o guia de programação eletrônico (EPG, *Electronic Program Guide*) com as informações dos conteúdos disponíveis, incluindo os sobre demanda;
- Funções de personalização de serviços: reúnem as informações sobre o comportamento dos usuários e cria as recomendações de conteúdos de acordo com os seus perfis. Essas recomendações são calculadas integrando abordagens colaborativas, tais como o comportamento de outros usuários.

Ressalta-se que a UIT-T trata dos mecanismos para a descoberta e seleção dos serviços IPTV na Recomendação ITU-T H.770 [18].

3.3 – QUALIDADE DE SERVIÇO (QoS) DOS SERVIÇOS IPTV BASEADOS EM REDES NGN COM NÚCLEO IMS

3.3.1 – QoS em arquiteturas IMS

O IMS suporta vários modelos de QoS fim-a-fim, descritos na especificação 3GPP TS 23.207. A especificação define quatro classes diferentes de QoS [14]:

- Classe conversacional;
- Classe de *streaming*;
- Classe interativa; e
- Classe *background*.

O principal fator de distinção entre essas classes de QoS é a sensibilidade do tráfego em relação ao atraso. A classe conversacional é utilizada nas situações onde o tráfego é muito sensível ao atraso, enquanto a classe *background* é utilizada quando o tráfego não é tão sensível ao atraso.

Além disso, a classe conversacional e a classe *streaming* são utilizadas principalmente para carregar os fluxos de mídias em tempo real. Por outro lado, a classe interativa e a classe *background* são usadas pelas aplicações de *Internet* como navegação na *web*, *e-mail*, *Telnet* e *FTP*.

Destaca-se que, com a separação dos planos de mídia e sinalização, é necessário um mecanismo para controlar a QoS das sessões e gerenciar os recursos disponíveis na rede. Neste contexto, a especificação 3GPP TS 23.207 define a rede baseada em política (*Policy Based Network*) como o mecanismo de provisionamento de QoS, bem como especifica a função de decisão de política (PDF) para implantar a qualidade de serviço na camada de transporte. Deste modo, a PDF atribui os parâmetros de QoS para cada sessão, que podem ser alterados durante a sua duração (por exemplo, mudança de codificador/decodificador) [8].

Na arquitetura IMS, os parâmetros de QoS podem ser negociados entre dois equipamentos de usuários antes do estabelecimento de uma sessão. Depois que os parâmetros foram negociados entre os UEs, o núcleo da arquitetura IMS e a rede de acesso reservam os recursos para o estabelecimento da sessão. A Figura 3.6 mostra a negociação de QoS para a arquitetura IMS.

A primeira mensagem SIP INVITE do equipamento do usuário 1 (UE#1), encaminhada ao equipamento do usuário 2 (UE#2), carrega as informações de QoS necessárias para o estabelecimento da sessão. O S-CSCF de cada rede local analisa as informações e estabelece a QoS da sessão de acordo com as assinaturas de cada usuário. Caso necessário, as renegociações de QoS entre os equipamentos dos usuários são realizadas com a mensagem SIP UPDATE.

Os equipamentos dos usuários podem utilizar protocolos para a reserva de recursos entre as camadas, como, por exemplo, *PDP Context Activation*, *RSVP* ou *DiffServ*. Além disso, os terminais devem ser capazes de mapear os fluxos de mídias de uma sessão em fluxos de reserva de recursos [1].

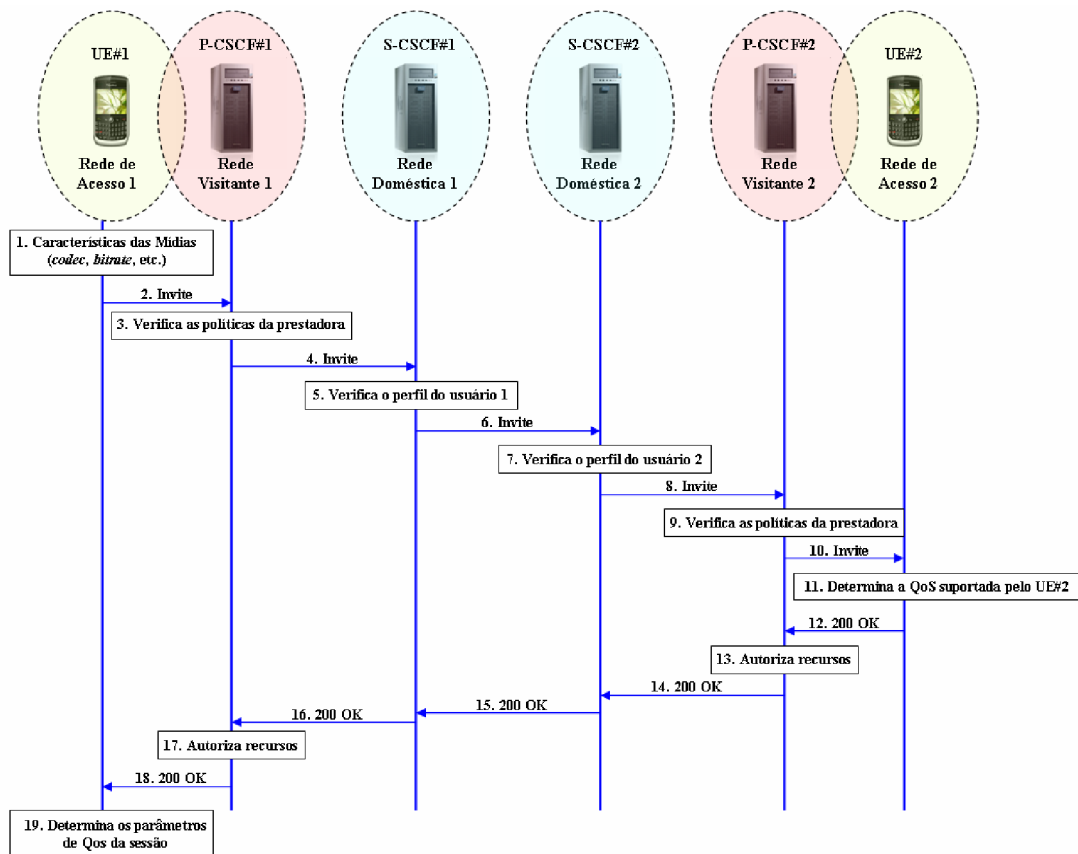


Figura 3.6 – Negociação de QoS no IMS [15].

3.3.2 – QoS em redes NGN

Segundo os autores de [7], dois cenários para o controle da QoS nas redes de próxima geração podem ser diferenciados. A aplicação de um cenário específico irá depender das capacidades de sinalização dos equipamentos dos usuários, que iniciam a sessão solicitando certas condições de QoS à rede de transporte NGN.

3.3.2.1 – Cenário 1

Este cenário pode ser aplicado quando o equipamento do usuário, que não tem suporte a QoS para todos os serviços, inicia uma sessão (por exemplo, uma sessão de voz) enviando uma mensagem SIP às funções de controle de serviços da rede NGN (passo 1). As funções de controle de serviços identificam as condições dos recursos necessários para o provimento da aplicação e enviam uma requisição de recursos ao RACF (passo 2).

Dependendo das políticas de assinatura dos usuários, e, após verificar que os recursos solicitados estão disponíveis na rede NGN, o RACF dispara a reserva de recursos nas funções de transferência da rede de transporte NGN (passo 3). Este cenário é chamado de modo *push*, pois a alocação de recursos é “empurrada” (*pushed*) de cima para baixo, por meio do RACF, às funções de transferências na rede de transporte NGN [7]. A Figura 3.7 mostra os princípios básicos para este cenário.

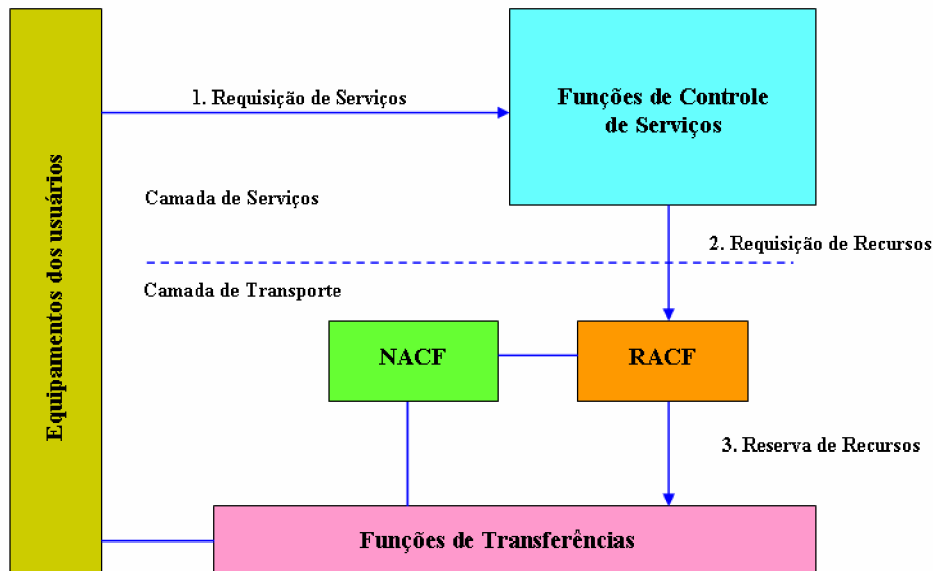


Figura 3.7 – Modo *push* de QoS em redes NGN [7].

3.3.2.2 – Cenário 2

Este cenário considera que os equipamentos dos usuários possuem capacidades de gerenciamento e suporte a QoS. Além disso, os recursos exigidos pelos equipamentos dos usuários não precisam ser autorizados pelas funções de controle de serviços antes da alocação de recursos na rede de transporte IP. Neste sentido, o equipamento do usuário inicia a sinalização de QoS na camada de transporte, por exemplo, enviando mensagens RSVP (passo 1). Em seguida, com base na informação dada pela sinalização, o subsistema responsável pelas funções de transferência solicita a autorização de QoS ao RACF (passo 2). Se os recursos requisitados podem ser concedidos, o RACF dispara a reserva de recursos nas funções de transferências da rede de transporte NGN (passo 3). Este cenário é

chamado de modo *pull*, pois a permissão para alocar os recursos solicitados pelo equipamento do usuário é “puxada” (*pulled*) pelas funções de transferências da rede de transporte NGN [7]. A Figura 3.8 mostra o princípio deste cenário.

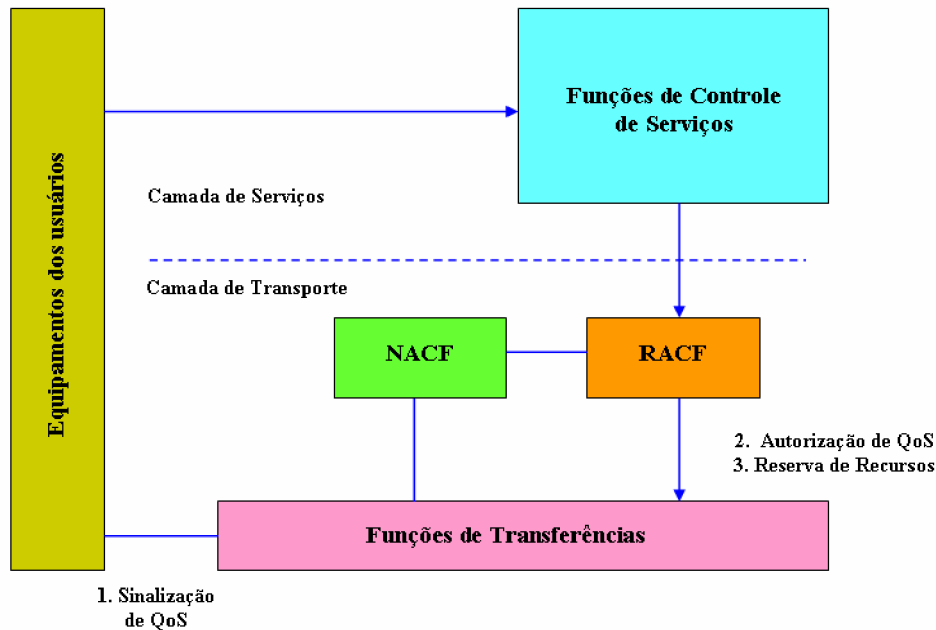


Figura 3.8 – Modo *pull* de QoS em redes NGN [7].

3.3.3 – QoS para os serviços IPTV baseados nas arquiteturas IMS

Tomando-se como base os cenários mencionados acima, os autores de [7] fazem uma analogia para a QoS dos serviços IPTV baseados nas redes NGN com núcleo IMS.

3.3.3.1 – Modo *Pull*

Depois que o equipamento do usuário se conecta à rede IMS (passo 1), ele solicita as informações das mídias nas funções de distribuição de conteúdos (passo 2). As funções de distribuição de conteúdos determinam quais são as funções de seleção de serviços apropriadas de acordo com: (i) as capacidades do equipamento do usuário; (ii) o perfil do usuário; e (iii) a localização do usuário (passo 3). Logo, as informações de configuração, que incluem os endereços das funções de seleção de serviços, são encaminhadas ao núcleo IMS (passo 4). O núcleo IMS transmite as informações de configuração relacionadas com

os serviços IPTV de volta ao equipamento do usuário (passo 5). O equipamento do usuário solicita os conteúdos das funções de seleção de serviços escolhidas pelo cliente (passo 6). As funções de seleção de serviços fornecem os conteúdos solicitados pelo equipamento do usuário (passo 7). Salienta-se que para o propósito de atualização da configuração dos serviços, os passos (4) e (5) podem ser repetidos a qualquer momento após o início da sessão [7]. A Figura 3.9 mostra o *modo pull* para os serviços IPTV baseados nas redes NGN com núcleo IMS.

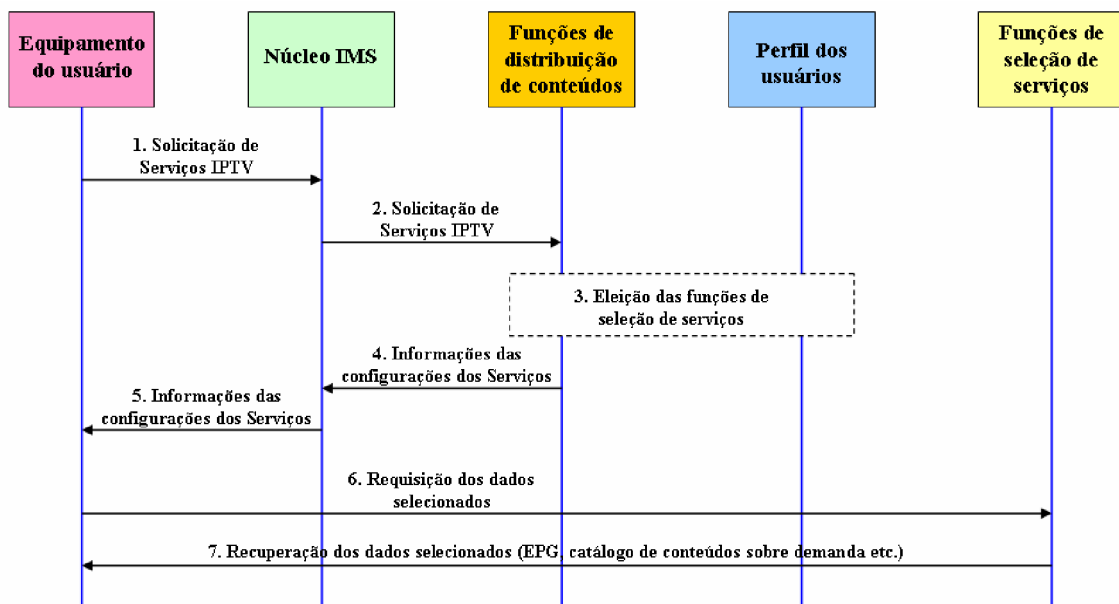


Figura 3.9 – Modo *pull* de QoS para os serviços IPTV baseados no IMS [7].

3.3.3.2 – Modo *Push*

Quando o equipamento do usuário se conecta a rede IMS, as funções de distribuição de conteúdos enviam as informações dos serviços ao equipamento do usuário e obtêm o *status* do terminal (passo 1). Assim como acontece no modo *pull*, as funções de distribuição de conteúdos escolhem as funções de seleção de serviços de acordo com: (i) as capacidades do equipamento do usuário; (ii) o perfil do usuário; e (iii) a localização do equipamento do usuário (passo 2). Em seguida, as informações de configuração, que incluem os endereços das funções de seleção de serviços, são encaminhadas de volta para o equipamento do usuário (passo 3). Em seguida, o núcleo IMS transmite as informações de configuração relacionadas com os serviços IPTV de volta ao equipamento do usuário

(passo 4). O equipamento do usuário solicita os conteúdos das funções de seleção de serviços escolhidas (passo 5). Por fim, as funções de seleção de serviços fornecem os conteúdos solicitados pelo equipamento do usuário (passo 6) [7]. A Figura 3.10 mostra o modo *push* para os serviços IPTV baseados no IMS.

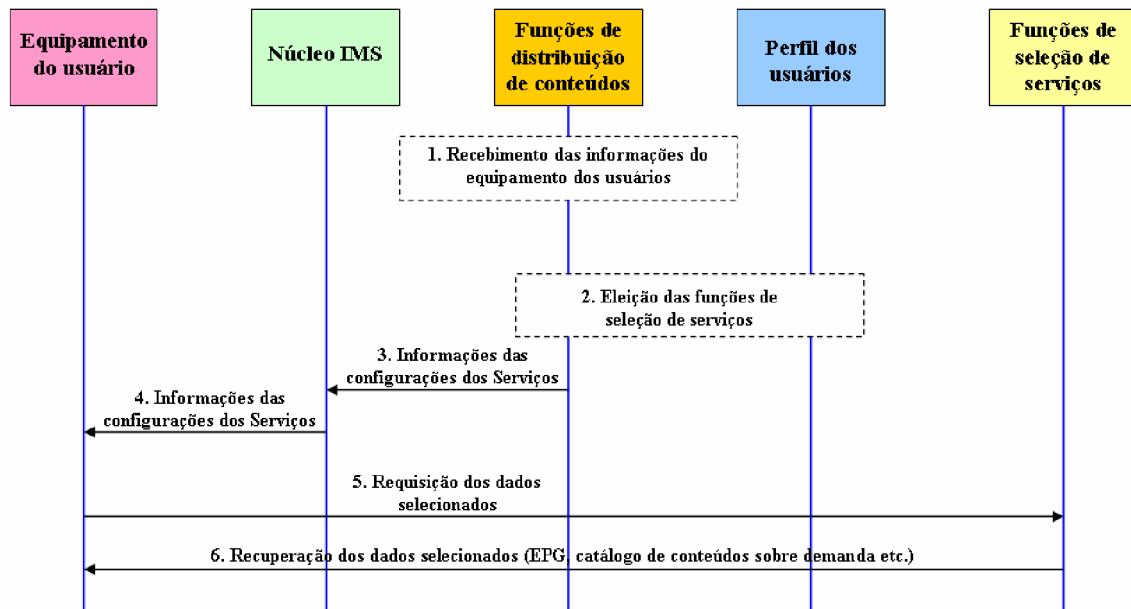


Figura 3.10 – Modo *push* de QoS para os serviços IPTV baseados no IMS [7].

3.3.4 – Qualidade de experiência (QoE) dos Serviços IPTV

A UIT trata dos assuntos de qualidade de experiência dos serviços IPTV na Recomendação ITU-T G.1080 [19]. Os requisitos de QoE são definidos pela perspectiva do usuário e são agnósticos ao desenvolvimento das arquiteturas de rede e protocolos de transporte. A recomendação define os requisitos para os conteúdos de vídeo, áudio, texto, gráficos, funções de controle e metadados.

4 – REDES DE ACESSO SEM FIOS WiMAX

4.1 – INTRODUÇÃO

As redes de acesso sem fios em banda larga (BWA, *Broadband Wireless Access*) são tecnologias que permitem aos consumidores acesso aos serviços de telecomunicações com altas velocidades de transmissão de dados. Adicionalmente, as redes de acesso BWA são uma opção atraente para as prestadoras onde não há disponibilidade de redes cabeadas, como por exemplo, no norte do Brasil e em áreas rurais. A Figura 4.1 ilustra a evolução das tecnologias de redes de comunicação móvel em direção os requisitos estabelecidos pela UIT para os sistemas *IMT-Advanced*.

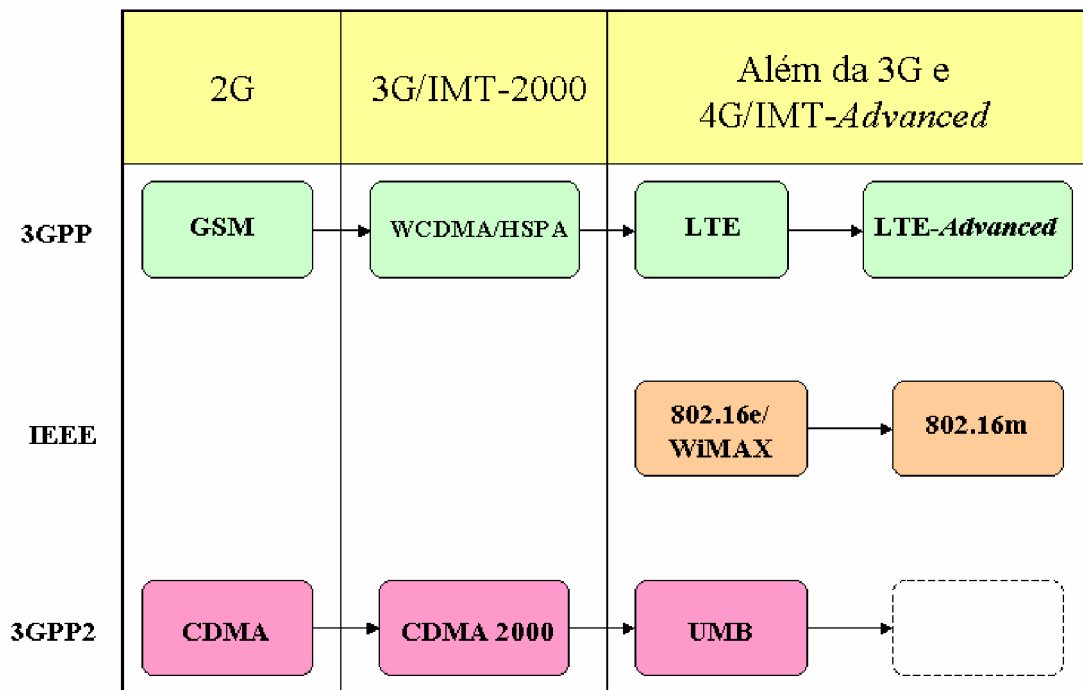


Figura 4.1 – Evolução das tecnologias de redes de comunicação móvel [20].

Neste trabalho, utilizamos em nossos experimentos a tecnologia *Worldwide Interoperability for Worldwide Access* (WiMAX) como a rede de acesso em banda larga para a prestação de serviços IPTV, apresentada a seguir.

4.2 – WiMAX

WiMAX foi o nome escolhido pelo WiMAX *Forum* para a tecnologia das redes metropolitanas sem fios baseada nos padrões IEEE 802.16. O WiMAX é um sistema de comunicação sem fios que pode fornecer acesso banda larga em uma grande área de cobertura. A versão inicial do WiMAX, padrão 802.16d, foi projetada para oferecer conectividade de banda larga sem fio aos usuários fixos e nomádicos na última milha. A evolução para o padrão IEEE 802.16e trouxe avanços na QoS e permitiu a mobilidade dos terminais à velocidades até 120 km/h. Neste sentido, o WiMAX móvel foi projetado para preencher a lacuna entre as redes locais sem fios e a alta mobilidade das redes celulares. Para atingir taxas de pico de *download* até 75 Mbps, em cenários móveis, o padrão utiliza a técnica SOFDMA (*Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) para modificar dinamicamente o tamanho da FFT (*Fast Fourier Transform*), com base na largura de banda disponível do canal [21] [22] [50]. Além disso, o WiMAX fornece alta eficiência espectral, baixa latência e arquitetura baseada em redes totalmente IP. O WiMAX suporta duplexação por divisão de frequência (FDD, *Frequency Division Duplexing*) e por divisão de tempo (TDD, *Time Division Duplexing*), bem como uma vasta gama de larguras de banda para operar em diferentes alocações do espectro eletromagnético. Com o objetivo de atender os requisitos da UIT para os sistemas móveis de quarta geração (IMT-*Advanced*), o IEEE trabalhou em vários aspectos para melhorar o desempenho do WiMAX no padrão chamado de 802.16m. A Figura 4.2, mostra a arquitetura típica de uma rede de acesso WiMAX.

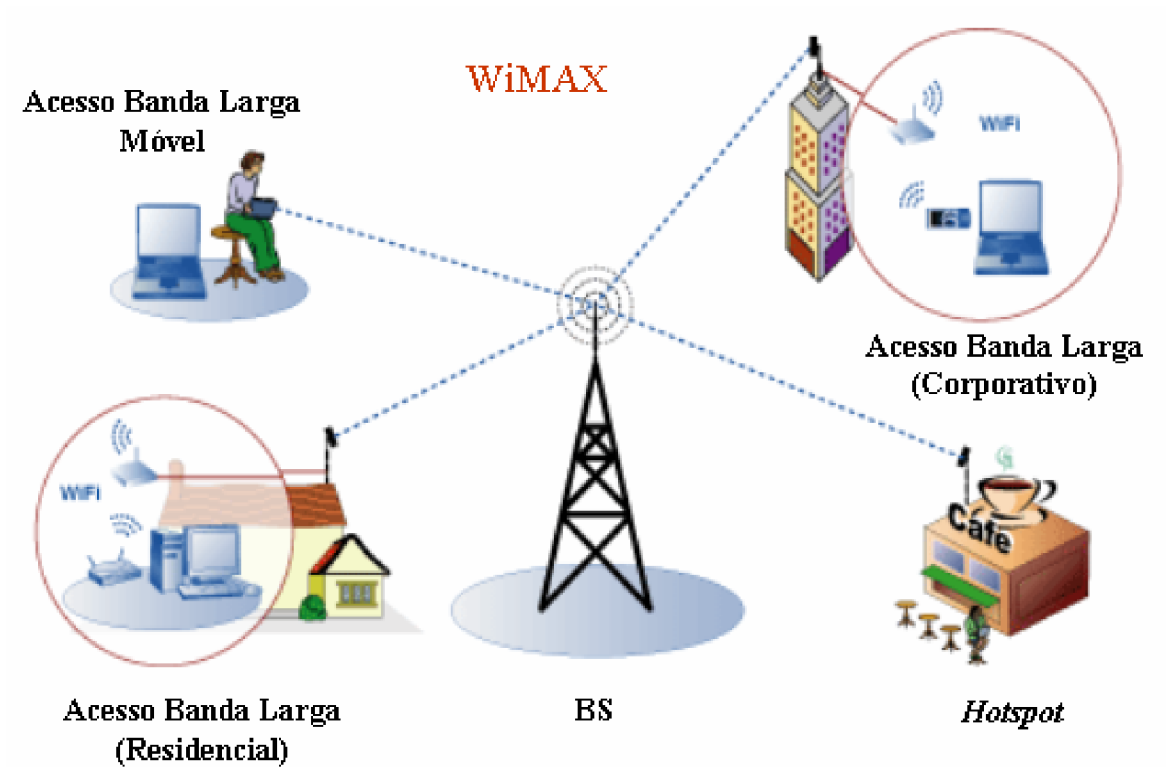


Figura 4.2 – Arquitetura WiMAX.

4.2.1 – Modelo de referência

A Figura 4.3 ilustra o modelo de referência de rede (NRM, *Network Reference Model*) da tecnologia WiMAX, que consiste das seguintes entidades lógicas: (i) estação do assinante (SS, *Subscriber Station*); (ii) ASN (*Access Service Network*); (iii) CSN (*Connectivity Service Network*); e (iv) interfaces de interconexão entre as entidades lógicas (R1-R5) [21].

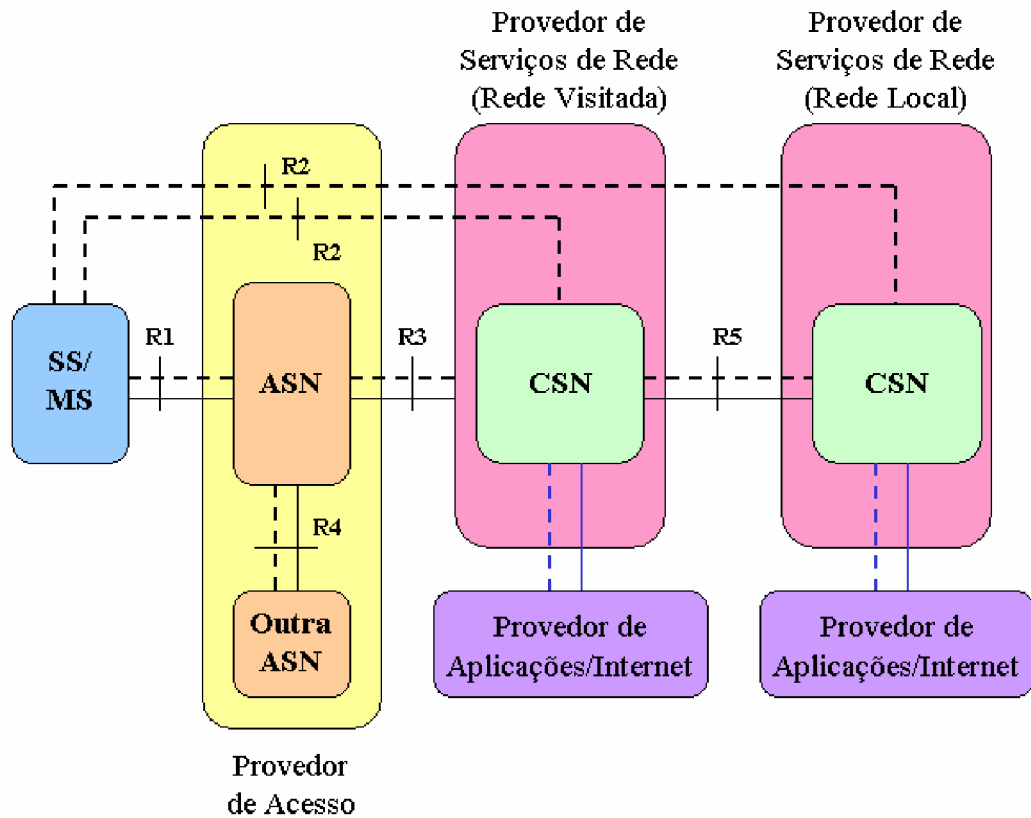


Figura 4.3 – Modelo de referência de rede do WiMAX [21].

A ASN contém um ou mais *ASN Gateways* (ASN-GW) e uma ou mais estações rádio base (BSs, *Base Stations*). As BSs são responsáveis pela inicialização do *handover*, como também fornecem e gerenciam os recursos do sistema por meio da interface aérea. Ademais, o ASN-GW realiza as funções cliente de AAA, estabelece e gerencia a mobilidade do túnel com as estações rádio bases e faz a conexão com o CSN selecionado.

O CSN é definido como um conjunto de funções de rede que fornecem a conectividade IP aos usuários da arquitetura WiMAX. O CSN possui servidores e *proxies* AAA, banco de dados dos usuários, roteadores e *gateways* de interfuncionamento. Além disso, o CSN é responsável pela gestão dos endereços IP; gerenciamento de mobilidade; *roaming* e gerenciamento de localização entre as ASNs; e *roaming* entre os provedores de serviços de rede por meio do tunelamento entre CSNs.

4.2.2 – Camadas PHY e MAC

A arquitetura descrita pelo padrão IEEE 802.16 é composta por duas camadas: (i) física (PHY, *Physical*); e (ii) controle de acesso ao meio (MAC, *Medium Access Control*). Cada camada depende dos serviços fornecidos pela camada inferior e acessa esses serviços por meio de uma interface virtual chamada de SAP (*Service Application Point*).

As especificações do padrão dividem a camada MAC em três subcamadas: (i) subcamada de convergência (CS, *Convergence Sublayer*); (ii) subcamada de parte comum (CPS, *Common Part Sublayer*); e (iii) subcamada de privacidade (PS, *Privacy Sublayer*), conforme ilustrado na Figura 4.4.

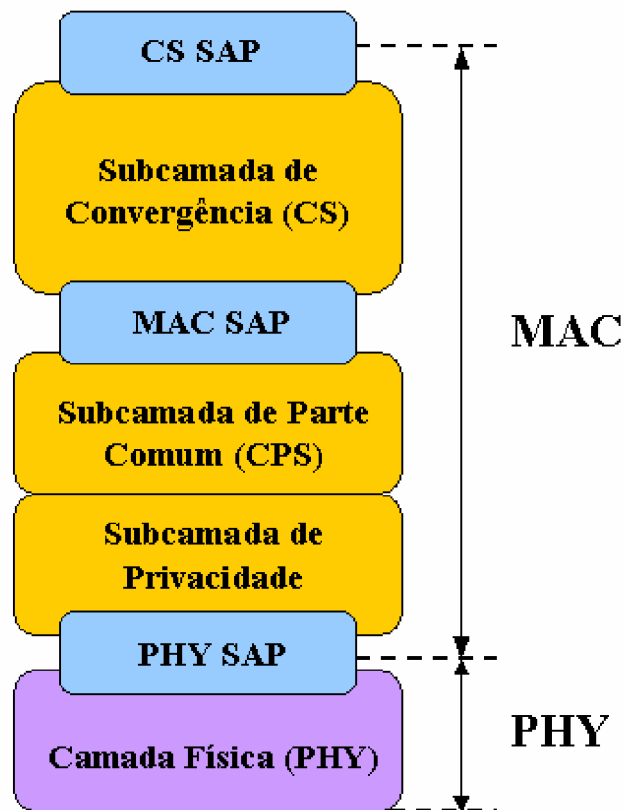


Figura 4.4 – Camadas PHY e MAC do WiMAX [22].

A camada MAC é responsável pela montagem dos quadros (*frames*) entregues às camadas superiores, bem como pela atribuição dos endereços após a transmissão/recepção dos pacotes.

A subcamada de convergência classifica e transporta os pacotes IP, ou ATM, das camadas superiores através da interface CS SAP (*Convergence Sublayer Service Application Point*). Além disso, realiza a compressão e o endereçamento dos quadros, bem como encaminha os MSDUs (*MAC Service Data Unit*) à subcamada de parte comum por meio da interface MAC SAP (*Medium Access Control Service Application Point*), organizando-os em MPDUs (*MAC Protocol Data Unit*).

A subcamada de parte comum é a parte central da camada MAC, que define o método de acesso ao meio e executa as funções relacionadas à canalização, aos requisitos de QoS e ao estabelecimento das conexões. Por outro lado, a subcamada de privacidade foi concebida para garantir a segurança dos usuários na rede, bem como para proteger as prestadoras contra a interceptação indevida dos serviços e aplicações.

Outrossim, a camada física recebe os MPDUs da interface PHY SAP (*Physical Service Application Point*) e os converte em sinais para serem transmitidos pela interface aérea.

4.2.3 – Aspectos da interface aérea

4.2.3.1 – Múltiplo acesso

Em vez de usar uma única portadora em toda faixa de frequências, o padrão WiMAX utiliza um esquema de transmissão nos enlaces direto (*downlink*) e reverso (*uplink*) denominado de SOFDMA. O SOFDMA é uma variação do esquema OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), que transmite os fluxos de dados usando várias subportadoras de banda estreita, simultaneamente, por exemplo, 512, 1024, ou até mais, dependendo da largura de banda disponível do canal (por exemplo, 5, 10, 20 MHz). Neste esquema de transmissão, os fluxos de dados são divididos em vários subfluxos paralelos, os quais são modulados e transmitidos em separadas subportadoras ortogonais para múltiplos usuários [45] [50]. Além disso, esta abordagem foi escolhida porque o atraso de propagação e o desvanecimento provocado pelos múltiplos percursos se tornam independente da quantidade de banda utilizada pelo canal, uma vez que a largura de banda de cada subportadora permanece a mesma e apenas o número de subportadoras é alterado [23].

A Tabela 4.1 resume os parâmetros dos símbolos OFDM para o padrão IEEE 802.16e no enlace direto, utilizando o modo de uso parcial das subportadoras (PUSC,

Partially Used of Sub-Carrier). Neste modo de permutação, as subportadoras úteis no enlace direto (piloto e dados) são agrupadas em *clusters*, que contêm 14 subportadoras contíguas por símbolo, divididas em 12 subportadoras de dados e 2 subportadoras piloto. Por exemplo, no canal de 10 MHz há 720 subportadoras de dados e 120 subportadoras pilotos, então teremos $(720 + 120) / (12 + 2) = 60$ *clusters*. O padrão IEEE 802.16e também define os seguintes modos alternativos de permutação: (i) uso total das subportadoras (*FUSC, Fully Used of Sub-Carrier*); (ii) *OPUSC (Optional PUSC)*; (iii) *OFUSC (Optional FUSC)*; (iv) *TUSC (Tile Used of Sub-Carrier)*; e (v) *AMC (Adaptative Modulation and Coding)* [27] [45] [50]. Salienta-se que os modos de permutação são utilizados para criar os subcanais, os quais são definidos no padrão IEEE 802.16e como uma coleção lógica de subportadoras [50].

Parâmetros OFDMA	IEEE 802.16e			
Tamanho da FFT	128	256	1024	2048
Número de subportadoras de dados	72	360	720	1440
Número de subportadoras pilotos	12	60	120	240
Número de subportadoras nulas/banda de guarda	44	92	184	368
Prefixo cíclico ou tempo de guarda (T_g/T_b)	1/32, 1/16, 1/8, 1/4			
Taxa de <i>Oversampling</i> (FS/Bw)	8/7 para canais múltiplos de 1,75 MHz; e 28/25 para canais múltiplos de 1,25 MHz, 1,5 MHz, 2 MHz ou 2,75 MHz			
Largura de banda do canal (MHz)	1,25	5	10	20
Espaçamento entre as subportadoras (kHz)	10,94			
Tempo útil dos símbolos (μs)	91,4			
Tempo de guarda (μs)	11,4			
Duração dos símbolos OFDM (μs)	102,9			
Número de símbolos em um <i>frame</i> de 5 ms	48			

Tabela 4.1 – Parâmetros dos símbolos OFDM do padrão IEEE 802.16e [27].

Para manter os símbolos OFDM ortogonais uns dos outros é necessário introduzir um tempo de guarda (T_g) entre eles, conforme ilustra a Figura 4.5 [27] [45]. Além disso, a introdução da técnica de prefixo cíclico (CP, *Cyclic Prefix*) pode eliminar completamente a interferência intersimbólica (ISI, *Intersymbol Interference*), uma vez que a duração do prefixo cíclico é maior do que o tempo de propagação do canal [27] [45] [50].

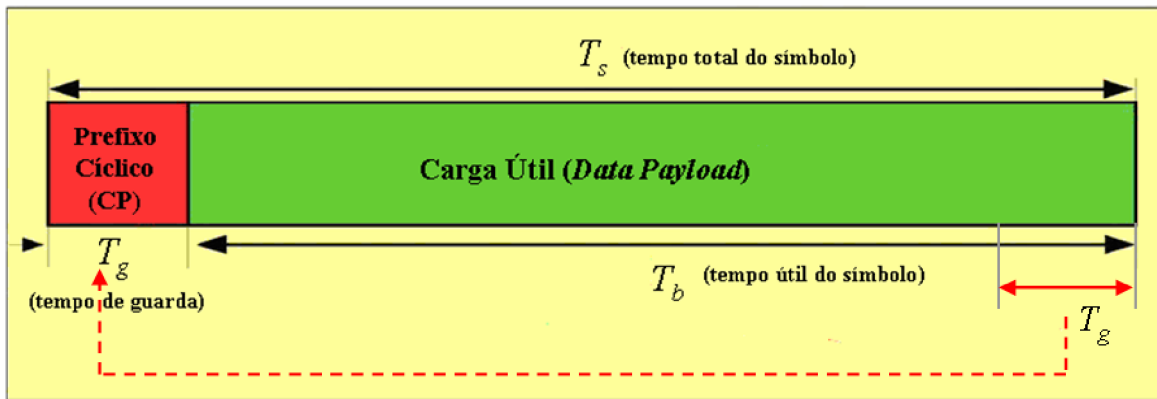


Figura 4.5 – Estrutura do símbolo OFDM com prefixo cíclico [27] [45].

4.2.3.2 – Alocação de espectro e canalização

As faixas de frequências disponíveis no espectro eletromagnético têm um papel fundamental na prestação dos serviços em redes de acesso sem fios em banda larga. O WiMAX não define as faixas de frequências para operação do sistema e pode utilizar tanto faixas de frequências licenciadas pelos organismos reguladores como faixas isentas de licenças. As faixas de frequências licenciadas pelos órgãos reguladores usadas pelo WiMAX são: (i) 2,3 GHz; (ii) 2,5 GHz; (iii) 3,3 GHz e (iv) 3,5 GHz. Por outro lado, as faixas não licenciadas encontram-se na banda de 5 GHz. Ademais, a tecnologia permite canalização escalável de 1,25 MHz até 20 MHz de largura de banda. A Tabela 4.2 resume as faixas de frequências comumente utilizadas pelas redes de acesso WiMAX no mundo.

Região	Bandas de Frequências para o WiMAX	
	Licenciadas (GHz)	Não licenciadas (GHz)
USA	2,3 e 2,5	5,8
Europa	3,5 e 2,5	5,8
Sudeste Asiático	2,3 / 2,5 / 3,3 e 3,5	5,8
Oriente Médio	3,5	5,8
África	3,5	5,8
América do Sul e Central	2,5 e 3,5	5,8

Tabela 4.2 – Faixas de frequências comumente utilizadas pelo WiMAX no mundo [21].

4.2.3.3 – Duplexação

O padrão WiMAX permite o uso das técnicas de multiplexação FDD, onde existem duas frequências, uma para a transmissão no enlace reverso (f_{UL}) e outra para transmissão no enlace direto (f_{DL}), e TDD, onde há uma única frequência portadora, e as transmissões nos enlaces reverso e direto são separadas no tempo. Ressalta-se que as diferentes técnicas de duplexação e as faixas de frequências disponíveis são fatores fundamentais na decisão das prestadoras para a seleção de uma tecnologia.

4.2.3.4 – Antenas avançadas

Sistemas com múltiplas antenas estão sendo considerados em todos os padrões de redes móveis de próxima geração para aumentar a capacidade do canal ou prover a diversidade espacial.

O WiMAX utiliza três tipos de técnicas de múltiplas antenas: (i) sistemas de antenas inteligentes (SAS, *Smart Antenna Systems*); (ii) técnicas de diversidade; e (iii) MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). Os sistemas MIMO são subdivididos em sistemas com controle de potência “malha aberta” (*open loop*) e malha fechada (*closed loop*). Além disso, o WiMAX móvel suporta uma, duas ou quatro antenas nas BSs e uma ou duas antenas nos dispositivos dos usuários (SSs) [21].

4.2.3.5 – Modulação e codificação

Diversas técnicas de modulação podem ser utilizadas pelo padrão, porém apenas três são mandatórias no enlace direto: QPSK, 16-QAM e 64-QAM. Além disso, esquemas de codificação convolucional (CC, *Convolutional Code*) e turbo (CTC, *Convolutional Turbo Code*) com várias taxas de codificação podem ser utilizados (por exemplo, 1/2, 2/3, 3/4 e 5/6) [45].

Não obstante, o WiMAX pode utilizar a técnica de modulação e codificação adaptativa como mecanismo eficiente para maximizar a vazão, conforme as condições do canal. Deste modo, modulações de ordem superior, como 64-QAM, são utilizadas próximas às estações rádio base, enquanto modulações de ordem inferior, como QPSK, são usadas nas regiões mais distantes das estações radio bases. A Figura 4.6, ilustra as técnicas de modulação utilizadas conforme a distância entre as estações móveis e a estação rádio base.

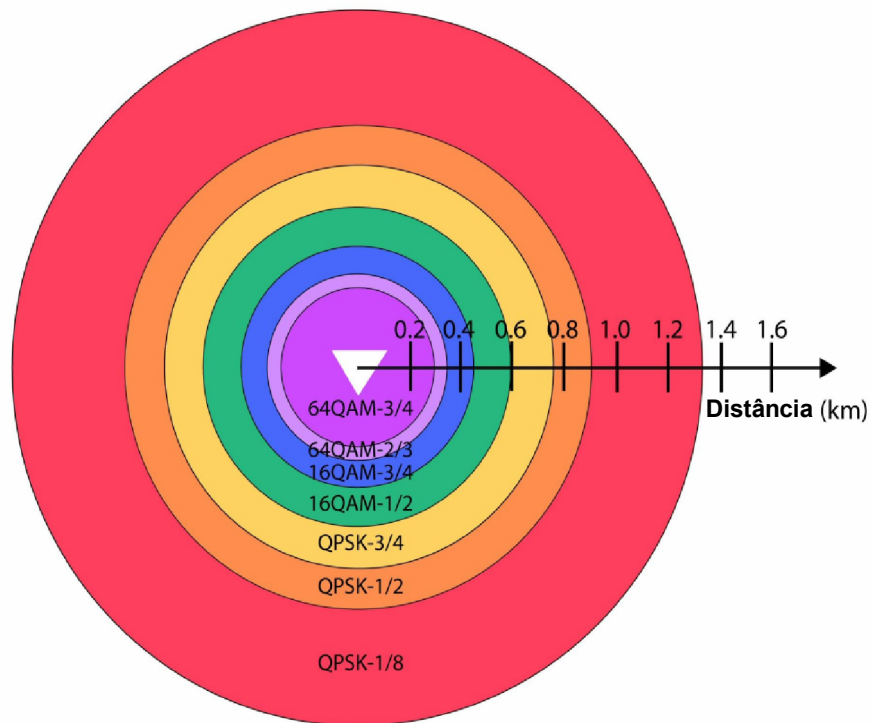


Figura 4.6 – Modulação adaptativa utilizada pelo WiMAX.

4.2.3.6 – Vazão

A vazão é a métrica utilizada para avaliar a taxa de transferência de dados efetiva, sem as mensagens de controle ou sinalização, de uma rede de comunicação em um determinado período de tempo. No restante deste capítulo, adotar-se-á abordagem baseada em [27], em que a seguinte fórmula determina a taxa de dados na camada física das redes de acesso WiMAX:

$$R = \frac{N_{used} \times b_m \times c_r}{T_s}, \quad (4.1)$$

em que, N_{used} é o número de subportadoras ativas (subportadoras ativas = total de subportadoras – subportadoras nulas); b_m é o número de *bits* por símbolo de cada uma das técnicas de modulação utilizadas pelas redes de acesso WiMAX (por exemplo, 2 para a modulação QPSK, 4 para a modulação 16-QAM etc.); c_r é a taxa de codificação para cada perfil de *burst*; e T_s é o tempo de duração do símbolo. De acordo com a Figura 4.5, T_s é dado por:

$$T_s = T_g + T_b = [G + 1]T_b, \quad (4.2)$$

em que, G é igual a taxa T_g/T_b , podendo assumir os valores de 1/4, 1/8, 1/16, ou 1/32; e $T_b = 1/\Delta f$, onde o espaçamento entre as subportadoras Δf é dado por:

$$\Delta f = \frac{F_S}{N_{FFT}}. \quad (4.3)$$

A frequência de amostragem (F_S) é dada por:

$$F_S = \text{piso}\left(\frac{nBw}{8000}\right) \times 8000, \quad (4.4)$$

em que, n é o fator de amostragem, Bw é a largura de banda nominal do canal e N_{FFT} é o número total de subportadoras. O fator de amostragem, em conjunção com Bw e N_{used} , determina o espaçamento entre as subportadoras e o tempo útil do símbolo. No padrão

IEEE 802.16e, $n = 8/7$ para os canais com largura de banda múltiplas de 1,75 MHz; e $n = 28/25$ para os canais com largura de banda múltiplas de 1,25 MHz, 1,5 MHz, 2 MHz ou 2,75 MHz [27]. Os valores de N_{FFT} e N_{used} podem ser obtidos na Tabela 4.1 e os valores de Bw podem ser encontrados na Tabela 4.3.

Largura de Banda (MHZ)	Tamanho da FFT
1,25	128
5	512
10	1024
20	2048

Tabela 4.3 – Largura de banda e tamanho da FFT no padrão IEEE 802.16e [27].

Neste contexto, considerando um canal com largura de banda de 10 MHz, técnica de modulação 64-QAM no enlace direto, taxa de codificação 3/4 e prefixo cíclico (Tg/Tb) de 1/8, temos:

$$R = \frac{(840 \times 6 \times \frac{3}{4})}{\left[\frac{1}{8} + 1 \right] \times \left[\frac{1024}{\text{piso} \left(\frac{28/25 \times 10000000}{8000} \right) \times 8000} \right]} = 36,75 \text{ Mbps} . \quad (4.5)$$

Quando técnicas de múltiplas antenas são utilizadas, por exemplo, 2x2 MIMO, a velocidade de transmissão da camada física é dobrada para cerca de 74 Mbps.

No entanto, na prática, estas velocidades de transmissão não são alcançadas por uma variedade de razões:

- O esquema de modulação 64-QAM no enlace direto só pode ser utilizado quando o terminal móvel está muito próximo da estação rádio base. Para a maioria dos usuários atendidos por uma célula, as modulações 16-QAM (4 bits por símbolo) ou QPSK (2 bits por símbolo) são mais realistas;
- Durante o processo de codificação, códigos de detecção e correção de erros são normalmente adicionados aos fluxos de dados;

- Necessidade de retransmissões dos pacotes pedidos;
- Sobrecarga significativa dos canais de controle e piloto;
- Em muitos casos, há menos de 10 MHz de largura de banda disponível para o WiMAX;
- A capacidade total da célula tem que ser compartilhada por todos os usuários;
- Interferências causadas por células vizinhas que operam nas mesmas faixas de frequências.

Deste modo, é provável que a vazão por célula WiMAX seja apenas cerca de 50-70% dos valores teóricos descritos acima [23].

4.2.3.7 – Mobilidade

Existem três métodos de *handover*, com latências menores que 50 ms, definidos pelo padrão IEEE 802.16e: (i) *Hard Handoff* (HHO); (ii) *Fast Base Station Switching* (FBSS); e (iii) *Macro Diversity Handover* (MDHO). O método HHO é mandatório e os demais são opcionais [45].

4.2.3.8 – Qualidade de serviço (QoS)

O gerenciamento de QoS é uma das funcionalidades incorporada nas redes de acesso IEEE 802.16e. Neste sentido, o padrão estabeleceu as seguintes classes de qualidade de serviços: (i) *rtPS (Real Time Polling Service)*; (ii) *UGS (Unsolicited Grant Service)*; (iii) *ertPS (Extended Real Time Polling Service)*; (iv) *nrtPS (Non Real Time Polling Service)*; e (v) *BE (Best Effort)*. Ademais, as classes de QoS são relacionadas à sensibilidade de atraso das aplicações, conforme mostra a Tabela 4.4.

Classes de QoS	Aplicações
<i>Unsolicited Grant Service (UGS)</i>	VoIP sem supressão de silêncio
<i>Real-Time Polling Service (rtPS)</i>	Vídeo/Áudio
<i>Extented Real-Time Polling Service (ertPS)</i>	VoIP com supressão de silêncio
<i>Non-Real-Time Polling Service (nrtPS)</i>	FTP
<i>Best Effort Service (BE)</i>	Navegação na <i>web/emails</i>

Tabela 4.4 – Classes de QoS do WiMAX.

As classes de qualidade de serviços UGS, rtPS e ertPS estão relacionadas com suporte às aplicações de voz e vídeo. Por outro lado, as classes de qualidade de serviços nrtPS e BE suportam as demais aplicações. Ressalta-se, ainda, que a chave para alcançar a QoS nas redes de acesso WiMAX são os serviços de agendamento (*scheduling services*) incorporados na camada MAC. As características principais dos serviços de agendamento são [22]:

- *Fast Data Scheduler*: capacidade da BS alocar recursos aos fluxos de dados e dinamicamente alterar as condições do canal de comunicação. Os pacotes de dados são associados com os fluxos de serviços (dados, voz ou vídeo) e parâmetros de QoS.
- *Frame Sheduling*: o padrão fornece seleção de tráfego tanto no enlace direto como no enlace reverso.
- *Dynamic Resource Allocation*: o WiMAX fornece alocação dinâmica de recursos baseada tanto no tempo como em frequência em ambas as direções, enlaces direto e reverso.
- *Frequency-based Scheduling*: agendamento seletivo baseado em frequência, que permite operações em diferentes subcanais.
- *QoS-oriented Scheduling*: agendadores escolhem os parâmetros de QoS e os serviços de dados correspondentes.

4.2.4 – Evolução para as tecnologias 4G

Semelhante à iniciativa IMT-2000, o grupo de estudos 5D da UIT-R definiu os requisitos para os sistemas IMT-Advanced. Estes requisitos incluem taxas no enlace direto por volta de 100 Mbps em redes WAN (*Wide Area Network*) e de até 1 Gbps em redes de acesso local, ou em cenários com baixa mobilidade. Além disso, na Conferência Mundial de Radiocomunicações de 2007 (WRC-2007), a UIT identificou 428 MHz do espectro radioelétrico para os sistemas IMT, sendo que deste total, 136 MHz foram padronizados em escala global [20]. Neste sentido, em outubro de 2009, o IEEE 802.16 *Working Group* apresentou à UIT sua proposta baseada no padrão IEEE 802.16m para cumprir os requisitos do IMT-Advanced.

5 – INTEGRAÇÃO DAS REDES DE ACESSO WiMAX E A ARQUITETURA IMS

5.1 – INTRODUÇÃO

Conforme tratado no Capítulo 2, o IMS fornece uma arquitetura independente da tecnologia de acesso (por exemplo, LTE, IEEE 802.16e, FTTx, DOCSIS etc.) e suporta a convergência fixo-móvel entre as redes de telecomunicações. Neste contexto, com as vantagens da banda larga, das redes *All IP-based* e de mecanismos de conexão orientados à qualidade de serviço, o padrão IEEE 802.16e é uma das tecnologias de rede de acesso candidatas à integração com arquitetura IMS.

No entanto, a fim de oferecer serviços adequados e satisfatórios aos usuários finais, um mecanismo de estabelecimento de sessão com garantia de QoS é necessário às aplicações como IPTV, jogos *online* e VoIP.

5.2 – INTEGRAÇÃO IMS-WiMAX

A integração entre o núcleo IMS e as redes de acesso WiMAX requer a interoperabilidade entre funções das duas tecnologias. Ao estudar os cenários de integração e as principais funcionalidades do IMS, os autores de [28] analisaram como a interconexão das redes WiMAX e da arquitetura IMS poderia ser realizada para suportar os serviços multimídias com garantia de QoS fim-a-fim.

A Figura 5.1 apresenta a arquitetura de referência para a integração IMS-WiMAX, bem como as interfaces de sinalização e de dados entre as duas tecnologias. A figura também mostra o I-CSCF como o ponto de entrada de sinalização na interconexão entre a arquitetura IMS e as redes de acesso WiMAX. A interface Wu gerencia o tunelamento entre as estações móveis e o PDG (*Packet Data Gateway*) e transmite os pacotes de dados através do túnel. As funcionalidades do PDG são descritas em detalhes na especificação técnica do 3GPP TS 23.234 (*3GPP System to Wireless Local Area Network (WLAN) Interworking; System Description, V9.0.0, Dez. 2009*). A interface Wa é dedicada ao transporte das mensagens de autenticação, autorização e cobrança (AAA), provenientes das estações móveis da rede de acesso WiMAX e do servidor AAA da arquitetura IMS [28].

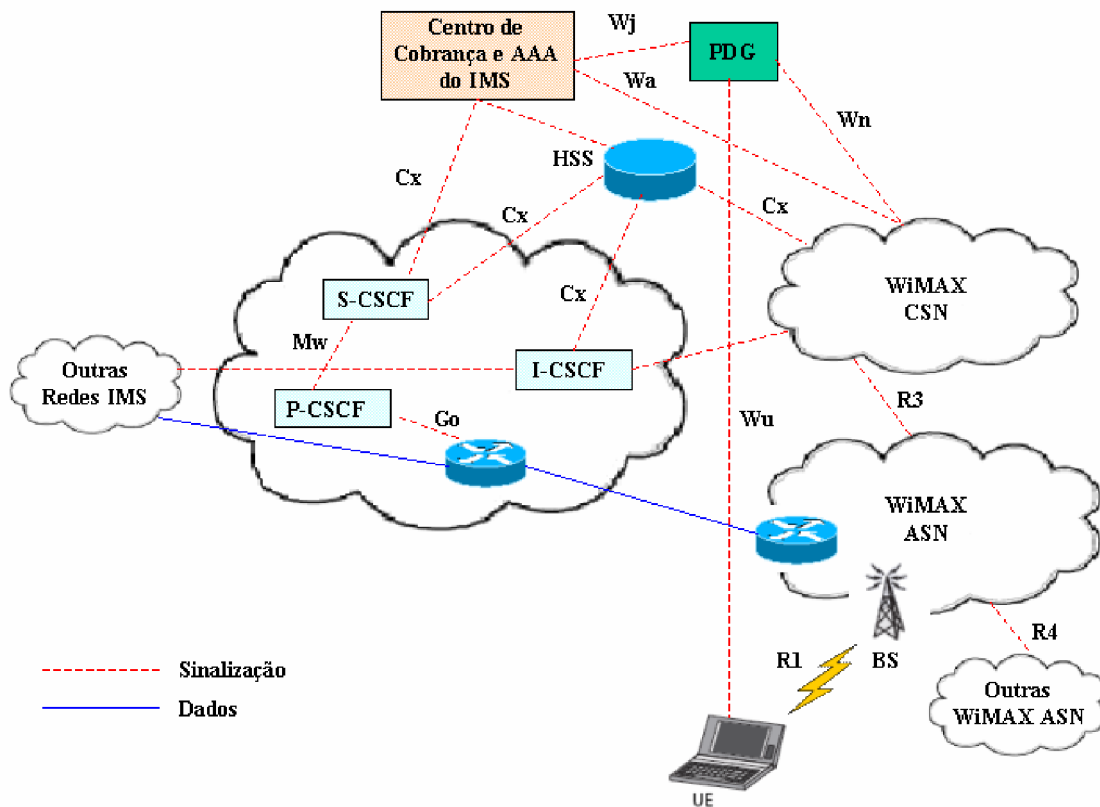


Figura 5.1 – Arquitetura de integração IMS-WiMAX, adaptada de [28].

Segundo os autores de [41], outros pontos importantes devem ser levados em consideração na integração IMS-WiMAX, como: (i) a descoberta e alocação do P-CSCF em cenários de *roaming*; e (ii) o suporte das redes de acesso IEEE 802.16e aos novos serviços baseados na arquitetura IMS.

Em cenários onde não há *roaming*, os usuários estão conectados nas redes de suas prestadoras e, portanto, acessam os serviços e aplicações por meio de suas redes domésticas (HCSN, *Home Connectivity Service Network*). Por outro lado, nos cenários com *roaming*, e, quando o CSN da rede visitada também suporta as funcionalidades da arquitetura IMS, os usuários acessam os serviços e aplicações disponíveis na rede doméstica usando o P-CSCF da rede visitada.

Os procedimentos definidos pelo 3GPP para a descoberta do P-CSCF incluem a utilização do protocolo PDP (*Packet Data Protocol*), baseado no contexto e específico das redes de acesso GPRS, bem como uma abordagem genérica baseada no DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*), que pode ser utilizada nos cenários com outras tecnologias de redes de acesso.

Nesta abordagem genérica, as estações móveis usam o servidor DHCP SIP para solicitar os endereços P-CSCF (FQDNs, *Fully Qualified Domain Names*). Além disso, durante o procedimento de autenticação dos terminais, a ASN indica sua capacidade de serviços, incluindo as funcionalidades de retransmissão e *proxy* DHCP, ao servidor AAA. Não obstante, o servidor AAA, com base nas informações de capacidade da ASN, nas políticas da rede doméstica e nos perfis dos usuários, fornece os endereços P-CSCF, ou as informações do servidor DHCP, à ASN [41].

No caso de integração das redes de acesso WiMAX com as redes de acesso 3G, os autores de [28] informam que existem dois métodos: (i) fracamente acoplado; e (ii) fortemente acoplado. No método fracamente acoplado, o WiMAX utiliza o servidor AAA da rede 3G, mas os fluxos de dados não trafegam pelo núcleo da rede 3G. Este método garante a independência da rede WiMAX, no entanto resulta em alta latência de *handover* entre as duas redes. Portanto, não é um método adequado para as aplicações e serviços em tempo real.

No modo fortemente acoplado, os fluxos de dados das redes WiMAX passam pelo RNC e pelo núcleo da rede 3G. Ademais, cada uma das redes modifica seus protocolos, interfaces e serviços para atender os requisitos da interconexão. A vantagem deste método é que ele reduz a latência e garante o *soft handover* entre as duas redes de acesso. No entanto, se as redes WiMAX e 3G forem propriedades de diferentes prestadoras, a integração pode ser problemática, pois podem ocorrer conflitos entre as partes na abertura das interfaces de rede. As arquiteturas dos dois métodos de interconexão são mostradas nas Figuras 5.2 e 5.3.

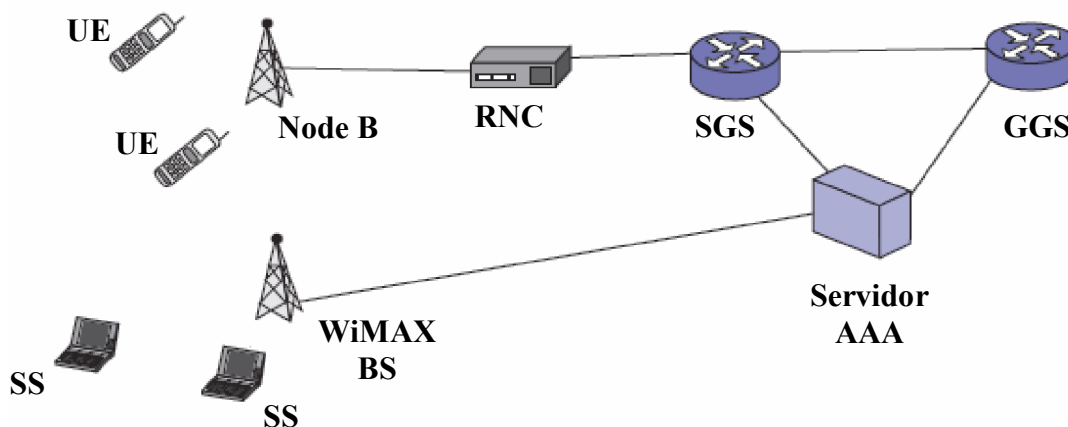


Figura 5.2 – Método fracamente acoplado para a integração WiMAX-3G [28].

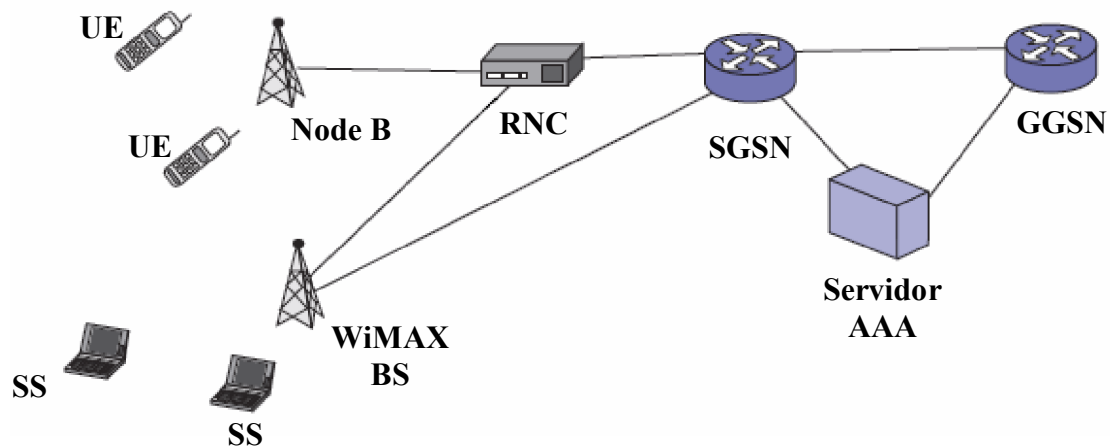


Figura 5.3 – Método fortemente acoplado para a integração WiMAX-3G [28].

Salienta-se que em nossa proposta de arquitetura, descrita no Capítulo 6, não estudamos a integração entre as redes de acesso WiMAX e as redes de acesso 3G, mas somente a integração das redes de acesso WiMAX com núcleo IMS desenvolvido pelo 3GPP, responsável pelo gerenciamento e estabelecimento das sessões multimídias. Além disso, em nossos cenários de simulação não contemplamos a mobilidade dos terminais dos usuários. Deste modo, não há estudos de *handover* e nem casos de *roaming* em nossos experimentos.

5.3 – QUALIDADE DE SERVIÇO (QoS)

O objetivo da QoS é garantir a qualidade adequada na rede de acesso, em conformidade com os perfis dos usuários e os requisitos das aplicações e serviços. Como apresentado no Capítulo 3, o 3GPP definiu quatro classes de QoS com base nos requisitos das diferentes aplicações: conversacional, *streaming*, interativa e *background*. Por outro lado, como apresentado no Capítulo 4, o padrão IEEE 802.16e definiu cinco classes de QoS: UGS, rtPS, ertPS, nrtPS e BE. Assim, conforme os requisitos das aplicações, o mapeamento das classes de QoS pode ser implantado conforme mostra a Tabela 5.1, adaptada de [29].

Classes de QoS do 3GPP (IMS)	Classes de QoS do padrão IEEE 802.16e (WiMAX)
Conversacional	UGS e ertPS
<i>Streaming</i>	rtPS
Interativa	nrtPS e BE
<i>Background</i>	BE

Tabela 5.1 – Arquitetura de integração IMS-WiMAX, adaptada de [29].

Não obstante, os autores de [30] propõem uma arquitetura de QoS híbrida para obter qualidade de serviço fim-a-fim na integração IMS-WiMAX, que inclui os seguintes processos:

- Autenticação de QoS na camada de aplicação por meio da PDF;
- Mapeamento de QoS entre a camada de aplicações e a camada MAC nos equipamentos dos usuários;
- Mapeamento de QoS entre camada MAC e a camada de transporte IP na rede de acesso aos serviços (ASN); e
- Mapeamento de serviços integrados (IntServ) ou serviços diferenciados (DiffServ) no PDG.

Além disso, durante o processo de estabelecimento das sessões multimídias, os equipamentos dos usuários utilizam o protocolo SDP (*Session Description Protocol*) para negociar os parâmetros de QoS, tais como tipo de mídia, taxa de transmissão, latência e *jitter* [30] [31]. Após a reserva de recursos, a rede autoriza o estabelecimento da sessão conforme as características das mídias e as informações do controle de admissão.

Por fim, ressalta-se que a integração IMS-WiMAX deve ser implantada sobre o protocolo IP e não se limitar a uma tecnologia de rede de acesso específica.

6 – SIMULAÇÕES COM O OPNET[®] *MODELER*

6.1 – INTRODUÇÃO

Atualmente, há diversas ferramentas e produtos para simulação disponíveis no mercado. Os usuários podem escolher entre uma vasta gama de softwares livres ou comerciais, tais como: *Network Simulator 2 (NS-2)*, *QualNet*, *OPNET*, *OMNET++*, *NetSim*, *CPSim*, *INSANE*, *IRLSim*, *GTNets*, *J-Sim*, *Packet Tracer*, *SSFNet*, *SWANS*, *CNet* etc.

Os autores de [24] analisaram diversas possibilidades para simular redes baseadas em arquiteturas IMS usando as ferramentas atuais. Essa análise mostrou que nos dias de hoje o OPNET[®] *Modeler*⁵ fornece o maior número de funcionalidades à simulação de redes IMS, o que nos levou à utilização do modelo (*contributed model*) desenvolvido pelos pesquisadores da Universidade Politécnica de Madrid [24].

6.2 – TRABALHOS RELACIONADOS

- Em seu trabalho, utilizando a ferramenta de simulação OPNET[®] *Modeler*, o autor de [42] comparou o desempenho de aplicações de vídeo (IPTV e outros serviços emergentes) sobre as redes de acesso em banda larga WiMAX e ADSL. O estudo analisou vários fatores de desempenho em três terminais de usuários localizados na rede de acesso WiMAX e um terminal de usuário localizado na rede de acesso ADSL, incluindo a perda de pacotes de vídeo, o atraso fim-a-fim dos pacotes, o *jitter* dos pacotes e a vazão. Para o tráfego de vídeo o autor, utilizou o arquivo *video trace* do filme Matrix III, padrão de compressão MPEG-4, com duas horas de duração. As duas redes de acesso foram conectadas a um *backbone* IP, para acessar o servidor de vídeo IPTV. A arquitetura genérica proposta pelo autor é descrita na Figura 6.1.

⁵ O OPNET[®] (*Optimized Network Engineering Tools*) *Modeler* é um ambiente de desenvolvimento e simulação de eventos discretos, destinado para projeto, análise, testes e verificação de um grande número de arquiteturas de redes de comunicação e protocolos. O OPNET[®] *Modeler* dispõe de vários editores que permitem desenvolver, modificar e verificar os modelos e utiliza a linguagem de programação C/C++ para escrever os objetos. Além disso, oferece ferramentas muito úteis à apresentação e análise dos resultados e pode ser instalado nos sistemas operacionais *Microsoft Windows*, *Linux* ou em plataformas *Unix*.

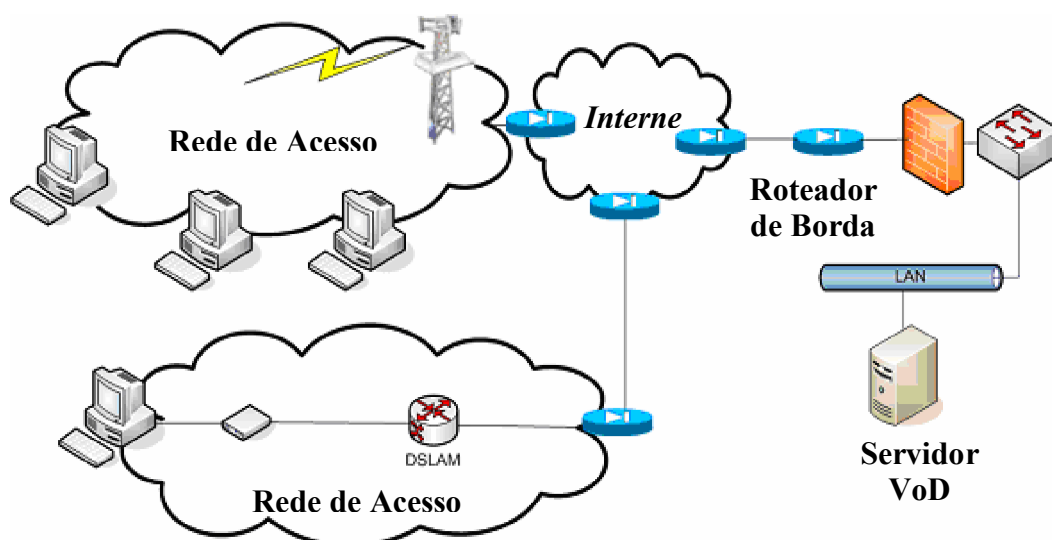


Figura 6.1 – Arquitetura para fluxos de vídeo em redes IEEE 802.16 [42].

Em sua conclusão, considerando as métricas de desempenho utilizadas, o autor informa que as simulações apontaram resultados promissores para as redes de acesso WiMAX, apesar da tecnologia de acesso ADSL apresentar um desempenho melhor. Salienta, ainda, que o WiMAX, em localidades sem infraestrutura, pode contornar os altos custos de implantação e as limitações associadas à distância, da tecnologia de acesso ADSL.

- Considerando a transmissão de fluxos multimídias em redes de comunicações ferroviárias, e, combinando ferramentas de codificação e compressão de vídeo e o simulador *Network Simulator 2* (NS-2), os autores de [43] desenvolveram uma plataforma para avaliar o desempenho da técnica de compressão H.264/SVC sobre as redes de acesso sem fios baseadas no padrão IEEE 802.16e. Segundo os autores, nesse cenário, existe a convivência de diversas aplicações e serviços de vídeos que exigem diferentes níveis de qualidade de serviço, tais como: (i) sistemas de vigilância; (ii) sistemas de prevenção de acidentes; e (iii) aplicações multimídias relevantes para os passageiros. Além disso, há uma grande variedade de dispositivos com diferentes capacidades que vão desde telefones celulares, com telas reduzidas e poder de processamento limitado, aos computadores pessoais, com *displays* de alta definição e alto

poder de processamento. Neste contexto, diversos perfis foram definidos, conforme as necessidades dos usuários, e os resultados obtidos nas simulações mostraram que o padrão H.264/SVC superou outros padrões de compressão de vídeo, como o MPEG-4, H.263 e H.264/AVC, para a transmissão de fluxos multimídias nas redes de comunicações rodoviárias baseadas no WiMAX móvel. Salienta-se que as avaliações dos autores foram baseadas na medição de vários parâmetros objetivos, tais como: (i) a qualidade de reconstruir as mídias; (ii) o atraso e *jitter* dos quadros; e (iii) a evolução de cobertura da rede sob as diferentes sobrecargas dos perfis de tráfego.

- Em sua dissertação de mestrado, utilizando a ferramenta de NS-2, o autor de [44] simulou uma rede de acesso WiMAX para a transmissão de aplicações de vídeo baseadas no padrão de compressão MPEG-4. Para analisar o desempenho e a capacidade do sistema, levando-se em consideração a quantidade de nós na rede, o autor analisou as seguintes métricas: (i) vazão, (ii) perda de pacotes, (iii) *jitter*, (iv) atraso médio e (v) PSNR (*Peak Signal-to-Noise Ratio*). Ademais, combinou o tráfego de vídeo com o tráfego de voz (VoIP), usando diferentes esquemas de agendamento (*scheduling*) e prefixos cíclicos (CP). Em sua conclusão, o autor informa que o aumento de nós na rede afeta diretamente, ou indiretamente, as métricas de qualidade de serviço realizadas nas simulações. Ressalta, ainda, que a classe de QoS rtPS é mais apropriada, às aplicações que combinam tráfegos de vídeo e VoIP, do que a classe UGS.

6.3 – AMBIENTE COMPUTACIONAL PARA SIMULAÇÃO

Foi utilizado para a elaboração deste trabalho um computador da marca Megaware com processador Intel Core 2 Duo 2,4 GHz, memória RAM 2 GB e *hard disk* 160 GB.

6.3.1 – *Softwares*

Os seguintes *softwares* foram utilizados na elaboração deste trabalho:

- OPNET[®] *Modeler* 16.0.A PL6 (Build 10353 32-bit);

- Wireless Network Deployment;
- Microsoft Windows Vista™;
- Microsoft Visual Studio® C++ 9.0 Express Edition.

6.3.2 – Limitações do modelo

As seguintes características técnicas não são disponíveis nos arquivos de *video trace* ou não são suportadas pelo OPNET® *Modeler*:

- Os *video traces* não modelam a componente de áudio;
- O *contributed model* desenvolvido pelos pesquisadores espanhóis não contempla todas as funcionalidades da arquitetura IMS;
- O modelo WiMAX não dispõe de todas as funcionalidades do Modelo de Referência de Rede, mencionado no Capítulo 4, item 4.2.1.

6.3.3 – Topologia da rede

A Figura 6.2 ilustra a topologia proposta para a integração entre as redes de acesso baseadas no padrão IEEE 802.16e e a arquitetura IMS para a prestação de serviços IPTV, que é utilizada nos cenários de simulação deste trabalho.

6.3.3.1 – Mapeamento entre a Figura 5.1 e a Figura 6.2

Como vimos no Capítulo 5, Figura 5.1, os autores de [28] propuseram uma arquitetura de referência para a integração entre as redes de acesso WiMAX e a arquitetura IMS.

Considerando que ferramenta de simulação não implanta todos os nós e interfaces da arquitetura de referência (por exemplo, o HSS e o servidor AAA, da arquitetura IMS, e o CSN na rede WiMAX), presumimos em nossas simulações que todos os usuários já estão autenticados na rede e têm permissão para estabelecer sessões multimídias para as aplicações que serão definidas a seguir.

Ressalta-se, ainda, que as funcionalidades não implementadas na ferramenta de simulação não impactam as avaliações das métricas de QoS que realizamos neste trabalho,

pois os serviços somente estão disponíveis aos usuários após a autenticação na rede e de acordo com seus perfis.

Além disso, o item 4.2.1, do Capítulo 4, informa que a rede ASN é composta por um ou mais ASN-GW e uma ou mais estações rádio bases. No OPNET[®] *Modeler*, o endereço IP do ASN-GW é atribuído nas estações rádio base, conforme mencionado no procedimento 40-5, da documentação do OPNET[®] *Modeler* [46].

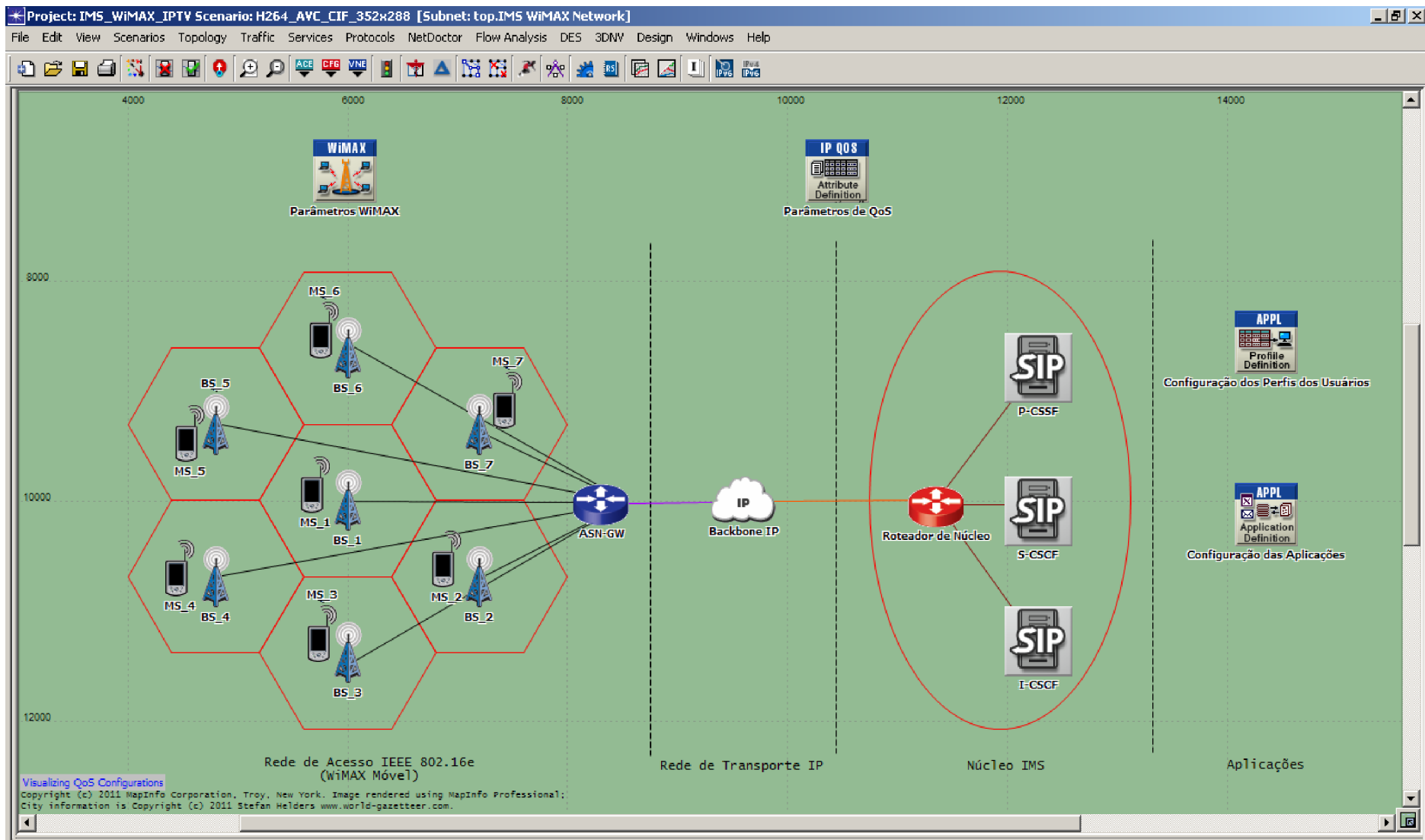


Figura 6.2 – Topologia proposta à integração das redes de acesso WiMAX e o IMS para a prestação de serviços IPTV.

6.3.3.2 – Aplicações

Apesar de este trabalho focar em avaliações sobre a qualidade dos serviços de distribuição de vídeo, foi construído um perfil de usuário que contém aplicações de vídeo, voz (VoIP) e dados (*web browsing*). O objetivo de adicionar essas aplicações foi de tornar os cenários de simulação mais próximos de uma rede de acesso banda larga que oferta serviços convergentes aos consumidores, bem como para criar tráfegos concorrentes com os serviços de vídeo, uma vez que redes dedicadas para a oferta de um único serviço já não são mais a realidade no cenário mundial de telecomunicações.

Para o tráfego de vídeo, utilizamos arquivos de *video traces* da Universidade do Estado do Arizona, nos Estados Unidos [51], disponível em <http://trace.eas.asu.edu>, encapsulados com o protocolo RTP e codificados com os padrões H.264/AVC ou H.264/SVC, taxa de codificação de *bits* variável (VBR), resolução de vídeo 352x288, *frame rate* de 30 quadros por segundo (30 fps), tamanho de GoP (*Group of Picture*) igual a 16, parâmetro de quantização igual a 16 e número de quadros B, entre os quadros I e P, igual a 3. Ressalta-se que adotamos esta resolução, pois estamos considerando em nossos cenários de simulação terminais com dimensões de tela reduzidas e poder de memória e processamento limitados.

Os *video traces* são uma alternativa muito atraente às ferramentas de simulação, pois são arquivos simples que contêm informações do número de *bits* necessários para codificar cada quadro de vídeo, bem como do nível de qualidade da codificação. Ademais, não há problemas de direitos autorais com os arquivos de *videos traces* e, assim, os pesquisadores não necessitam adquirir conhecimentos avançados de codificação de vídeo e nem equipamentos de altos custos para realizar suas pesquisas em redes de comunicação multimídias [32] [33].

No entanto, os arquivos de *video traces* necessitam de um tratamento antes de serem importados para o OPNET[®] *Modeler*. Basicamente, extrai-se o tamanho de cada quadro codificado (*frame size*), faz-se a conversão de *bits* para *bytes* e gera-se um arquivo com extensão “.csv”. Após este processamento, os *video traces* são importados para o OPNET[®] *Modeler* utilizando a aplicação *Video Conferencing* disponível na ferramenta de simulação, como um arquivo de *script*.

No que diz respeito à aplicação de voz, escolhemos o modelo de telefonia sobre o protocolo IP (VoIP) que utiliza algoritmos de compressão com a técnica de supressão de silêncio, codificador ITU-T G.726 com taxa de 32 kbps.

Para os serviços de navegação na *Internet* (dados), utilizamos a aplicação *HTTP Light* disponível no *OPNET® Modeler*, pois, com mencionado anteriormente, nossos terminais têm dimensões de tela reduzidas e poder de memória e processamento limitados. As Figuras 6.3, 6.4 e 6.5 ilustram a seleção das aplicações no *OPNET® Modeler*, bem como os parâmetros utilizados por cada aplicação nos cenários de simulação.

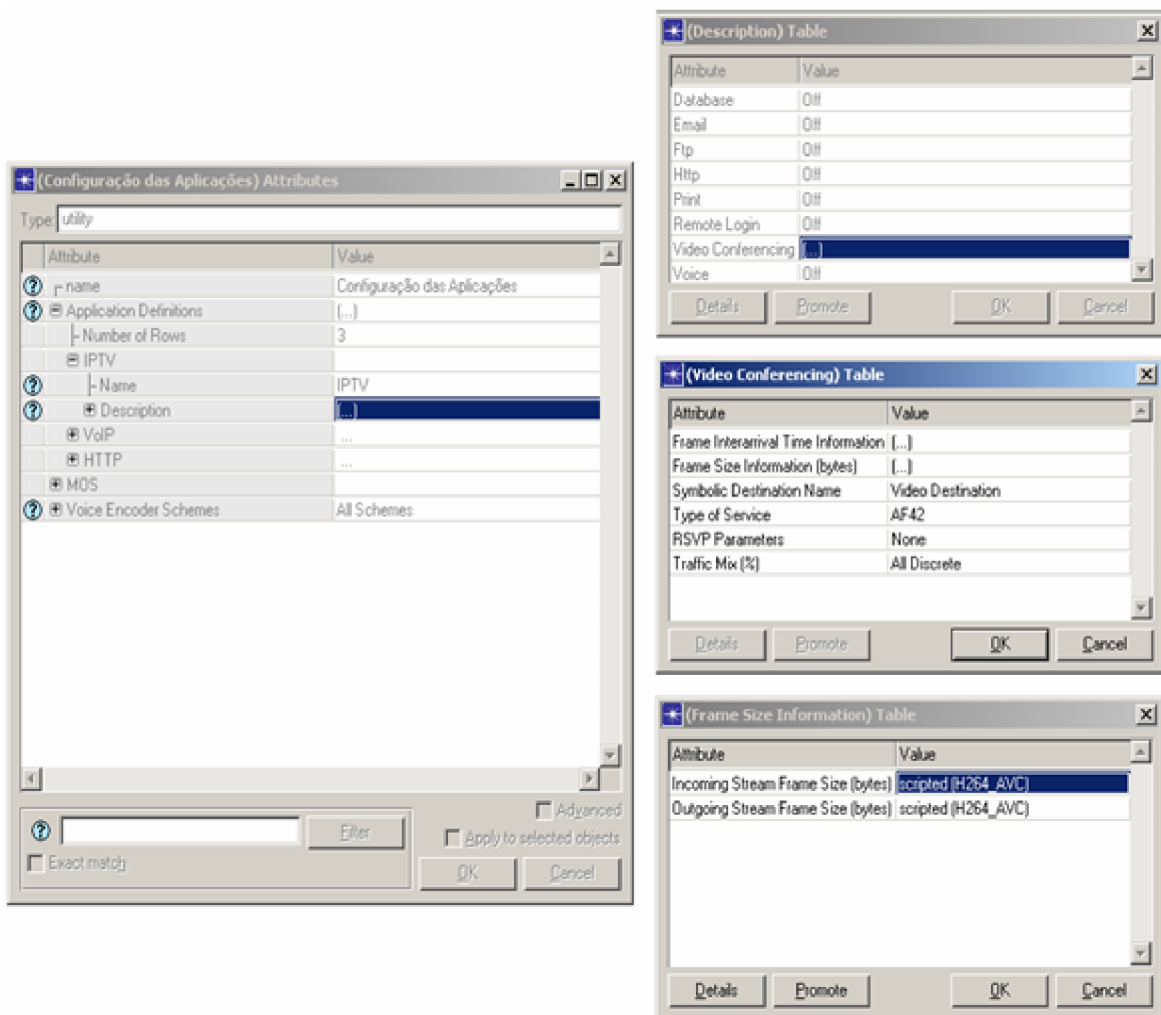


Figura 6.3 – Configurações da aplicação IPTV.

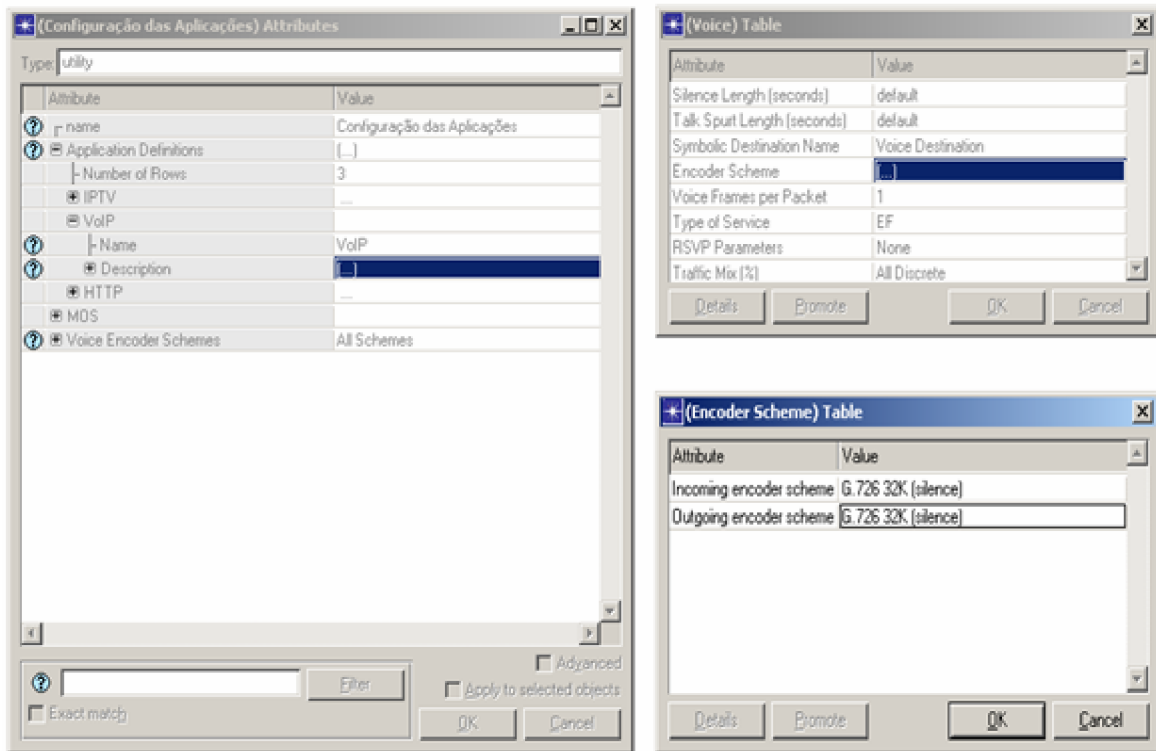


Figura 6.4 – Configurações da aplicação VoIP com supressão de silêncio.

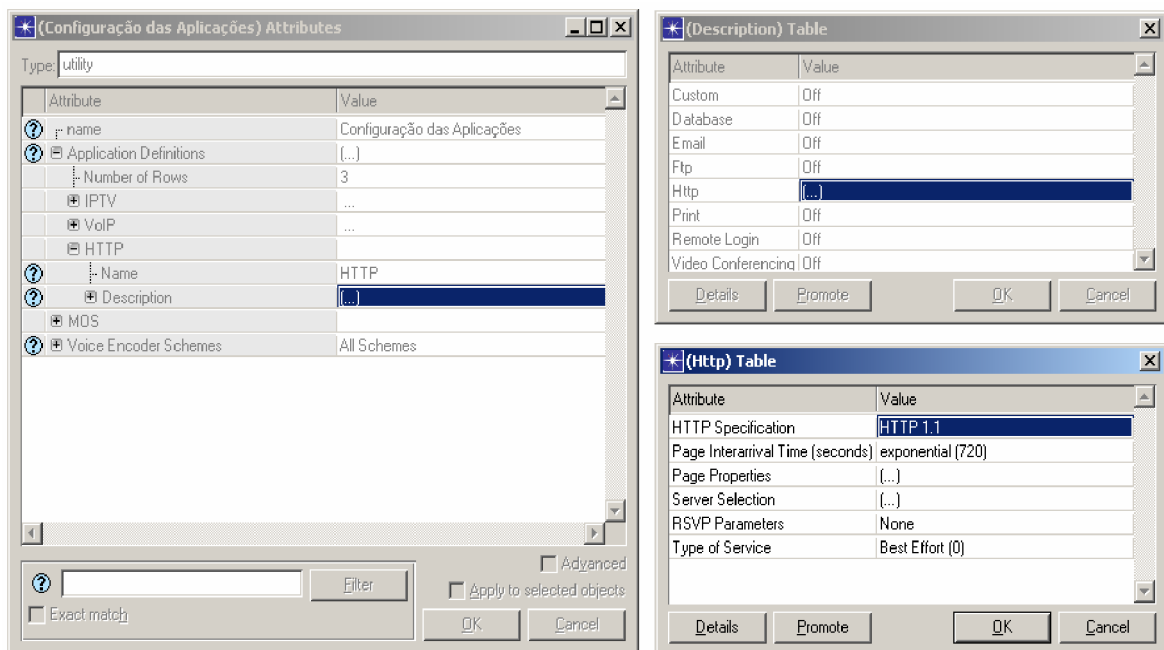


Figura 6.5 – Configurações da aplicação HTTP Light.

A Figura 6.6 mostra o perfil “*Triple_Play_User*” criado para as aplicações de IPTV, VoIP e HTTP *Light*.

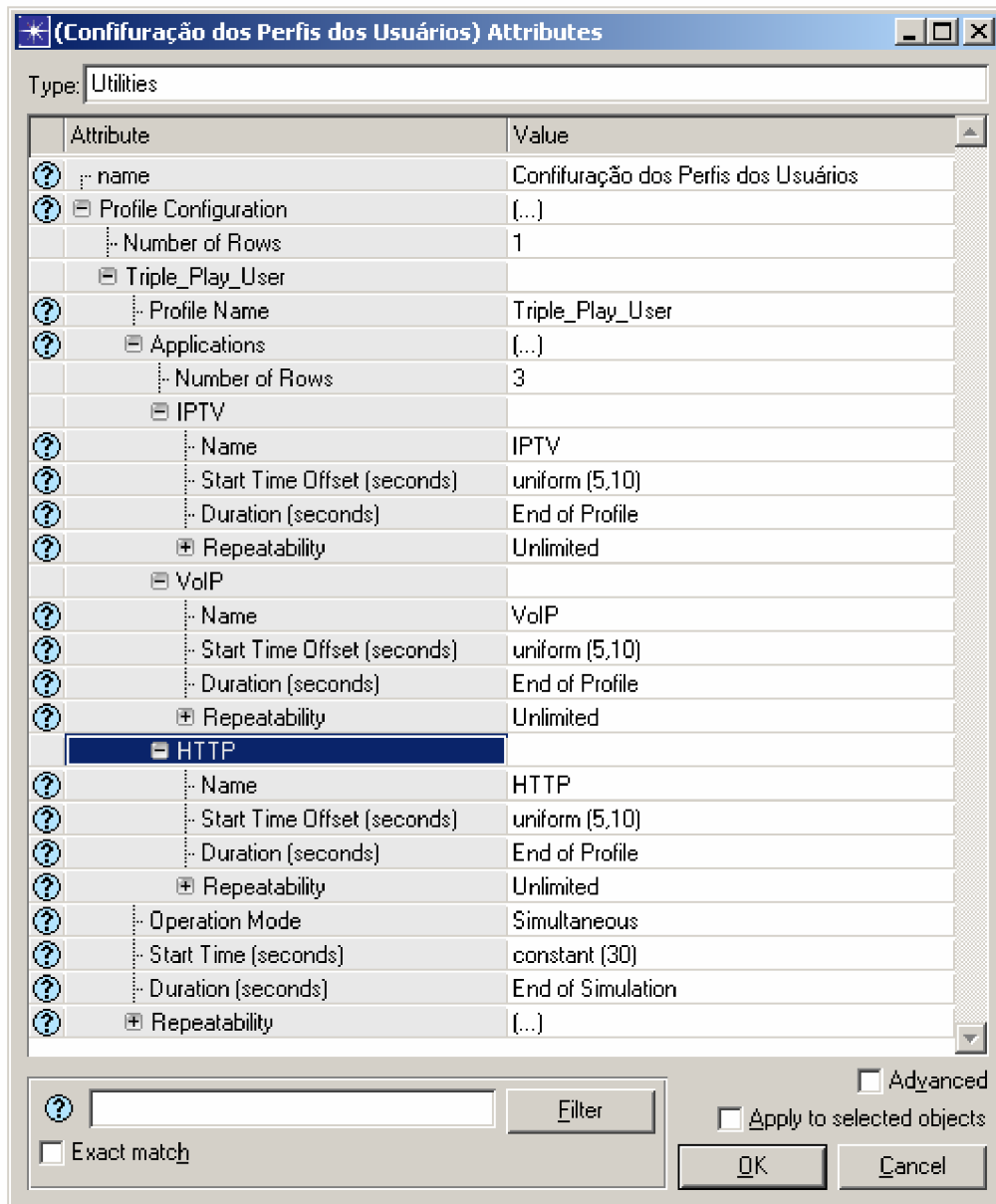


Figura 6.6 – Configuração do perfil *Triple_Play_User*.

6.3.3.3 – Núcleo da rede de controle

Para o controle e estabelecimento das sessões multimídias, utilizamos o modelo SIP-IMS desenvolvido pelos pesquisadores do Departamento de Engenharia de Sistemas

Telemáticos da Universidade Politécnica de Madrid [25], disponível para *download* no sítio da empresa OPNET *Technologies* na *Internet* [52].

Este modelo foi construído com base em documentos técnicos do *release 7* do 3GPP e tem por objetivo solucionar desafios de QoS em redes IMS. Durante seus estudos, os pesquisadores espanhóis analisaram dois dos mais conhecidos simuladores de redes de comunicação: o *Network Simulator (NS-2)* e o OPNET[®] *Modeler*. Os pesquisadores constataram que nenhum desses simuladores fornecia suporte à arquitetura IMS. Além disso, o suporte padrão ao protocolo SIP disponível em ambas as ferramentas é muito limitado, restringindo as análises de desempenho das soluções baseadas no IMS, uma vez que:

- Não permite a utilização de mais de um servidor *proxy* SIP entre dois terminais de usuários interagindo entre si;
- Não tem todos os servidores CSCFs da arquitetura IMS necessários para estabelecer as sessões multimídias;
- Não tem todas as mensagens SIP que fazem parte do estabelecimento de uma sessão entre os CSCFs; e
- Não permite o controle dos processos de atraso dos servidores CSCFs.

Neste contexto, o modelo SIP-IMS desenvolvido pelos pesquisadores espanhóis é um aperfeiçoamento do modelo SIP fornecido na biblioteca padrão do OPNET[®] *Modeler* e permite a realização de simulações baseadas em arquiteturas IMS, contendo:

- Implantação completa do mecanismo de estabelecimento das sessões IMS, incluindo: (i) os três tipos de CSCFs (S-CSCF, P-CSCF, I-CSCF); (ii) os processos UAS (*User Agent Server*) e UAC (*User Agent Client*); e (iii) todas as mensagens do protocolo SIP enviadas entre os CSCFs;
- Suporte a múltiplos domínios e *roaming*;
- Suporte a redundância dos CSCFs;
- Controle de atraso para as mensagens SIP; e
- Controle de atraso às consultas realizadas ao HSS.

Os novos atributos do modelo são mostrados na Figura 6.7. A parte esquerda da figura mostra um servidor *proxy* SIP configurado como um S-CSCF, que serve ao domínio do “operador1.es” na área de Madrid. O termo “área” deve ser entendido como uma forma de atribuir um grupo de usuários a um determinado servidor, não necessariamente a uma área geográfica. Aponta-se que, as consultas ao HSS e o tempo de processamento das mensagens SIP são modelados como um atraso (*delay*).

De outro lado, a parte direita da figura mostra os novos atributos “*SIP UAC Parameters*” do modelo. O atributo “*Domain Name*” é o nome do domínio administrativo da prestadora, enquanto os atributos “*Current Domain*” e “*Current Area*” referem-se à rede atual que está servindo o usuário [25].

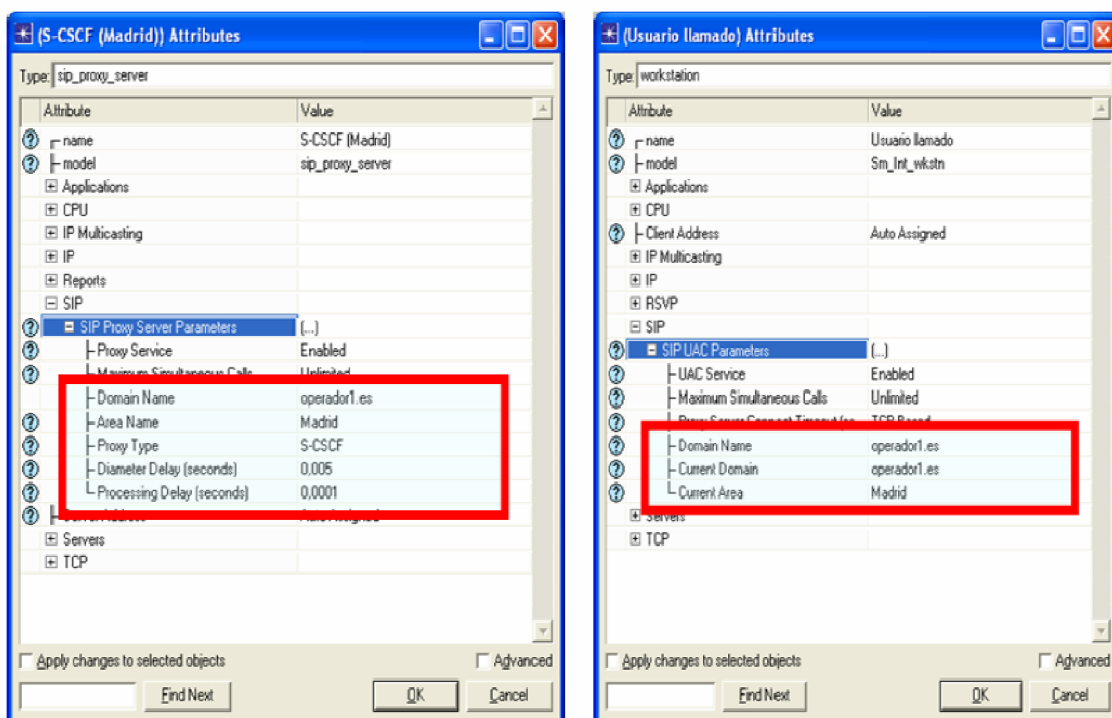


Figura 6.7 – Novos atributos dos servidores *proxy* SIP [25].

Além disso, o modelo SIP-IMS desenvolvido pelos pesquisadores espanhóis permite a simulação de diferentes cenários que envolvem o mecanismo de estabelecimento das sessões. Alguns aspectos que podem ser avaliados, dentre outros, são:

- Influência do tempo de processamento dos CSCFs no estabelecimento das sessões;
- Parâmetros de QoS;
- Impacto do *roaming* no provisionamento de QoS.

Ressalta-se, ainda, que as definições das aplicações, juntamente com os perfis de usuários, informam os parâmetros dos pacotes gerados na rede. Não obstante, são os usuários que executam as aplicações, nenhum processamento dos aplicativos é realizado dentro da estrutura dos servidores CSCFs [26].

As Figuras 6.8, 6.9 e 6.10 mostram as configurações dos três tipos de CSCFs utilizados em nossos cenários de simulação.

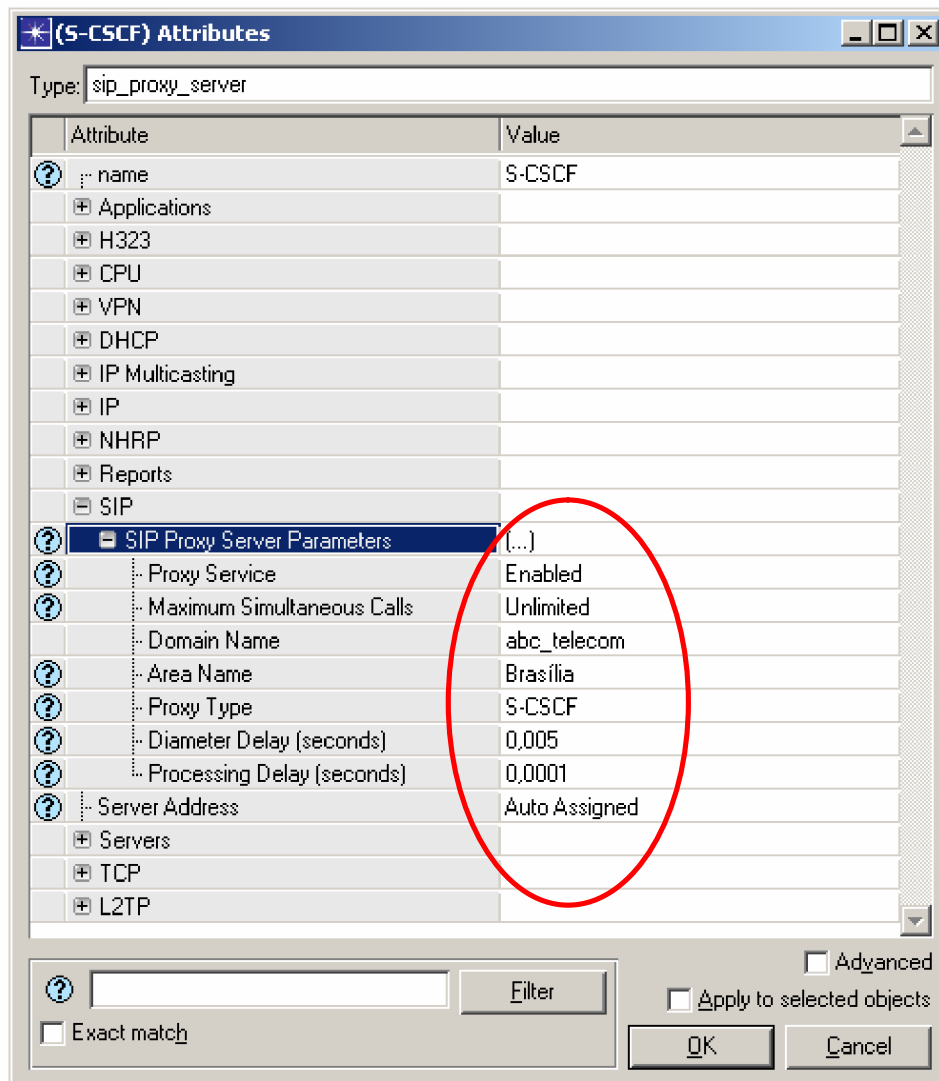


Figura 6.8 – Configurações do S-CSCF.

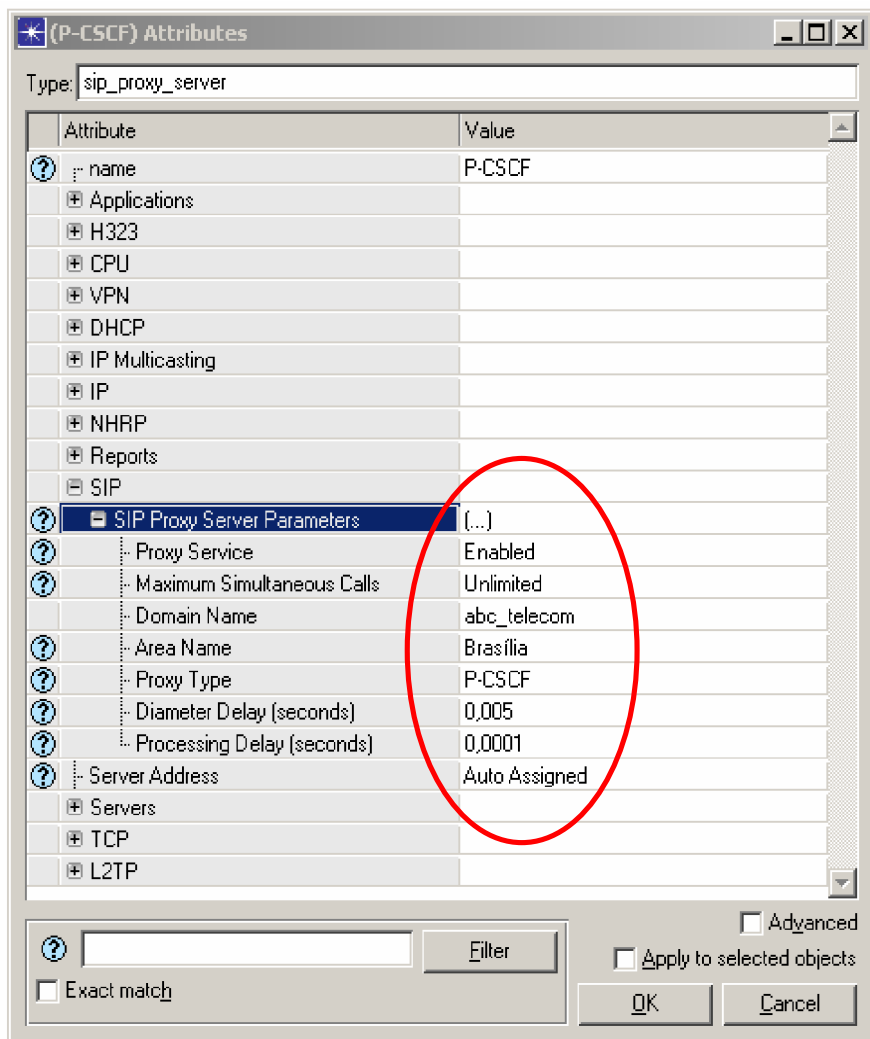


Figura 6.9 – Configurações do P-CSCF.

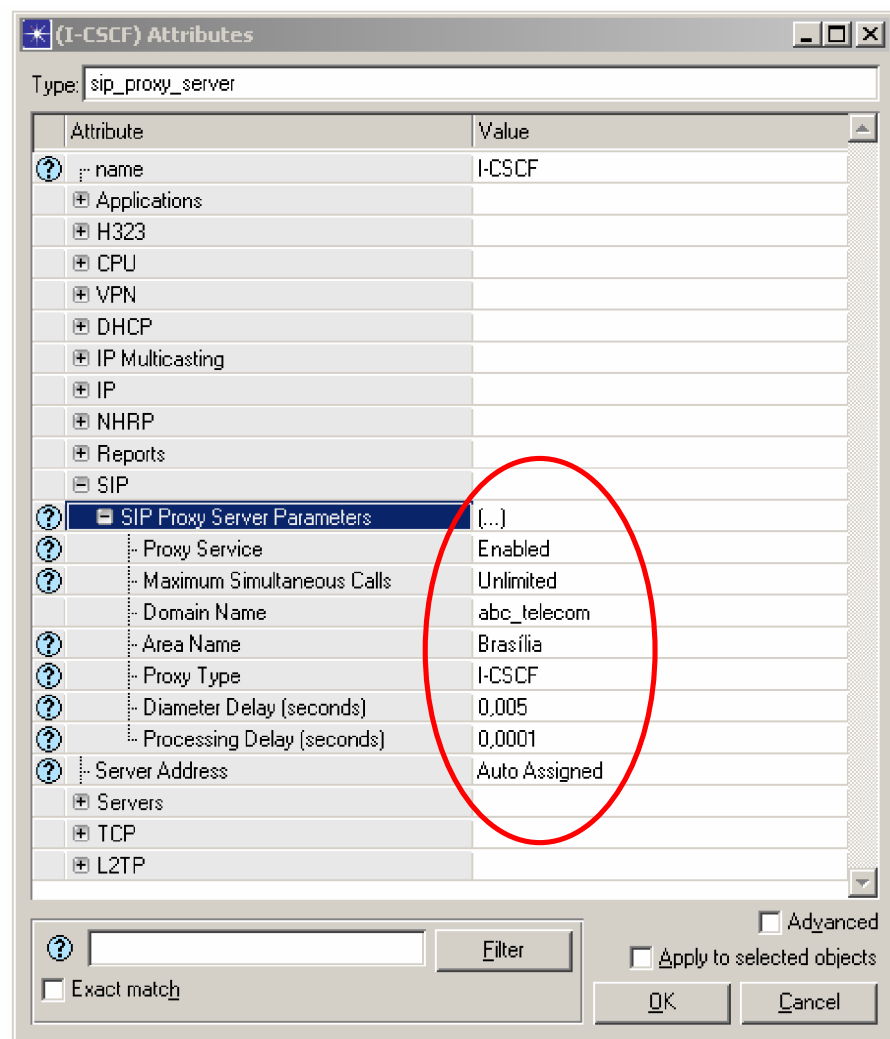


Figura 6.10 – Configurações do I-CSCF

6.3.3.4 – Rede de transporte

Como observado na Figura 6.2, utilizamos em nossos cenários de simulação um *backbone* IP que conecta o núcleo da rede de controle à rede de acesso IEEE 802.16e. Os enlaces utilizados entre o *backbone* IP e o núcleo IMS, bem como entre o *backbone* IP e o ASN-GW, foram modelados como enlaces de fibra óptica.

Para assegurar a qualidade dos serviços na rede de transporte (camada de rede) utilizamos neste trabalho o mecanismo de diferenciação de serviços (DiffServ). A Figura 6.11 ilustra a configuração dos parâmetros de QoS na rede de transporte da topologia utilizada em nossos cenários de simulação.

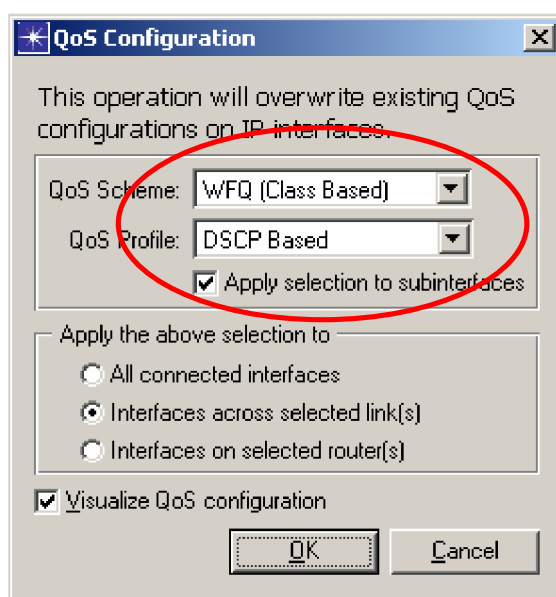


Figura 6.11 – Configuração dos Parâmetros de QoS na rede de transporte (WFQ, *Weighted Fair Queuing*; DSCP, *Differentiated Services Code Point*).

6.3.3.5 – Rede de acesso WiMAX (802.16e)

O OPNET[®] *Modeler* inclui um modelo de simulação de eventos discretos que permite a análise de redes metropolitanas sem fios baseadas no padrão IEEE 802.16e (WiMAX Móvel). A Tabela 6.1 mostra as características suportadas pelo modelo WiMAX no OPNET[®] *Modeler*.

Características	
Camada MAC	<ul style="list-style-type: none"> • Qualidade de serviço (QoS) • Classes de serviços • Mecanismos de requisição de banda • Modulação e codificação • Suporte ao Ipv4 e Ipv6 • Tráfegos <i>unicast</i>, <i>broadcast</i> e <i>multicast</i> • Capacidade de reserva de <i>subframes</i> • <i>Overbooking</i> e <i>underbooking</i> para o controle de admissão • Suporte a ARQ (<i>Automatic Retransmission Request Support</i>) • Suporte à HARQ (<i>Hybrid Automatic Retransmission Request</i>)
Camada Física	<ul style="list-style-type: none"> • Modelagem de perda de pacotes • <i>PHY Layer Overhead and Impairment Modeling</i> • <i>Partially Used of Sub-Carrier (PUSC)</i> • <i>Fully Used of Sub-Carrier (FUSC)</i>
Mobilidade	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Handover</i> • <i>Ranging and initial SS-BS association</i> • Modulação e codificação adaptativa (<i>AMC, Adaptive Modulation and Coding</i>) • Mensagens ASN (<i>Access Service Network</i>)
Mensagens MAC	<ul style="list-style-type: none"> • <i>MAC data messages</i> • <i>MAC control messages</i> • <i>MAC control signals</i>

Tabela 6.1 – Características do modelo WiMAX implantado no OPNET[®] *Modeler* [46].

Além disso, o modelo WiMAX do OPNET[®] *Modeler* inclui as seguintes classes de serviços: (i) UGS; (ii) rtPS; (iii) ertPS; (iv) nrtPS; e (iv) *Best Effort*.

Para a técnica OFDMA, os seguintes esquemas de modulação e codificação são suportados pelo modelo: QPSK $\frac{1}{2}$; QPSK $\frac{3}{4}$; 16-QAM $\frac{1}{2}$; 16-QAM $\frac{3}{4}$; 64-QAM $\frac{1}{2}$; 64-QAM $\frac{2}{3}$; 64-QAM $\frac{3}{4}$; 64-QAM $\frac{5}{6}$; e AMC.

As Figuras 6.12, 6.13, 6.14, 6.15 e 6.16 ilustram os parâmetros do modelo WiMAX utilizado nos cenários de simulação deste trabalho.

Figura 6.12 – Definições das Classes de QoS na rede de acesso WiMAX.

	Service Class Name	Scheduling Type	Maximum Sustained Traffic Rate (bps)	Minimum Reserved Traffic Rate (bps)	Maximum Latency (milliseconds)	Maximum Traffic Burst (bytes)	Traffic Priority	Unlabeled
0	IPTV	rtPS	10 Mbps	5 Mbps	30.0	0	Not Used	Aut
1	VoIP	ertPS	384 Kbps	384 Kbps	10	0	Not Used	Aut
2	HTTP	Best Effort	1 Mbps	0.5 Mbps	30.0	0	Not Used	Aut

3 Rows

Show row labels

Figura 6.13 – Definições das características da interface aérea (PHY).

	Profile Name	Frame Duration (milliseconds)	Symbol Duration (microseconds)	Number of Subcarriers	Frame Structure	Duplexing Technique	TC Sublayer Overhead Factor	Frequency Band
0	WirelessOFDMA 10 MHz	5	102.86 (n=28/25, ...)	1024	(...)	TDD	0	(...)

1 Rows

Show row labels

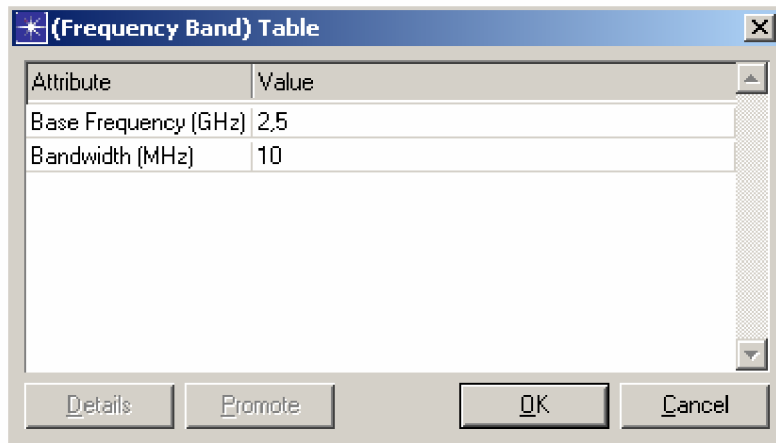


Figura 6.14 – Definições da banda de frequência e da largura de banda.

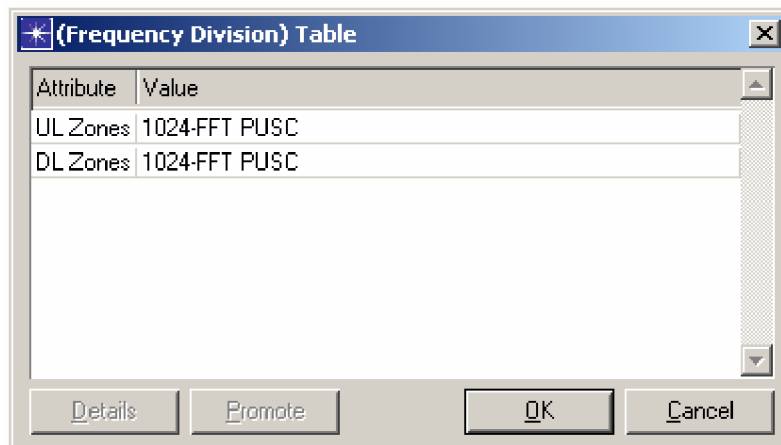


Figura 6.15 – Definições do método de permutação das subportadoras OFDM.

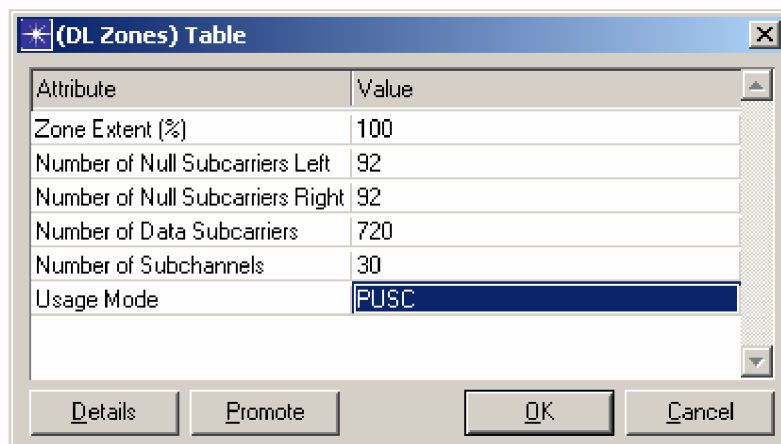


Figura 6.16 – Definições do método de permutação das subportadoras OFDM no enlace direto (DL PUSC).

Nota-se que, as classes de QoS dos serviços foram definidas conforme as informações da Tabela 4.4: (i) rtPS para os serviços IPTV; (ii) ertPS para os serviços VoIP com supressão de silêncio; (iii) e *Best Effort* para os serviços de navegação na *Internet*.

Além disso, estabelecemos os parâmetros da camada física com as seguintes características:

- Faixa de frequência: 2,5 GHz;
- Largura de banda: 10 MHz;
- Tamanho da FFT: 1024;
- Duplexação: TDD; e
- Método de permutação das subportadoras OFDM: PUSC.

Ressalta-se que escolhemos a faixa de frequência de 2,5 GHz, pois esta é uma das faixas identificadas pela UIT-R para os serviços móveis de telecomunicações em banda larga. Ademais, a Resolução da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) nº 544, de 11 de agosto de 2010, que modificou a destinação de radiofrequências nas faixas 2.170 MHz a 2.182 MHz e de 2.500 MHz a 2.690 MHz e republicou o Regulamento sobre as condições de uso de radiofrequências nas faixas de 2.170 MHz a 2.182 MHz e 2.500 MHz a 2.690 MHz, destinou a faixa de 2.570 MHz a 2620 MHz, em caráter primário, às prestadoras do Serviço Móvel Pessoal (SMP), do Serviço de Comunicação Multimídia (SCM) e do Serviço de Distribuição de Sinais Multiponto Multicanal (MMDS), utilizando a técnica de duplexação TDD [34].

Outrossim, o Conselho Diretor da Anatel, em sua 576^a Reunião, realizada em de agosto de 2010, autorizou a homologação dos equipamentos da tecnologia WiMAX para operar na faixa de 2,5 GHz. Neste contexto, assim que sejam realizadas novas licitações para o uso da faixa de 2,5 GHz, previstas para o ano de 2012, espera-se que o padrão IEEE 802.16e seja uma das tecnologias utilizadas para a massificação da banda larga no Brasil, objetivo do Programa Nacional de Banda Larga (PNBL), instituído pelo Decreto nº 7.175, de 12 de maio de 2010 [35].

Para as estações rádio base, utilizamos os parâmetros de configuração mostrados na Figura 6.17, a seguir:

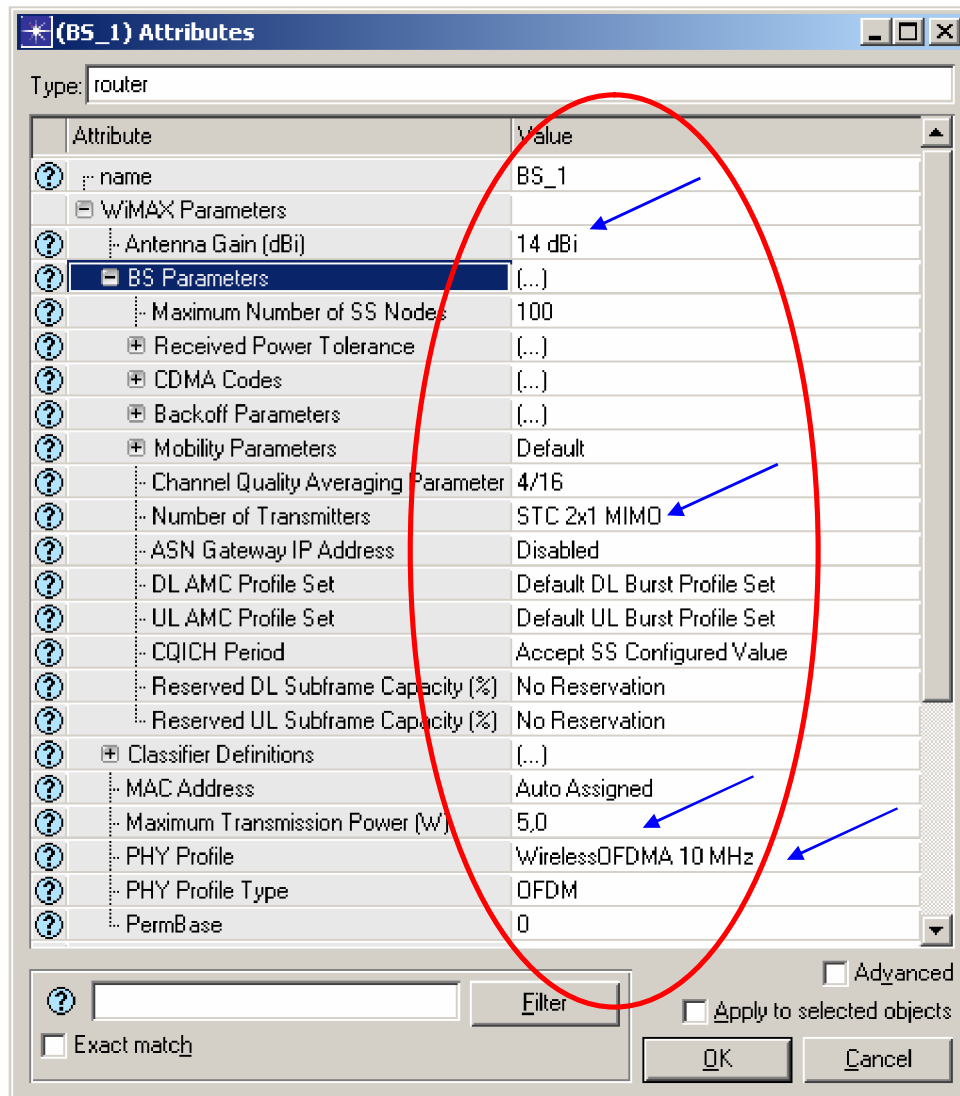


Figura 6.17 – Definições dos parâmetros das estações rádio base.

Os perfis da técnica de modulação adaptativa nos enlaces direto e reverso são ilustrados nas Figuras 6.18 e 6.19.

	Mandatory Exit Threshold (dB)	Minimum Entry Threshold (dB)	Modulation and Coding
0	0,0	4,0	QPSK 1/2
1	5,0	10	QPSK 3/4
2	12	18	16-QAM 1/2
3	19	24	16-QAM 3/4
4	25	26	64-QAM 1/2
5	27	28	64-QAM 2/3
6	29	30	64-QAM 3/4

Figura 6.18 – Configuração dos parâmetros da técnica de modulação adaptativa no enlace direto.

	Mandatory Exit Threshold (dB)	Minimum Entry Threshold (dB)	Modulation and Coding
0	-20	2,0	QPSK 1/2
1	5,0	5,9	QPSK 3/4
2	8,0	8,9	16-QAM 1/2
3	11	11,9	16-QAM 3/4
4	14	14,9	64-QAM 1/2
5	17	17,9	64-QAM 2/3
6	19	19,9	64-QAM 3/4

Figura 6.19 – Configuração dos parâmetros da técnica de modulação adaptativa no enlace reverso.

Como observado na Figura 6.17, as estações rádio base utilizam antenas MIMO 2x1 com ganho de 14dBi e potência de transmissão de 5 W. Salienta-se que estes parâmetros estão em conformidade com o limite da potência EIRP (30 dBW) estabelecido

no Regulamento sobre Condições de Uso de radiofrequências nas Faixas de 2.170 MHz a 2.182 MHz e de 2.500 MHz a 2.690 MHz, aprovado pela Resolução da Anatel nº 544, de 11 de agosto de 2011 [34].

No contexto das estações móveis, utilizamos os parâmetros mostrados nas Figuras 6.20, 6.21 e 6.22.

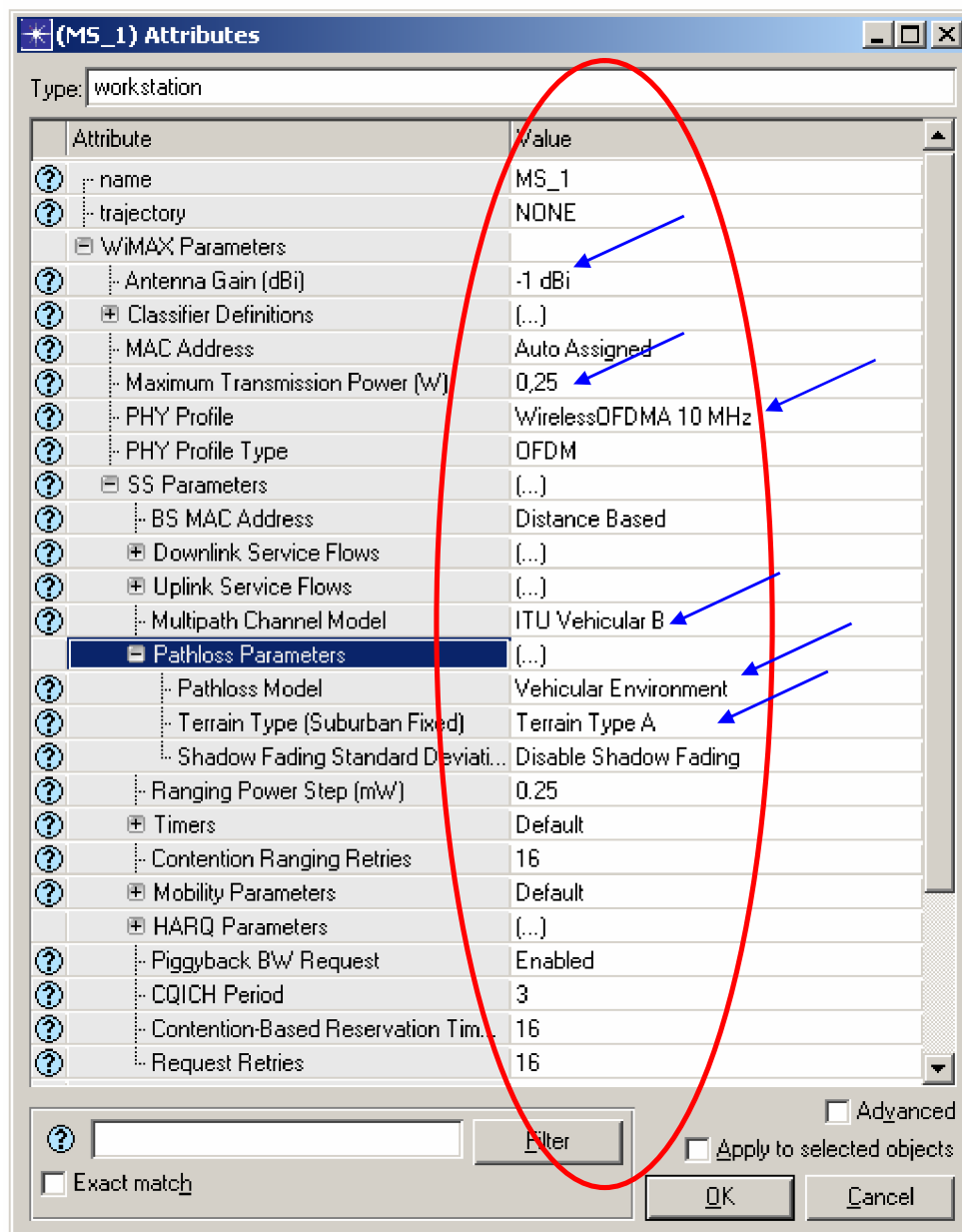


Figura 6.20 – Configuração dos parâmetros das estações móveis.

	Service Class Name	Modulation and Coding	Average SDU Size (bytes)	Activity Idle Timer (seconds)	Buffer Size (bytes)
0	IPTV	Adaptive	1500	60	256 KB
1	VoIP	Adaptive	1500	60	64 KB
2	HTTP	Adaptive	1500	60	64 KB

Figura 6.21 – Configuração dos fluxos de serviços no enlace direto.

	Service Class Name	Modulation and Coding	Average SDU Size (bytes)	Activity Idle Timer (seconds)	Buffer Size (bytes)
0	IPTV	Adaptive	1500	60	128 KB
1	VoIP	Adaptive	1500	60	64 KB
2	HTTP	Adaptive	1500	60	64 KB

Figura 6.22 – Configuração dos fluxos de serviços no enlace reverso.

Como observado na Figura 6.20, as estações móveis utilizam antenas com ganho de -1 dBi e potência de transmissão de 250 mW. Para o modelo de multipercurso do canal, entre as estações móveis e as estações rádio base, selecionamos o modelo da *UIT Vehicular B* [52]. Considerando um terreno acidentado e com uma concentração de moderada a intensa de árvores, escolhemos o modelo *Terrain Type A* [52]. Além disso, o esquema de modulação adaptativa foi selecionado para todos os serviços (vídeo, voz e dados) do perfil *Triple_Play_User*.

A Tabela 6.2 resume os parâmetros utilizados nos cenários de simulação deste trabalho.

Parâmetros	
Raio da Célula (Hexagonal)	0,8 km
Faixa de Frequência	2,5 GHz
Largura de Banda	10 MHz
Número de Subportadoras OFDM	1024
Técnica de Duplexação	TDD
Classes de QoS	rtPS (IPTV)
	ertPS (VoIP)
	BE (HTTP)
Antena (Estação Rádio Base)	MIMO 2x1
Ganho da Antena (Estação Rádio Base)	14 dBi
Potência do Transmissor (Estação Rádio Base)	5 Watts
Ganho da Antena (Estação Móvel)	- 1 dBi
Potência do Transmissor (Estação Móvel)	0,25 Watts
Modulação e Codificação (Enlace Direto)	Adaptativa
Modulação e Codificação (Enlace Reverso)	Adaptativa
Modelo de Multipercurso	<i>ITU Vehicular B</i>
Modelo de <i>Pathloss</i>	<i>Vehicular Enviroment</i>
Tipo de Terreno	<i>Terrain Type A</i>

Tabela 6.2 – Resumo dos parâmetros de configuração das redes de acesso WiMAX utilizados nos cenários de simulação.

6.3.4 – Mapeamento de QoS e pilha de protocolos

A Tabela 6.3 mostra o mapeamento de QoS relativo aos serviços definidos no item 6.3.3.2, entre as diferentes camadas da topologia de integração IMS-WiMAX, proposto nos cenários de simulação deste trabalho.

Aplicações (Serviços)	Controle (3GPP – IMS)	Rede de Transporte (DiffServ)	Rede de Acesso (WiMAX)
IPTV	<i>Streaming</i>	AF 42 [53]	rtPS
VoIP	Conversacional	EF [54]	ertPS
HTTP (<i>web browsing</i>)	Interativa	DF (BE) [54]	BE

Tabela 6.3 – Mapeamento de QoS entre as camadas da topologia de integração IMS-WiMAX para a prestação de serviços convergentes.

Por outro lado, a Figura 6.23 ilustra a pilha de protocolos utilizada para os serviços IPTV baseados na integração das redes de acesso WiMAX e a arquitetura IMS, foco da dissertação.

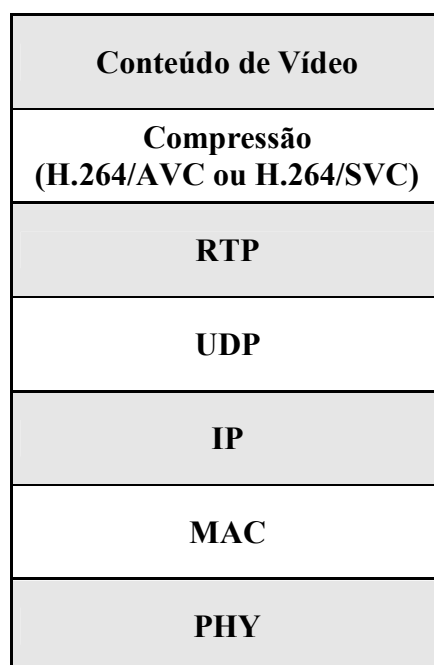


Figura 6.23 – Pilha de protocolos dos serviços IPTV sobre as redes de acesso WiMAX.

Não obstante, todo o estabelecimento das sessões multimídias é realizado por meio do protocolo SIP, entre as estações móveis e o núcleo IMS.

7 – RESULTADOS OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES

7.1 – INTRODUÇÃO

Em todos os cenários de simulação utilizamos o vídeo das Olimpíadas de Tóquio com duração de 74 minutos [51]. No entanto, o tempo de simulação estabelecido para todos os cenários foi de 60 minutos. No Cenário 1, usamos um arquivo *video trace* H.264 AVC *Single Layer*; para o Cenário 2 utilizamos um arquivo *video trace* H.264/SVC *Spatial Scalable - QCIF Based Layer*; e para o Cenário 3, usamos um arquivo *video trace* H.264/SVC *Spatial Scalable - CIF Enhancement Layer*.

Outrossim, para avaliar o desempenho dos serviços de vídeo sobre o protocolo IP, que continuamente estão sujeitos às variações de largura de banda, atraso e perda de pacotes, um conjunto de métricas de desempenho foi identificado para a comparação entre os sistemas. Estas métricas podem ser classificadas em medidas de qualidade objetiva ou medidas de qualidade subjetiva. As métricas objetivas incluem: (i) perda de pacotes, (ii) atraso (*delay*); (iii) *jitter*; (iv) taxas de transferência de dados (vazão); e (v) PSNR. Por outro lado, as métricas subjetivas, que tentam quantificar a satisfação dos usuários classificando a qualidade da imagem percebida, incluem: (i) DSIS (*Double Stimulus Impairment Scale*); (ii) DSCQS (*Double Stimulus Continuous Quality Scale*); (iii) SCAJ (*Stimulus Comparison Adjectival Categorical Judgment*); e (iv) SAMVIQ (*Subjective Assessment Method for Video Quality Evaluation*) [36].

Em nosso trabalho, foram consideradas as seguintes métricas de avaliação de desempenho: (i) atraso; (ii) taxa de perda de pacotes; (iii) *jitter*; e (iv) vazão. Tais métricas são descritas a seguir.

- Atraso (*delay*)

O atraso de pacotes é igual ao tempo médio de transmissão entre os servidores IPTV e os terminais dos usuários, incluindo o tempo de transmissão do enlace, o atraso de propagação, bem como o tempo de processamento e os atrasos de enfileiramento nos elementos de rede. Essa métrica pode ser calculada da seguinte forma [37]:

$$A_{fim-a-fim} = Q(A_{proc} + A_{fila} + A_{enlace} + A_{prop}), \quad (7.1)$$

em que:

Q é o número de elementos da rede (roteadores, *switches* e *firewalls*) entre o transmissor e o receptor;

A_{proc} é o atraso de processamento dos elementos de rede;

A_{fila} é o atraso de enfileiramento dos elementos de rede;

A_{enlace} é o tempo de transmissão dos pacotes nos enlaces da rede; e

A_{prop} é o atraso de propagação dos pacotes nos enlaces da rede

- Taxa de perda de pacotes

A taxa de perda de pacotes (PLR, *Packet Loss Ratio*) é igual ao número pacotes que foram perdidos na transmissão em relação ao número total de pacotes esperados na recepção [38], ou seja:

$$PLR = \left[\frac{\text{pacotes_perdidos}}{\text{pacotes_perdidos} + \text{pacotes_recebidos}} \right]. \quad (7.2)$$

- Jitter

Considerando que os atrasos de enfileiramento podem ser dinâmicos e os pacotes de dados podem percorrer caminhos distintos entre os servidores IPTV e os terminais dos usuários, o atraso fim-a-fim poderá variar. Esta variação de atraso de pacotes (PDV, *Packet Delay Variation*) é comumente referida na literatura como *jitter*. O *jitter* pode ser calculado como [39]:

$$j = t_{real} - t_{esperado}, \quad (7.3)$$

em que:

t_{real} é o tempo de recepção real do pacote; e

$t_{esperado}$ é o tempo de recepção esperado do pacote.

- Vazão

Como vimos no Capítulo 4, a vazão é definida como a taxa de transferência efetiva do sistema. Para os fluxos de dados codificados com taxa constante de *bits* (CBR, *Constant Bit Rate*), a vazão pode ser calculada como [39]:

$$R = \left[\frac{(\text{tamanho_do_frame_em_bytes}) \cdot (\text{número_frames_por_segundo}) \cdot (8\text{bits / byte})}{\text{segundos}} \right]. \quad (7.4)$$

A Tabela 7.1 apresenta os limiares das métricas de avaliação de QoS recomendados pela UIT-T (*Network Performance Objectives for IP-based Services, Recommendation ITU-T Y.1541*) para os serviços IPTV [40]. Ressalta-se que esses valores são dependentes da complexidade do sistema de distribuição de vídeo e de propriedades específicas dos codificadores de mídia e, conseqüentemente, não devem ser interpretados como medidas exatas, mas sim como orientações técnicas para a análise de desempenho em nossos cenários de simulação.

Métrica de QoS	Valor
Taxa de perda de pacotes	< 10⁻³
Atraso (ms)	< 400
Jitter (ms)	< 50
Vazão (kbps)	Depende das características dos sistemas de distribuição e codificação de mídias

Tabela 7.1 – Parâmetros de QoS para os serviços IPTV .

7.2 – CENÁRIO 1 (H.264 AVC – *SINGLE LAYER*)

A Tabela 7.2 mostra os principais parâmetros do arquivo *video trace* utilizado neste cenário de simulação.

Codificador	H.264 AVC - <i>Single Layer</i>
Resolução	352x288
<i>Frame rate</i>	30 fps (<i>frame per second</i>)
Número total de quadros	108.000
Tamanho mínimo do quadro (<i>Bytes</i>)	22
Tamanho máximo do quadro (<i>Bytes</i>)	64.156
Tamanho do GoP	16
Padrão de exibição	IBBBPBBBIBBBPBBB

Tabela 7.2 – Parâmetros do *video trace* H.264 AVC – *Single Layer*.

7.2.1 – Perda de Pacotes

As Figuras 7.1 e 7.2 ilustram os resultados obtidos da perda de pacotes do serviço IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX. Salienta-se que dividimos os resultados em duas figuras para facilitar a visualização.

Além disso, a Figura 7.3 apresenta a média da perda de pacotes de todas as estações móveis da arquitetura proposta. Verifica-se que as estações móveis MS_3 e MS_5 apresentaram, em alguns momentos, uma maior perda de pacotes em relação às demais estações móveis do *cluster*. No entanto, em nenhuma das estações móveis o serviço IPTV seria interrompido.

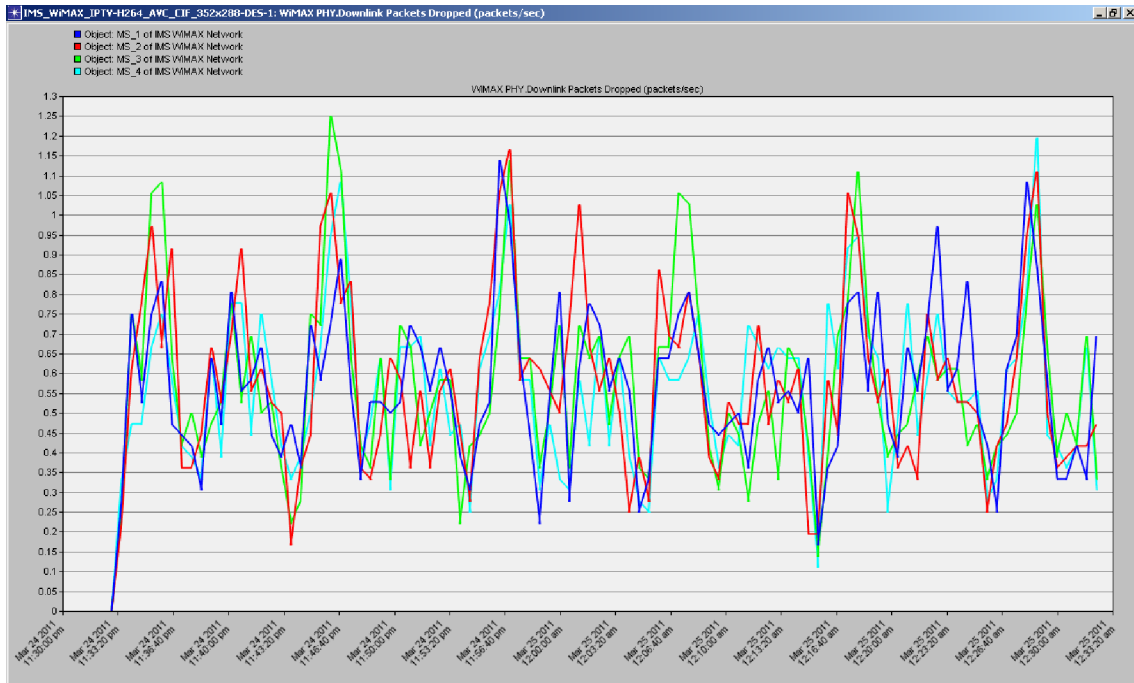


Figura 7.1 – Perda de pacotes dos serviços IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX (MS_1 a MS_4), Cenário 1.

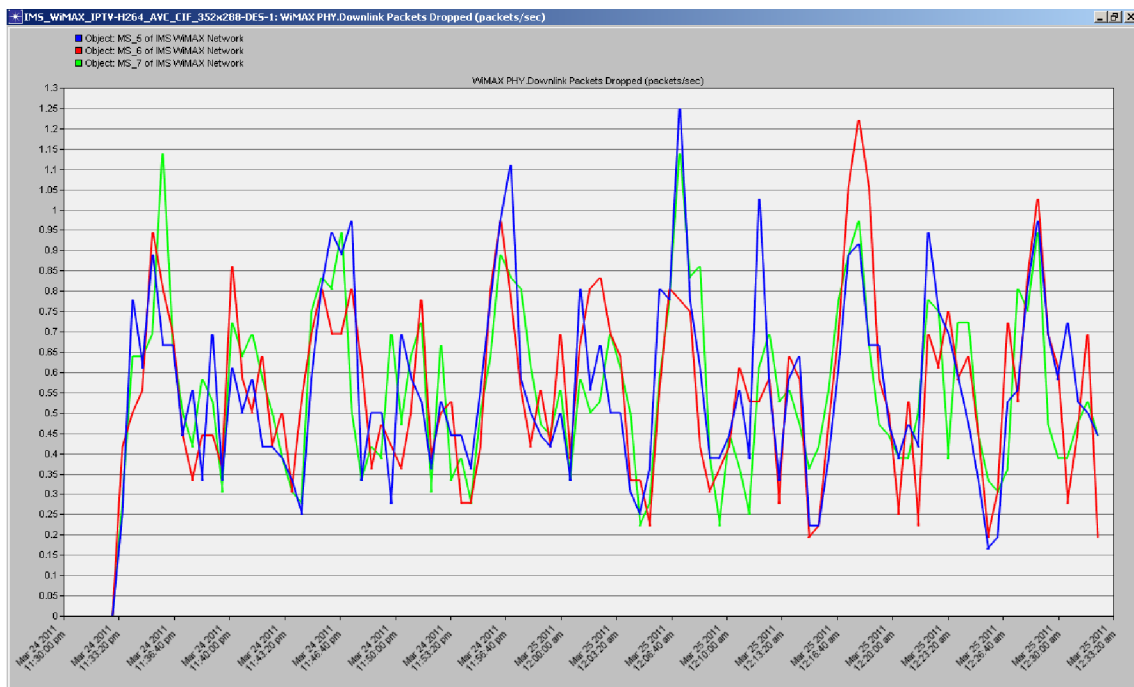


Figura 7.2 – Perda de pacotes dos serviços IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX (MS_5 a MS_7), Cenário 1.

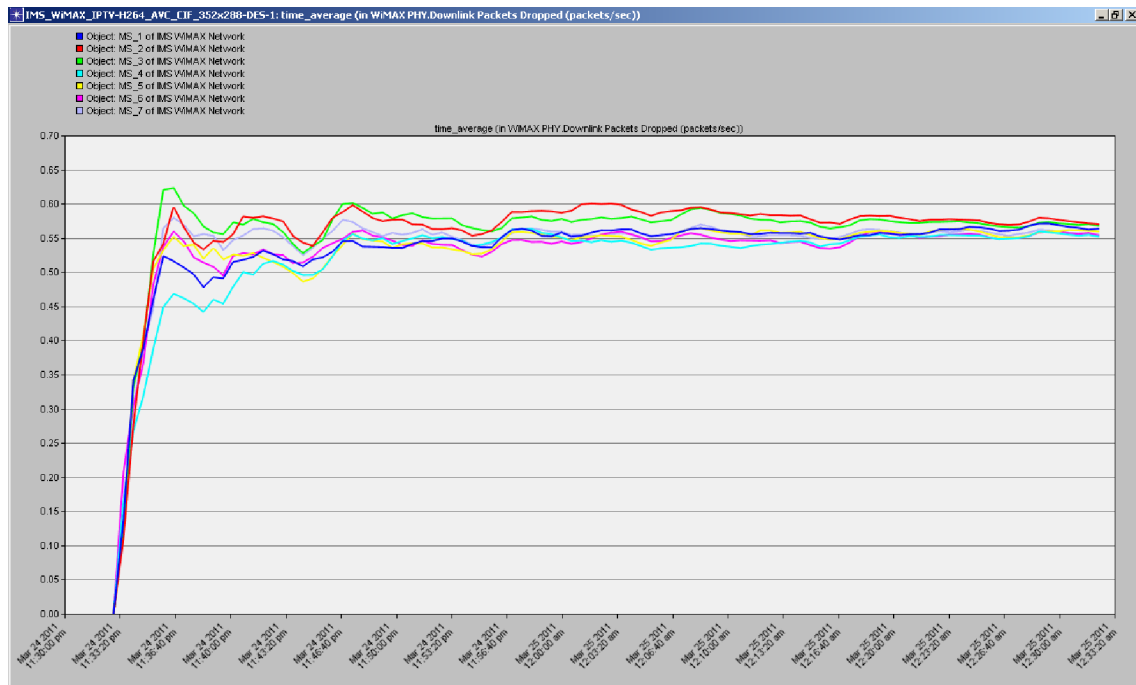


Figura 7.3 – Média da perda de pacotes do serviço IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX, Cenário 1.

7.2.2 – Atraso (*Delay*)

As Figuras 7.4 e 7.5 mostram os resultados da média do atraso fim-a-fim da aplicação IPTV nas estações móveis do *cluster* da rede de acesso WiMAX. Observa-se que as estações móveis apresentaram média do atraso fim-a-fim entre 20 ms e 26 ms.

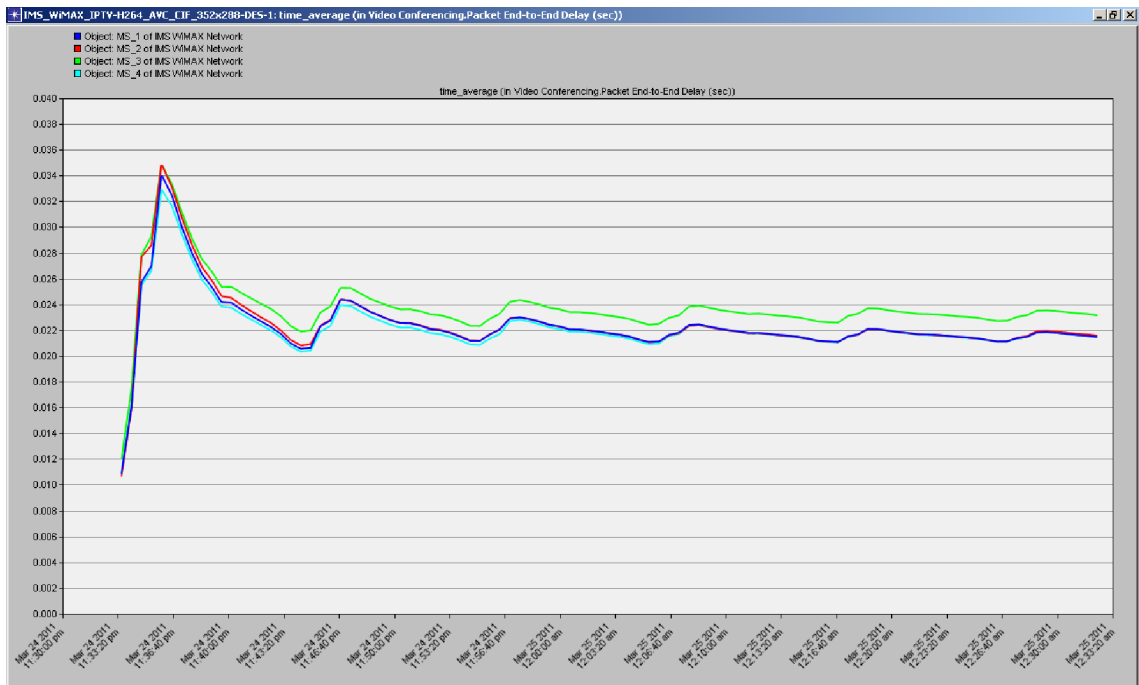


Figura 7.4 – Atraso médio fim-a-fim do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 1.

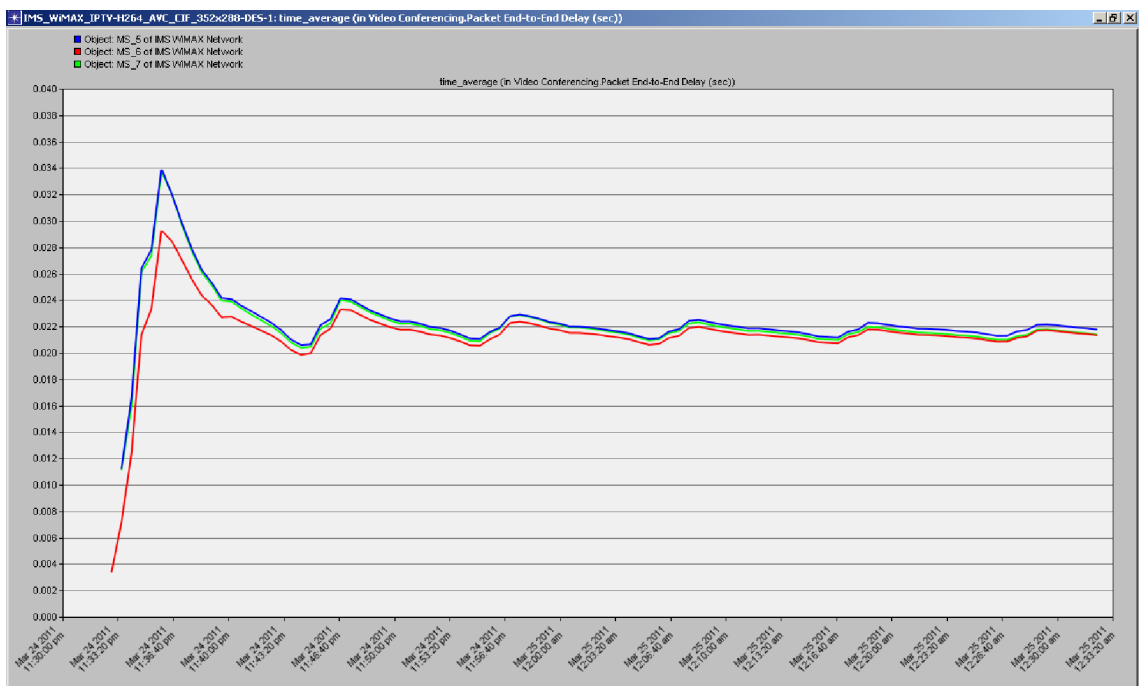


Figura 7.5 – Atraso médio fim-a-fim do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 1.

7.2.3 – Jitter

As Figuras 7.6 e 7.7 mostram os resultados da variação do atraso dos pacotes da aplicação IPTV para este cenário de simulação. Nota-se que a variação do atraso dos pacotes recebidos, em todas as estações móveis da rede de acesso WiMAX, ficou abaixo de 2,5 ms. Além disso, a Figura 7.8 ilustra a média da variação do atraso dos pacotes na recepção do serviço IPTV em todos os terminais de usuários da rede de acesso WiMAX.

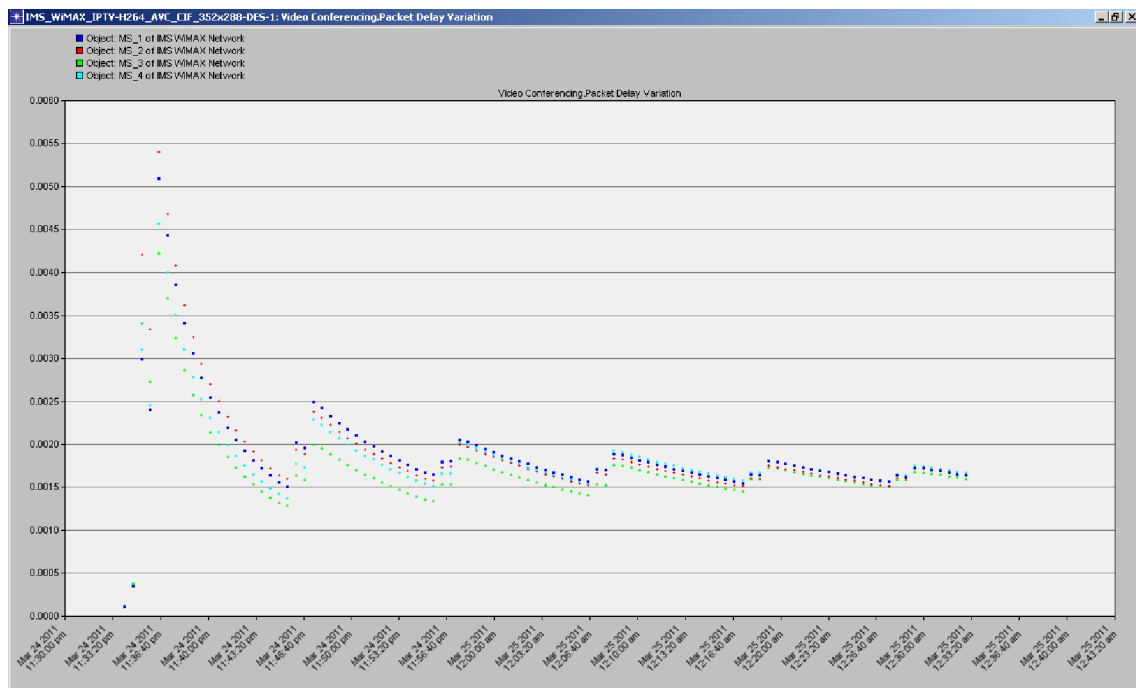


Figura 7.6 – Variação do atraso dos pacotes do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 1.

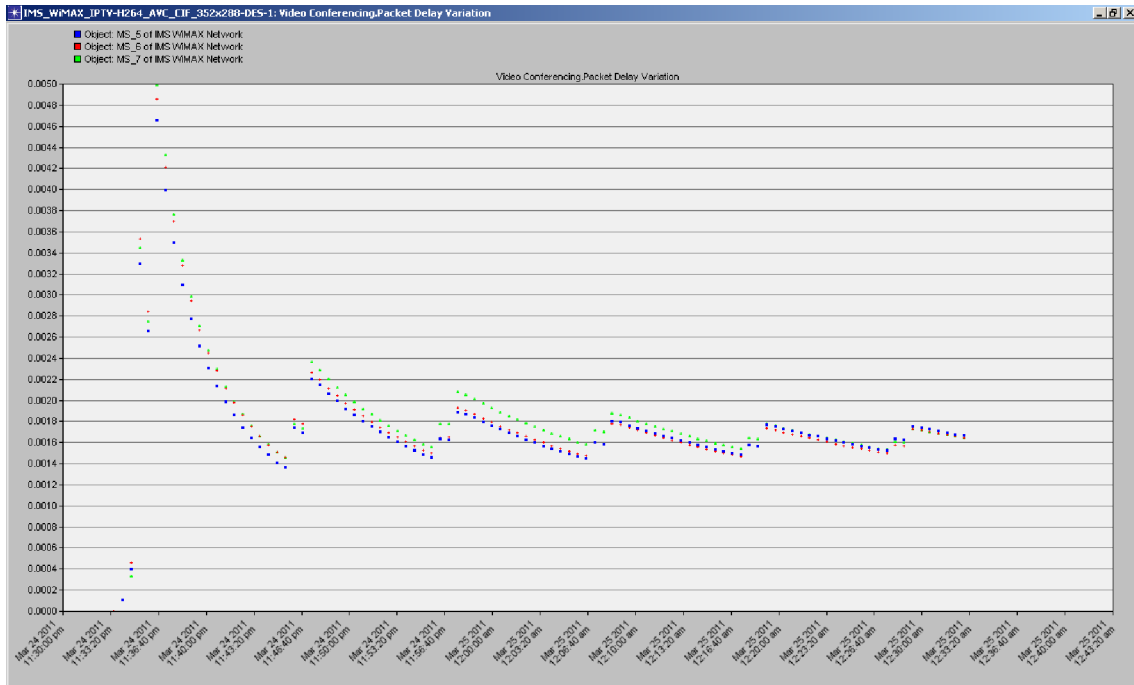


Figura 7.7 – Variação do atraso dos pacotes do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 1.

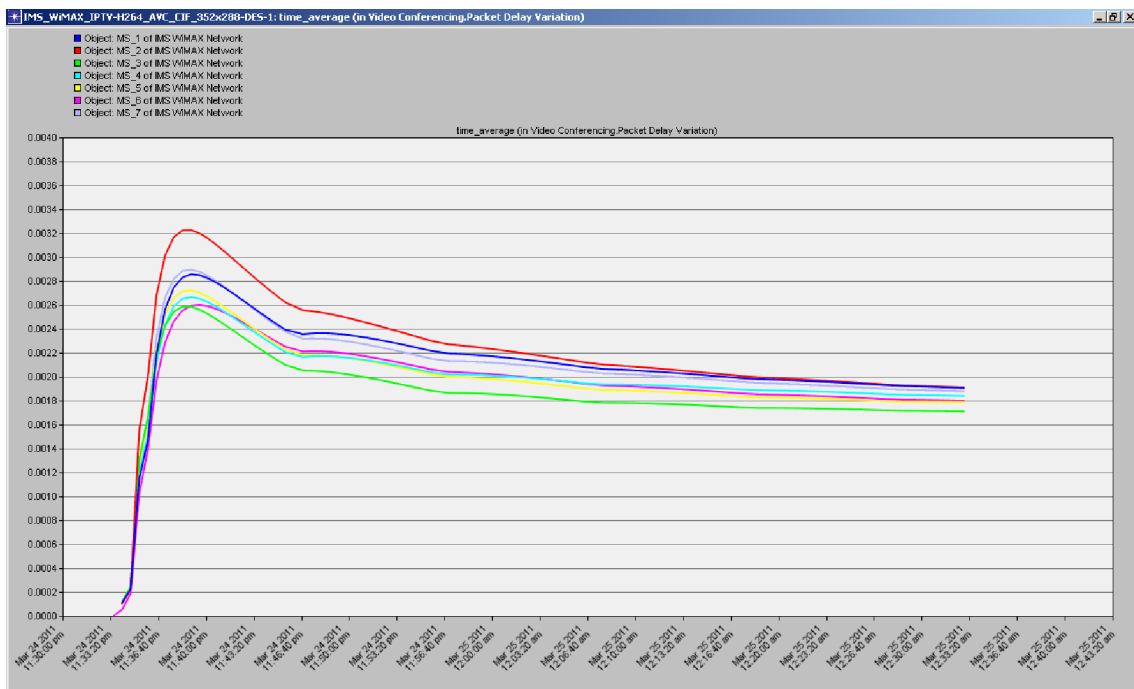


Figura 7.8 – Variação média do atraso dos pacotes do serviço IPTV, Cenário 1.

7.2.4 – Vazão

As Figuras 7.9 e 7.10 apresentam o tráfego recebido pelas estações móveis para o serviço IPTV neste cenário de simulação. Observa-se que todas as estações receberam o mesmo fluxo de vídeo, com picos máximos de aproximadamente 320 kbytes/s e picos mínimos de aproximadamente 80 kbytes/s. Não obstante, as Figuras 7.11 e 7.12 mostram a vazão média do serviço IPTV recebida pelas estações móveis da rede de acesso WiMAX.

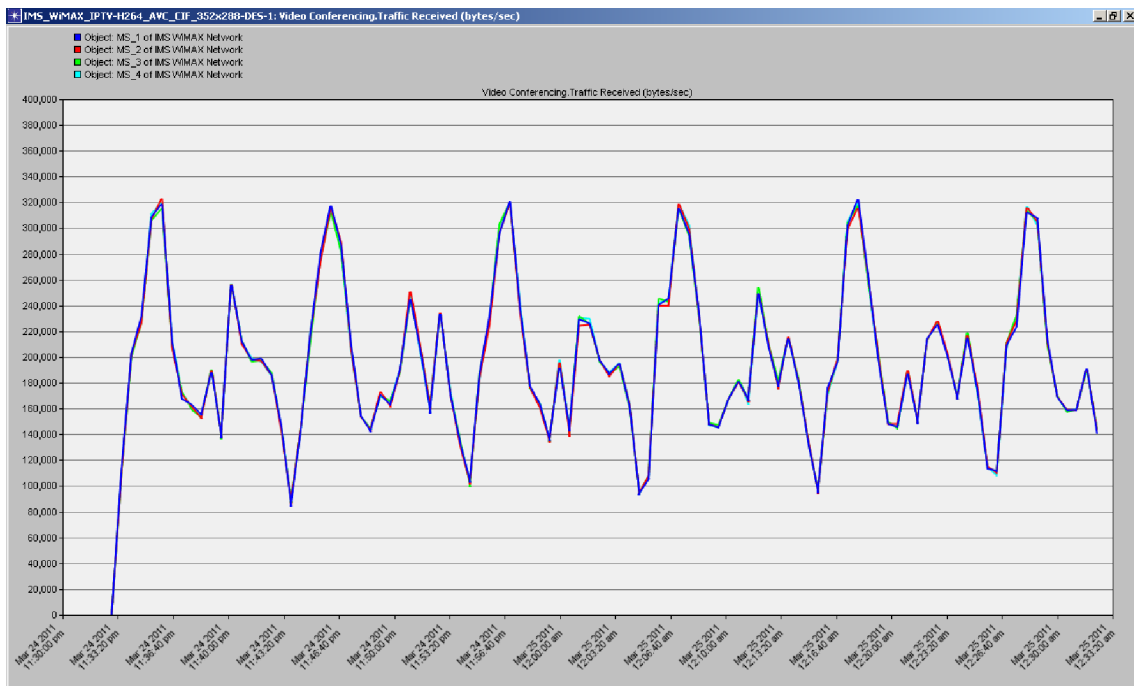


Figura 7.9 – Vazão do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 1.

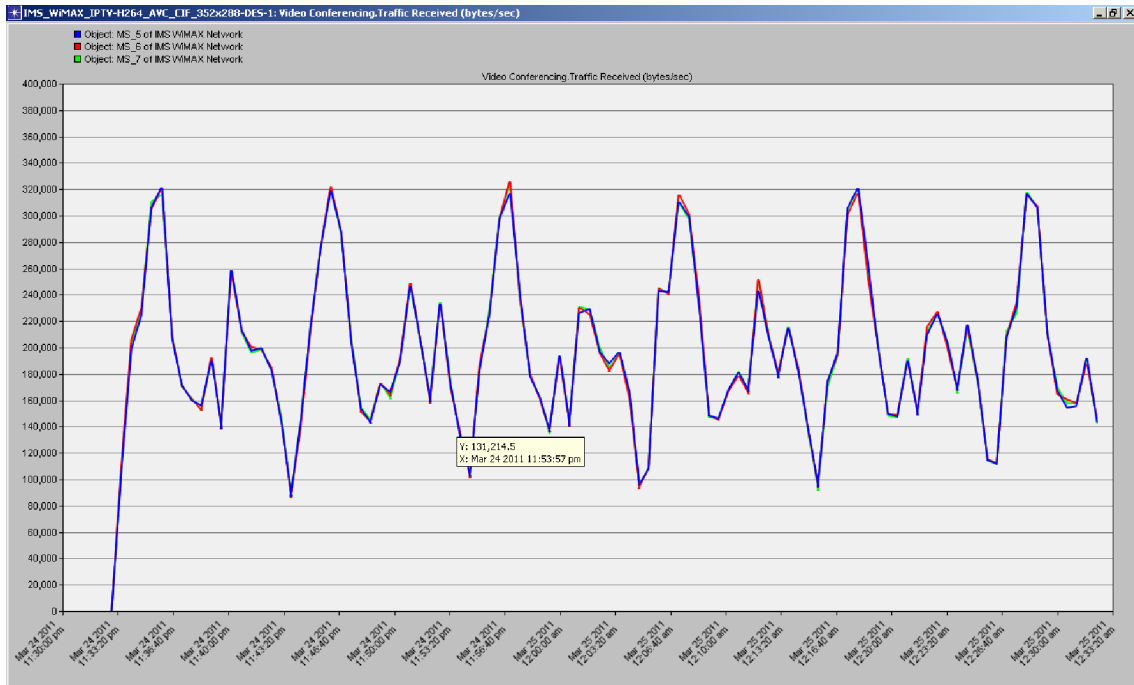


Figura 7.10 – Vazão do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 1.

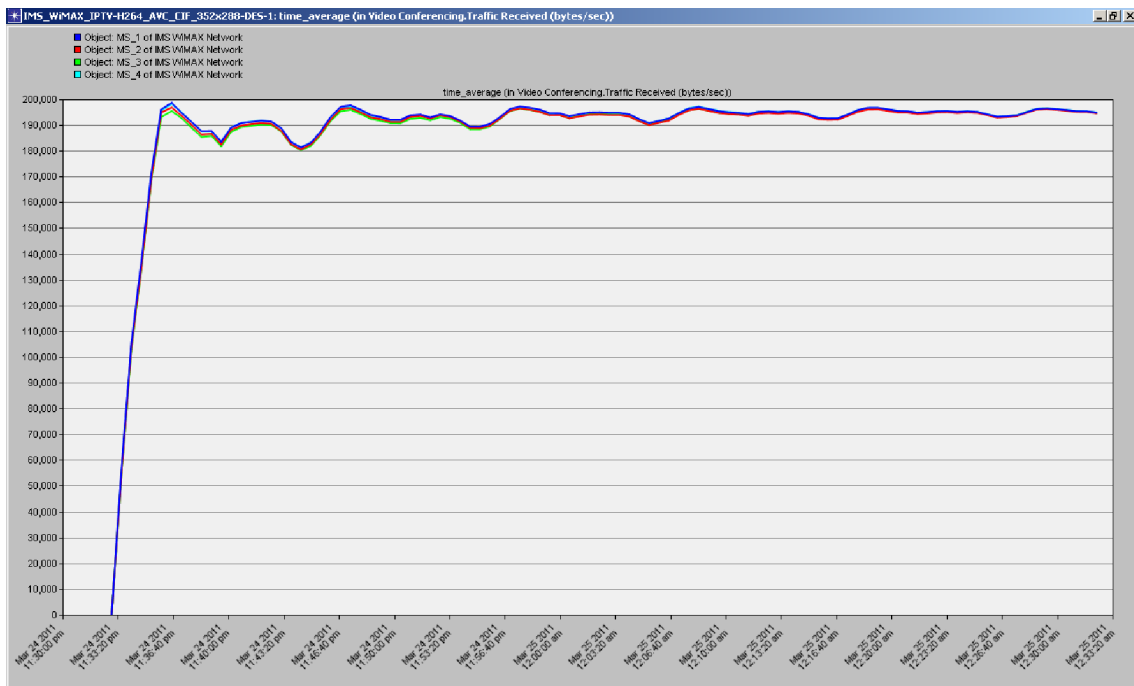


Figura 7.11 – Vazão média do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 1.

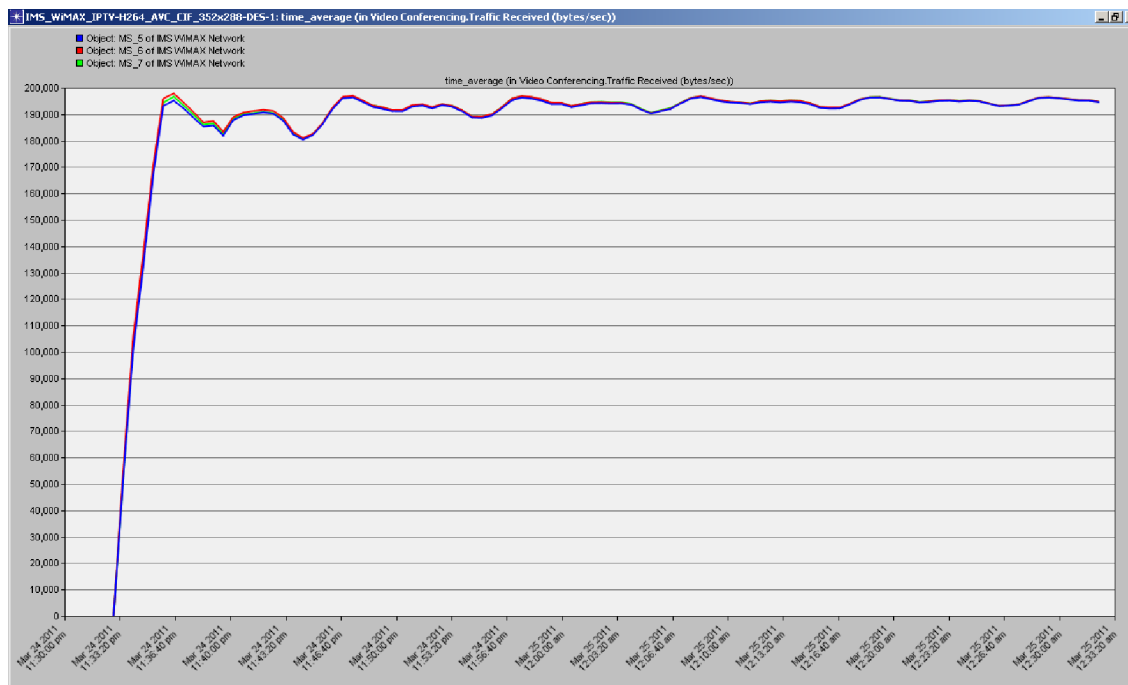


Figura 7.12 – Vazão média do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 1.

7.3 – CENÁRIO 2 (H.264/SVC *SPATIAL SCALABLE - QCIF BASED LAYER*)

A Tabela 7.3 mostra os principais parâmetros do arquivo *video trace* utilizado neste cenário de simulação.

Codificador	H.264/SVC <i>Spatial Scalable (QCIF Based Layer)</i>
Resolução	352x288
<i>Frame rate</i>	30 fps (<i>frame per second</i>)
Número total de quadros	108.000
Tamanho mínimo do quadro (<i>Bytes</i>)	29
Tamanho máximo do quadro (<i>Bytes</i>)	16.695
Tamanho do GoP	16
Padrão de exibição	IBBBPBBBIBBBPBBB

Tabela 7.3 – Parâmetros do *video trace* H.264/SVC *Spatial Scalable (QCIF Based Layer)*.

7.3.1 – Perda de Pacotes

As Figuras 7.13 e 7.14 ilustram os resultados obtidos da perda de pacotes do serviço IPTV para este cenário de simulação. Além disso, a Figura 7.15 mostra a média da perda de pacotes de todas as estações móveis localizadas no *cluster* da rede de acesso WiMAX. Nota-se que a estação móvel MS_4 apresentou a maior perda média de pacotes em relação as demais estações móveis. No entanto, como apontado no cenário simulado anteriormente, nenhuma estação móvel teria o serviço IPTV interrompido nesta condição.

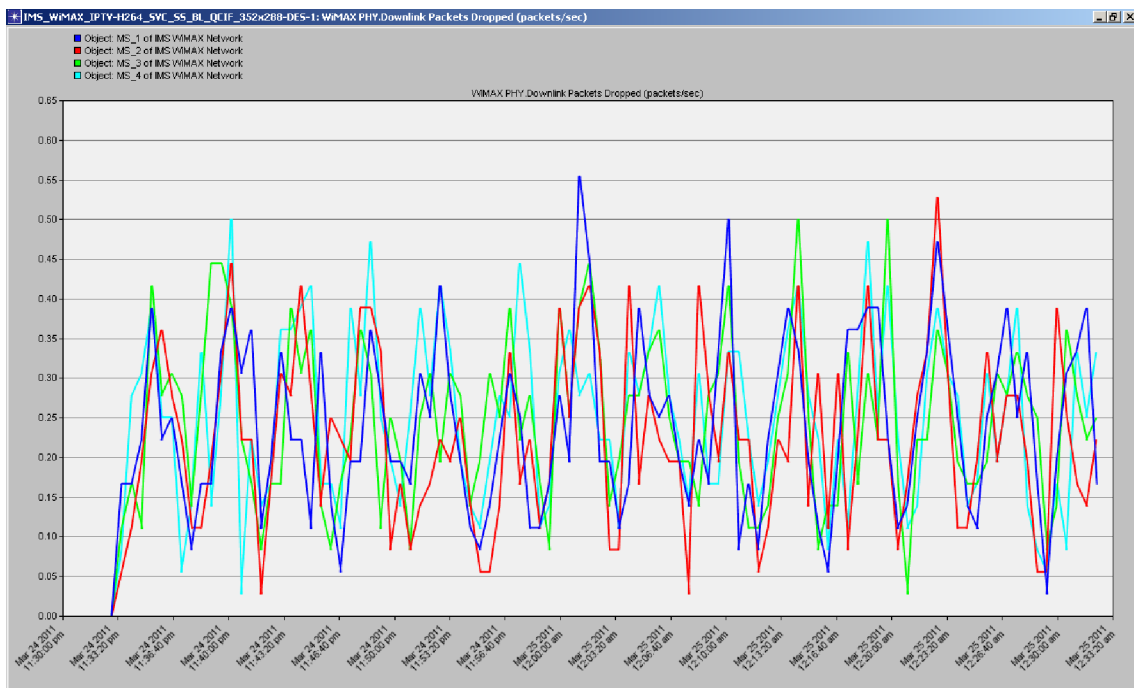


Figura 7.13 – Perda de pacotes dos serviços IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX (MS_1 a MS_4), Cenário 2.

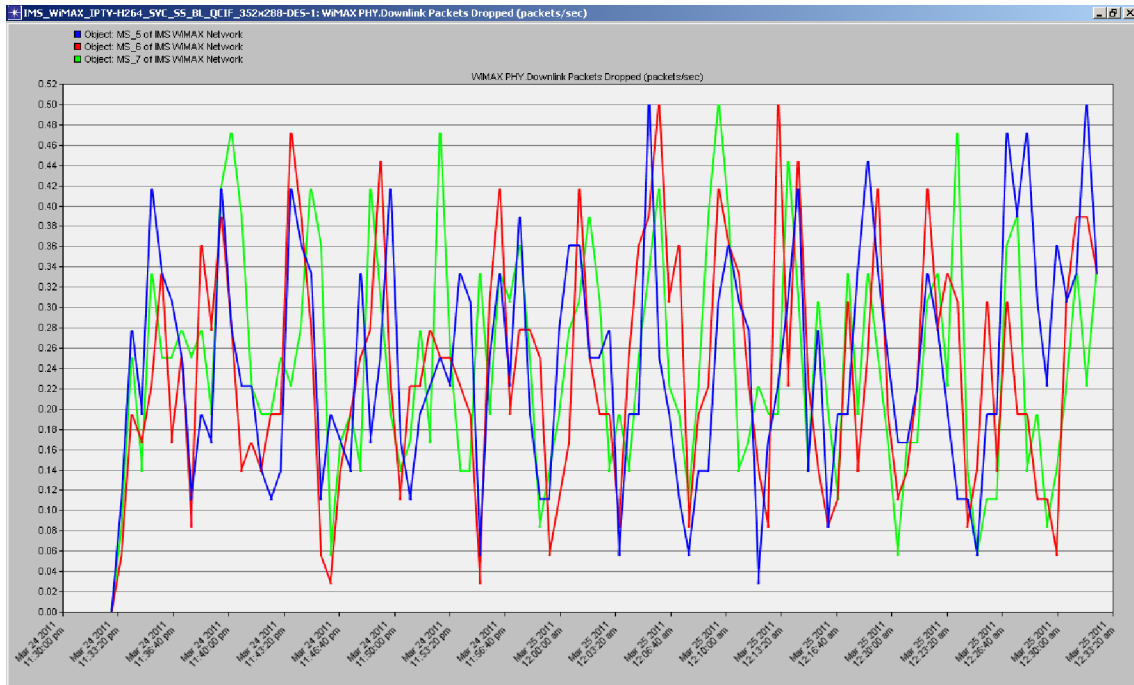


Figura 7.14 – Perda de pacotes dos serviços IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX (MS_5 a MS_7), Cenário 2.

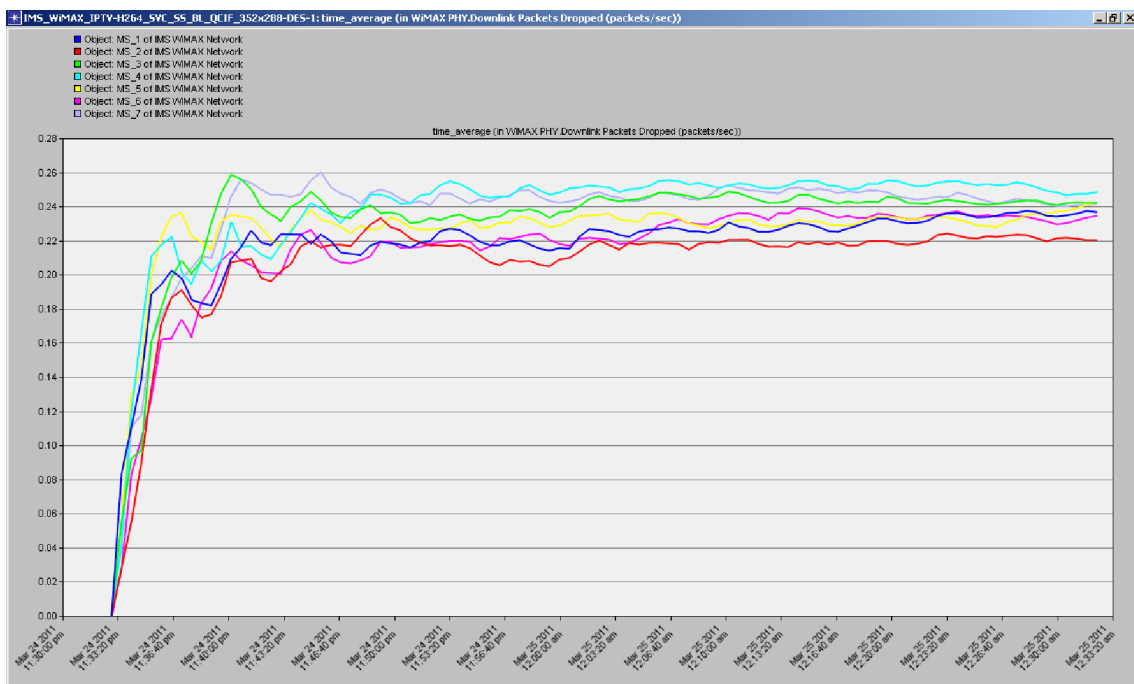


Figura 7.15 – Média da perda de pacotes do serviço IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX, Cenário 2.

7.3.2 – Atraso (Delay)

As Figuras 7.16 e 7.17 mostram os resultados da média do atraso fim-a-fim da aplicação IPTV nas estações móveis da arquitetura. Nota-se que as estações móveis apresentaram médias do atraso fim-a-fim entre 7,5 ms e 9 ms.

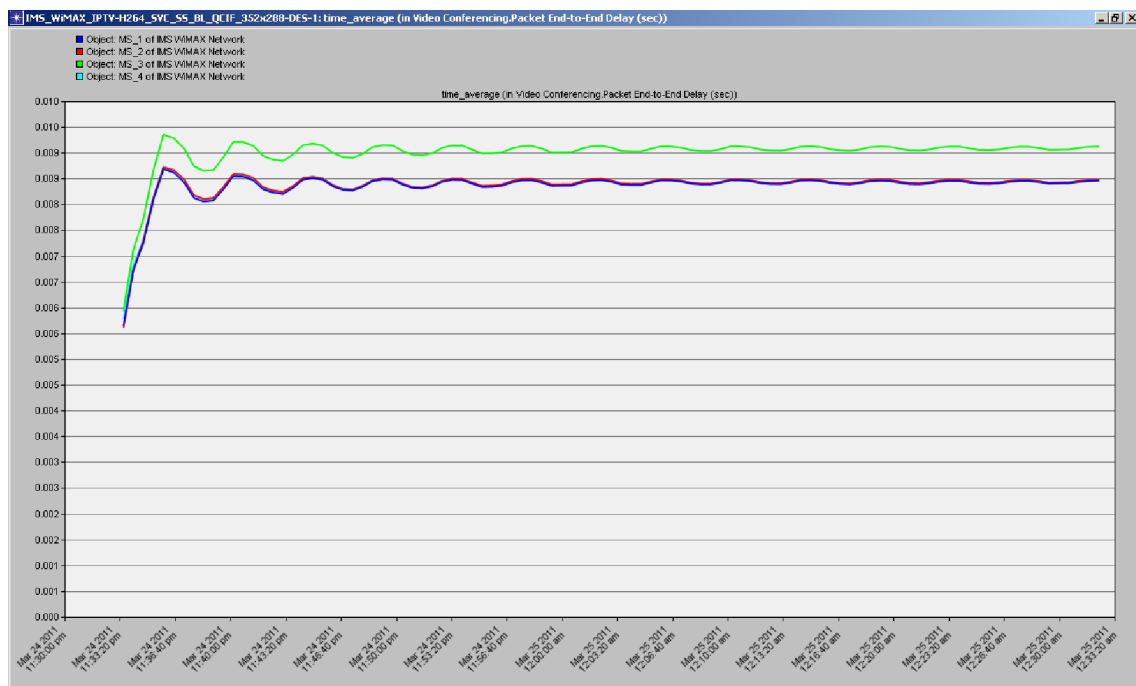


Figura 7.16 – Atraso médio fim-a-fim do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 2.

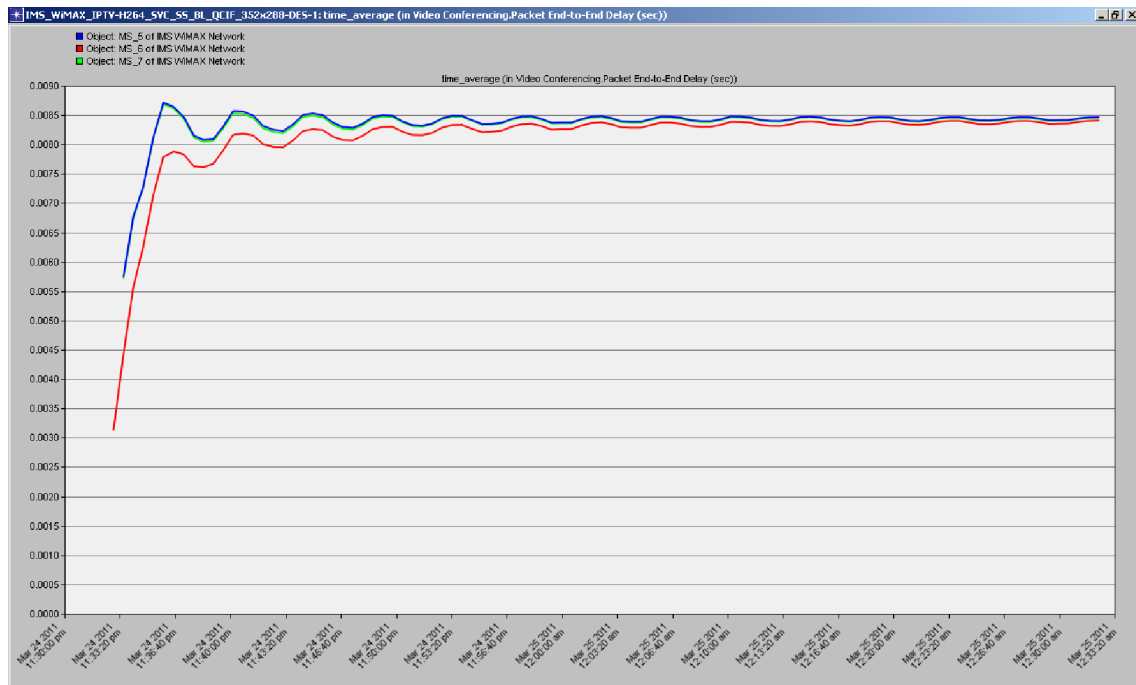


Figura 7.17 – Atraso médio fim-a-fim do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 2.

7.3.3 – Jitter

As Figuras 7.18 e 7.19 ilustram os resultados da variação do atraso dos pacotes da aplicação IPTV para este cenário de simulação. Nota-se que a variação do atraso dos pacotes recebidos, em todas as estações móveis da rede de acesso WiMAX, ficou abaixo de 40 μ s. Ademais, a Figura 7.20 mostra a média da variação do atraso dos pacotes na recepção do serviço IPTV em todas as estações móveis da rede de acesso WiMAX.

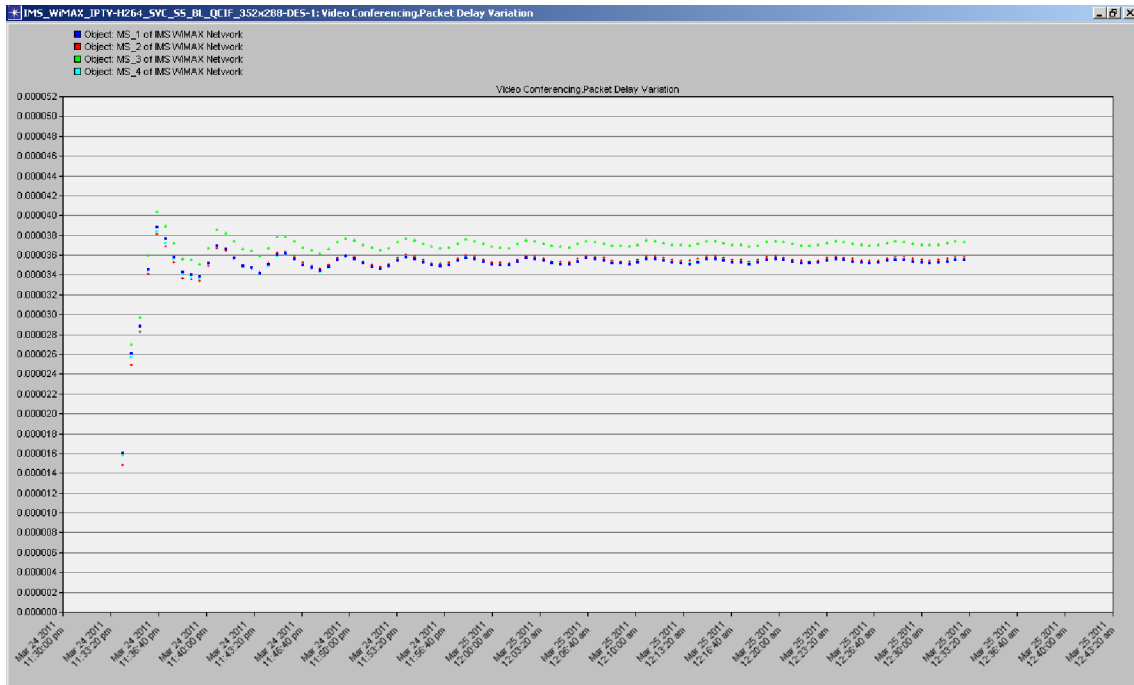


Figura 7.18 – Variação do atraso dos pacotes do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 2.

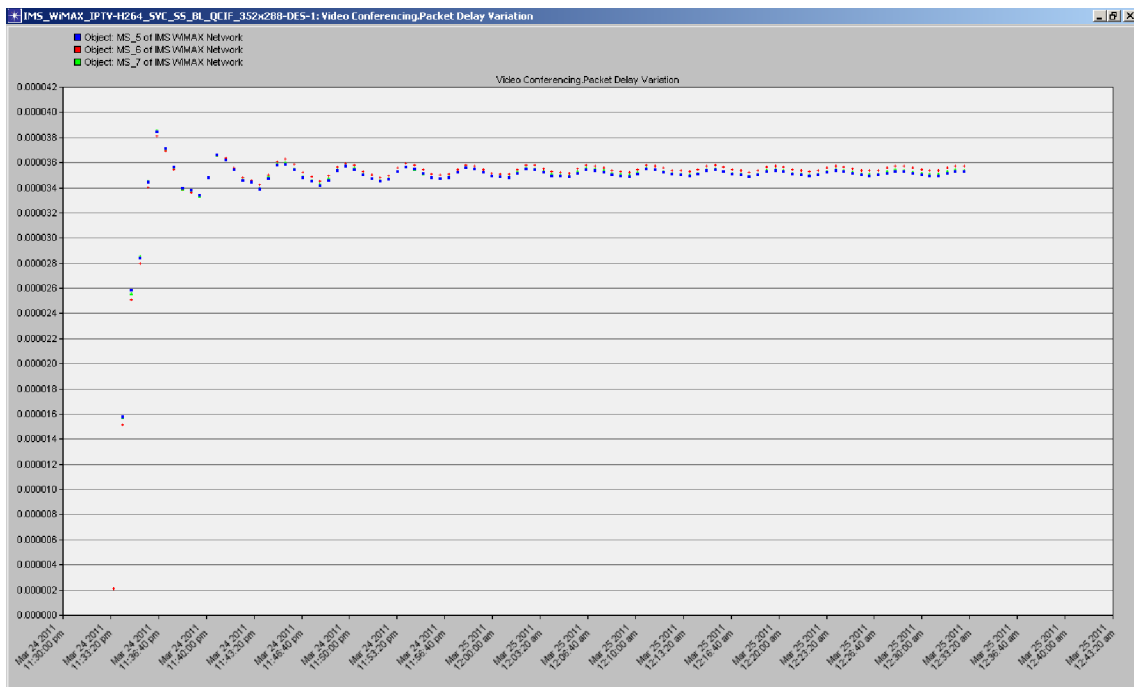


Figura 7.19 – Variação do atraso dos pacotes do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 2.

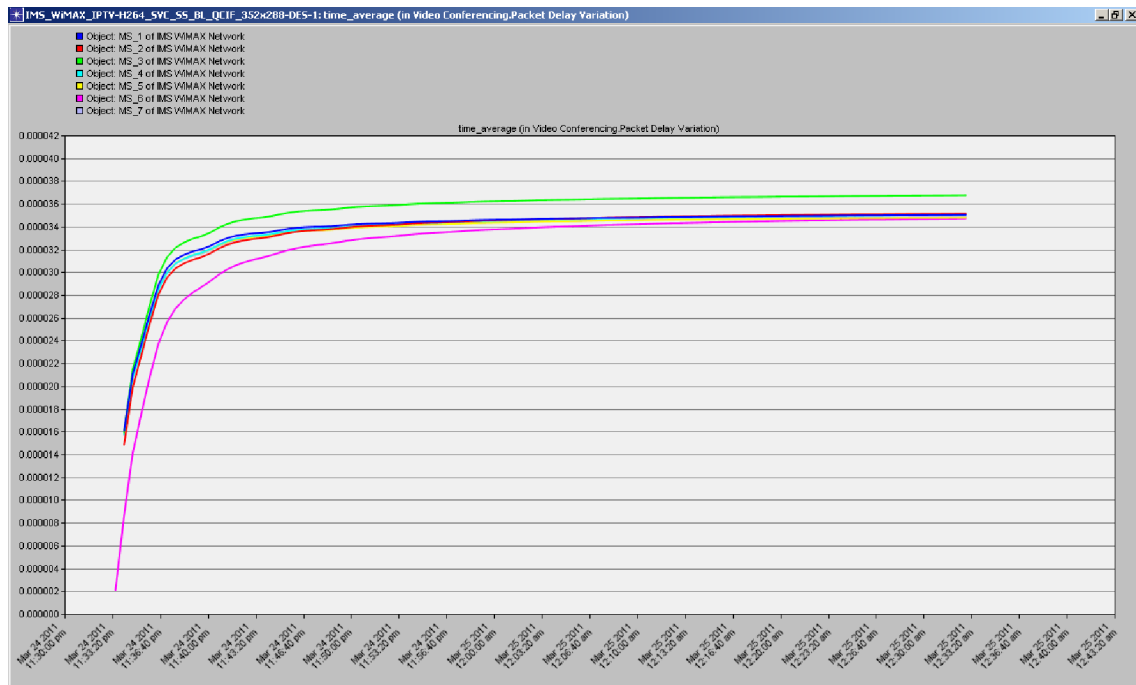


Figura 7.20 – Variação média do atraso dos pacotes do serviço IPTV, Cenário 2.

7.3.4 – Vazão

As Figuras 7.21 e 7.22 apresentam o tráfego recebido pelas estações móveis para o serviço IPTV neste cenário de simulação. Nota-se que todas as estações receberam o mesmo fluxo de vídeo, com picos máximos de aproximadamente 130 kbytes/s e picos mínimos de aproximadamente 40 kbytes/s. Ademais, as Figuras 7.23 e 7.24 mostram a vazão média do serviço IPTV recebida pelas estações móveis do *cluster* da rede de acesso WiMAX.

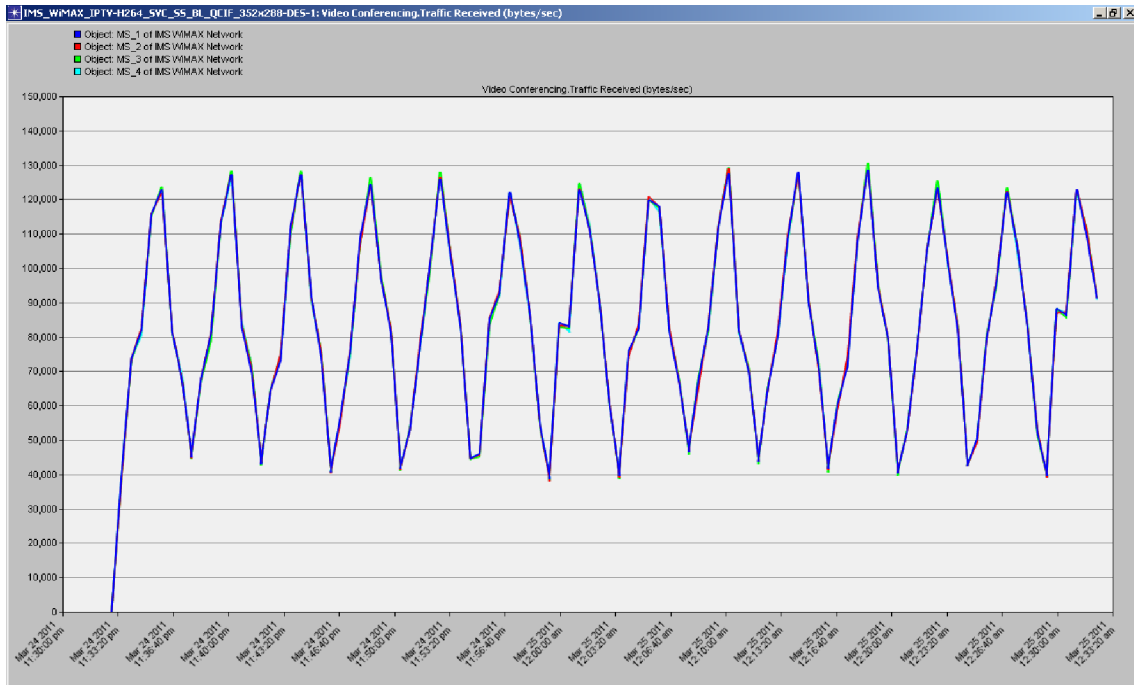


Figura 7.21 – Vazão do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 2.

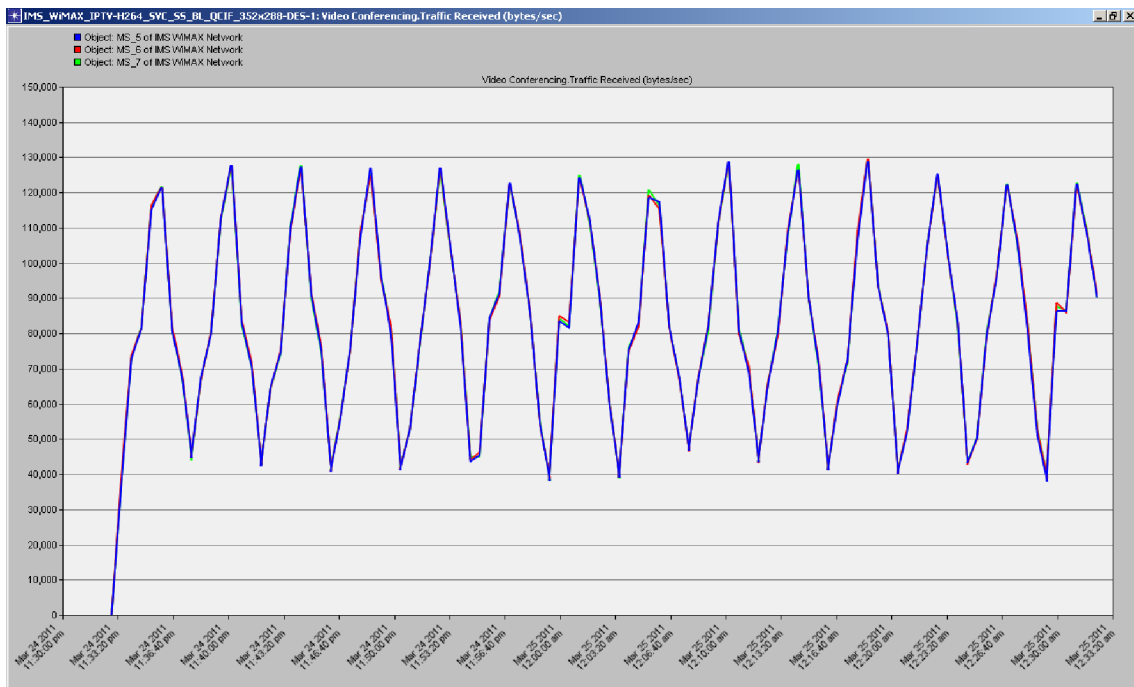


Figura 7.22 – Vazão do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 2.

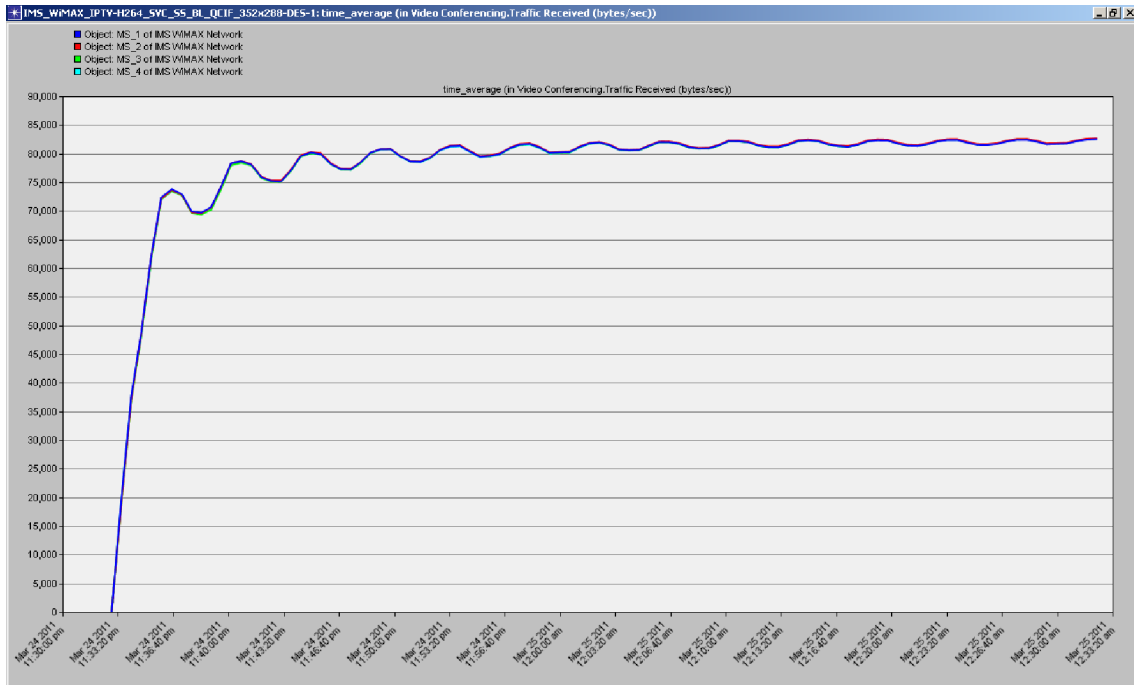


Figura 7.23 – Vazão média do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 2.

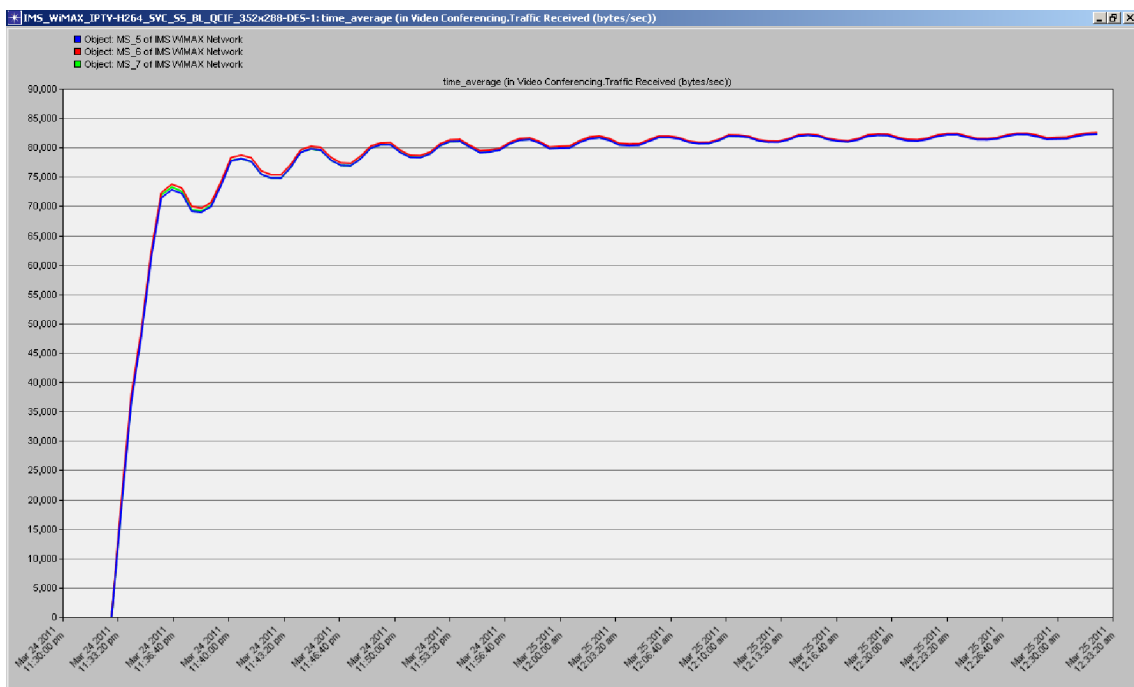


Figura 7.24 – Vazão média do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 2.

7.4 – CENÁRIO 3 (H.264/SVC *SPATIAL SCALABLE - CIF ENHANCEMENT LAYER*)

A Tabela 7.4 mostra os principais parâmetros do arquivo *video trace* utilizado neste cenário de simulação.

Codificador	H.264/SVC <i>Spatial Scalable (CIF Enhancement Layer)</i>
Resolução	352x288
<i>Frame rate</i>	30 fps (<i>frame per second</i>)
Número total de quadros	108.000
Tamanho mínimo do quadro (<i>Bytes</i>)	18
Tamanho máximo do quadro (<i>Bytes</i>)	49.237
Tamanho do GoP	16
Padrão de exibição	IBBBPBBBIBBBPBBB

Tabela 7.4 – Parâmetros do *video trace* H.264/SVC *Spatial Scalable (CIF Enhancement Layer)*.

7.4.1 – Perda de Pacotes

As Figuras 7.25 e 7.26 ilustram os resultados obtidos da perda de pacotes do serviço IPTV para este cenário de simulação. Ademais, a Figura 7.27 apresenta a média da perda de pacotes de todas as estações móveis da rede de acesso em banda larga WiMAX. Verifica-se que as estações móveis MS_2 e MS_3 apresentaram, em alguns momentos, uma maior perda de pacotes em relação as demais estações móveis do *cluster*. No entanto, conforme mencionado nos cenários anteriores, nenhuma das estações teria o serviço interrompido.

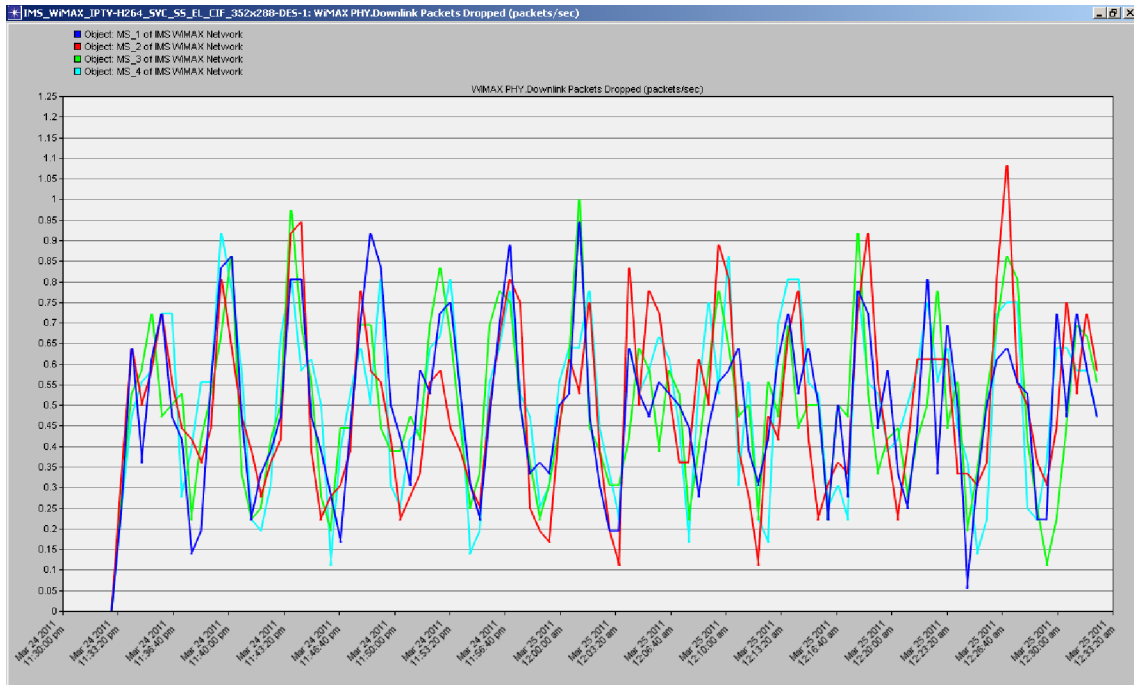


Figura 7.25 – Perda de pacotes dos serviços IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX (MS_1 a MS_4), Cenário 3.

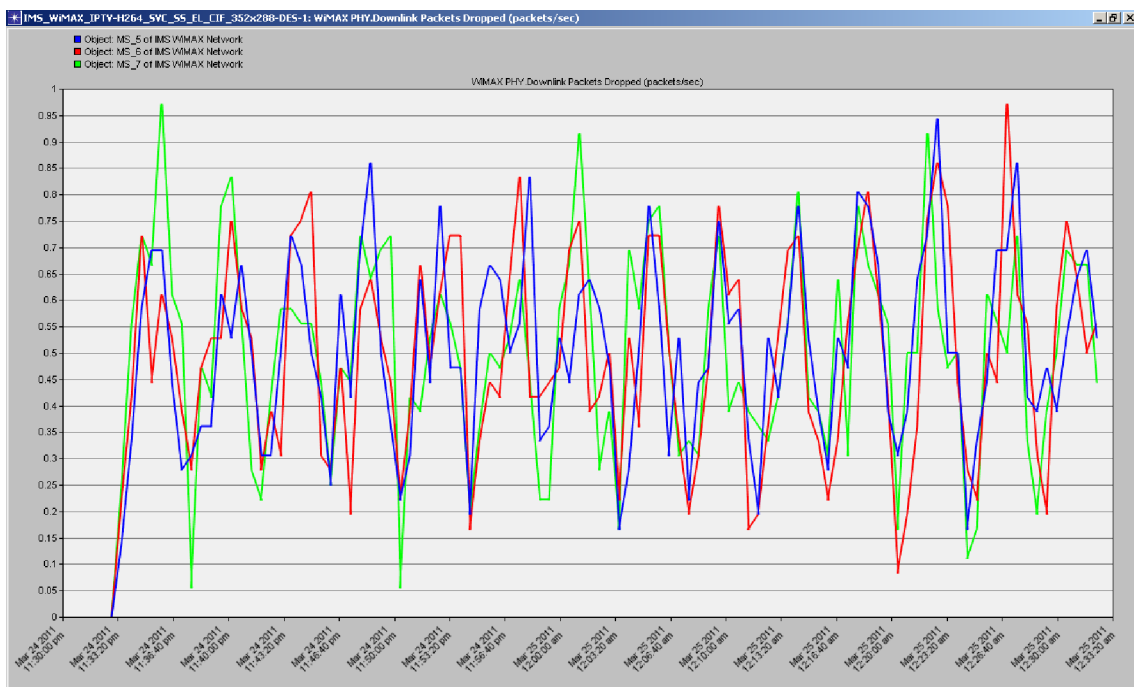


Figura 7.26 – Perda de pacotes dos serviços IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX (MS_5 a MS_7), Cenário 3.

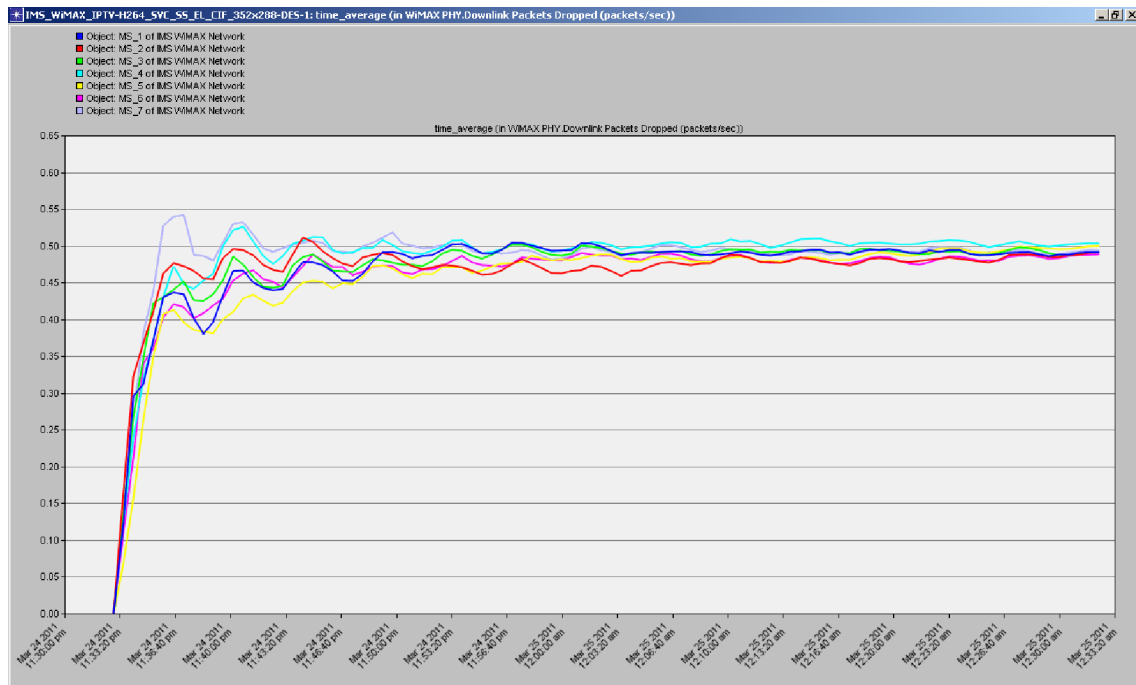


Figura 7.27 – Média da perda de pacotes do serviço IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX, Cenário 3.

7.4.2 – Atraso (*Delay*)

As Figuras 7.28 e 7.29 mostram os resultados da média do atraso fim-a-fim da aplicação IPTV nas estações móveis do *cluster*. Observa-se que as estações móveis apresentaram média do atraso fim-a-fim entre 14,5 ms e 19 ms.

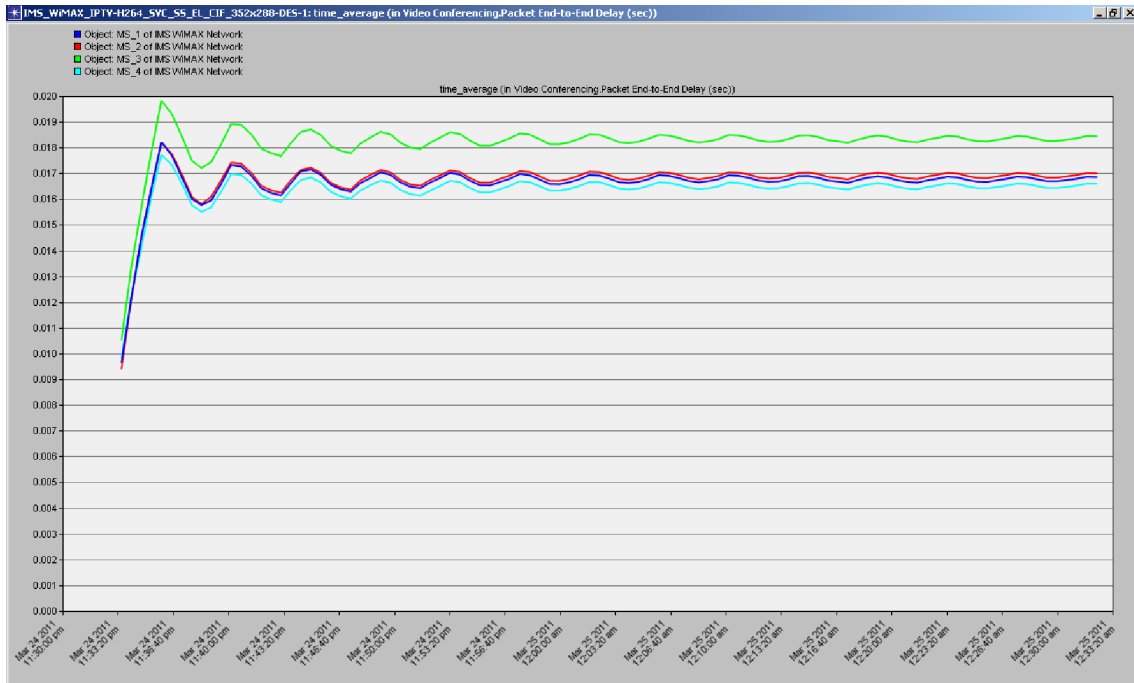


Figura 7.28 – Atraso médio fim-a-fim do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 3.

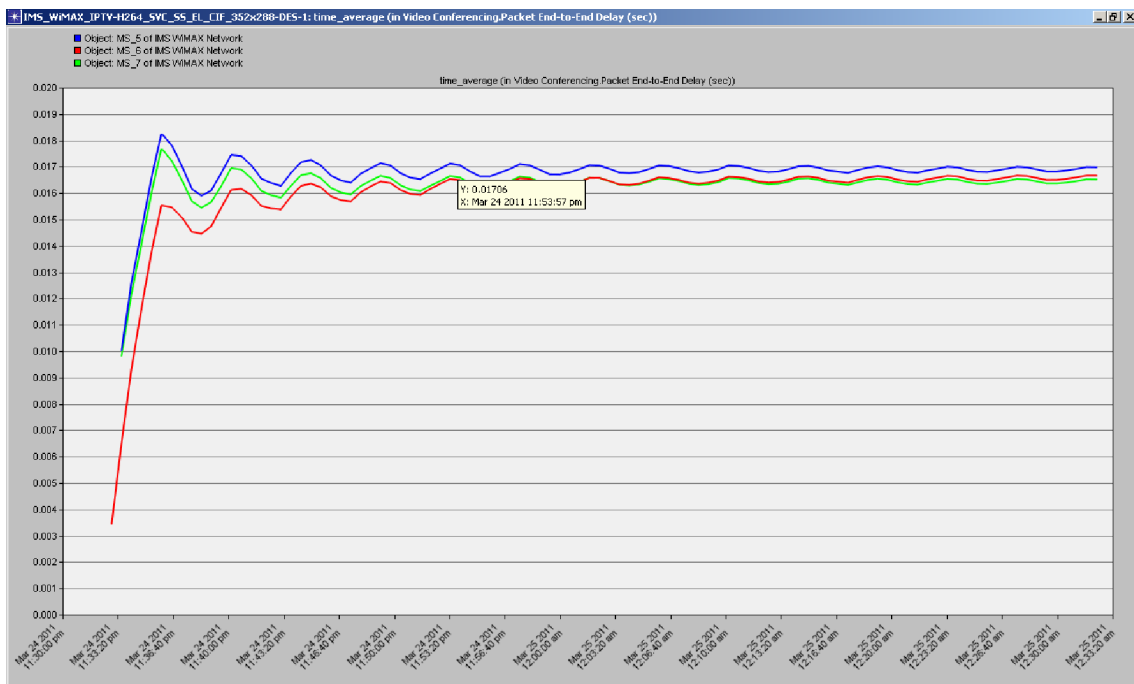


Figura 7.29 – Atraso médio fim-a-fim do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 3.

7.4.3 – Jitter

As Figuras 7.30 e 7.31 mostram os resultados da variação do atraso dos pacotes da aplicação IPTV para este cenário de simulação. Nota-se que a variação do atraso dos pacotes recebidos, em todas as estações móveis da rede de acesso WiMAX, ficou abaixo de 3,4 ms. Além disso, a Figura 7.32 ilustra a média da variação do atraso dos pacotes na recepção do serviço IPTV em todos os terminais de usuários localizados na rede de acesso WiMAX.

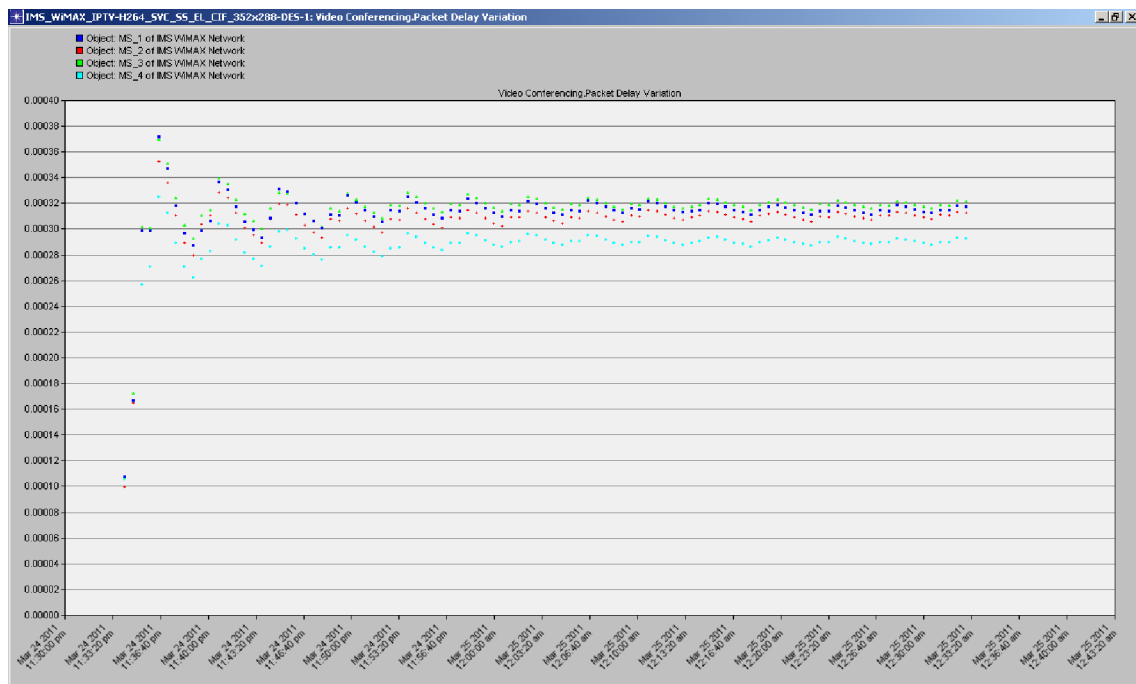


Figura 7.30 – Variação do atraso dos pacotes do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 3.

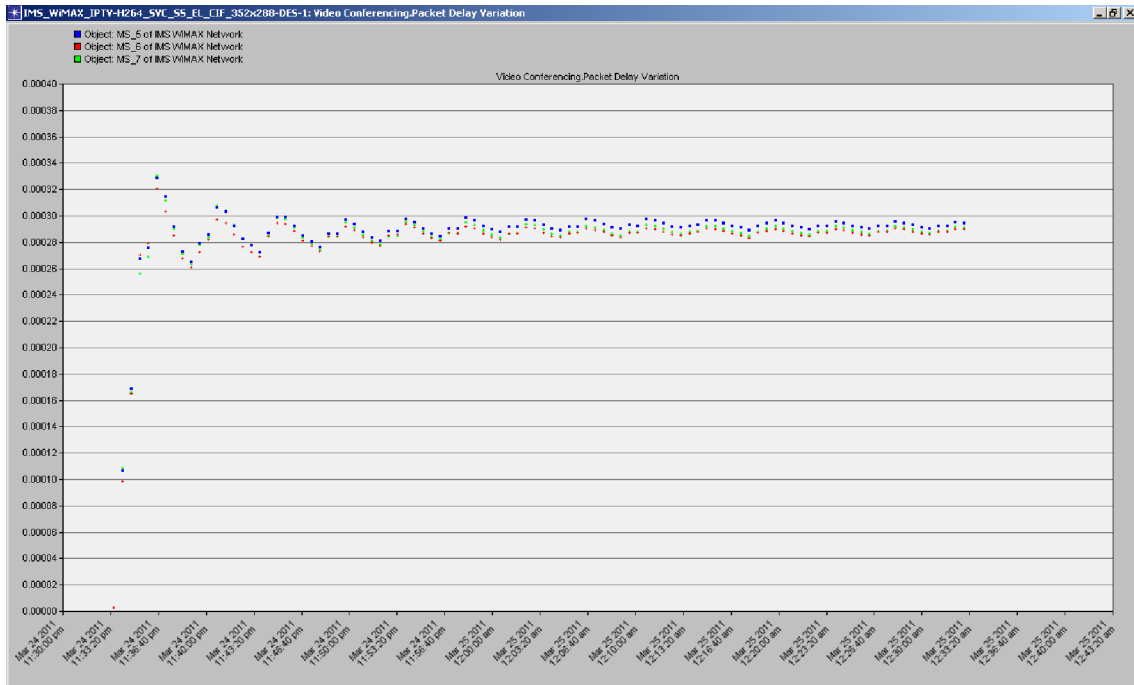


Figura 7.31 – Variação do atraso dos pacotes do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 3.

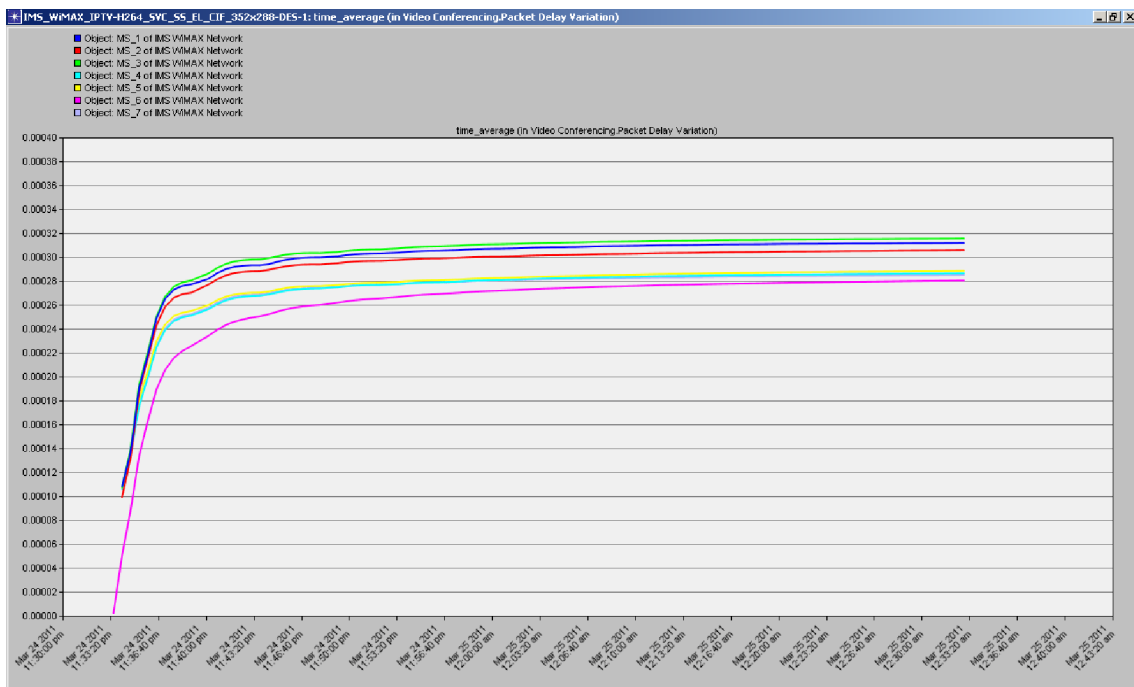


Figura 7.32 – Variação média do atraso dos pacotes do serviço IPTV, Cenário 3.

7.4.4 – Vazão

As Figuras 7.33 e 7.34 apresentam o tráfego recebido pelas estações móveis para o serviço IPTV neste cenário de simulação. Nota-se que todas as estações receberam o mesmo fluxo de vídeo, com picos máximos de aproximadamente 250 kbytes/s e picos mínimos de aproximadamente 80 kbytes/s. Ademais, as Figuras 7.35 e 7.36 mostram a vazão média do serviço IPTV recebida pelas estações móveis do *cluster* da rede de acesso WiMAX.

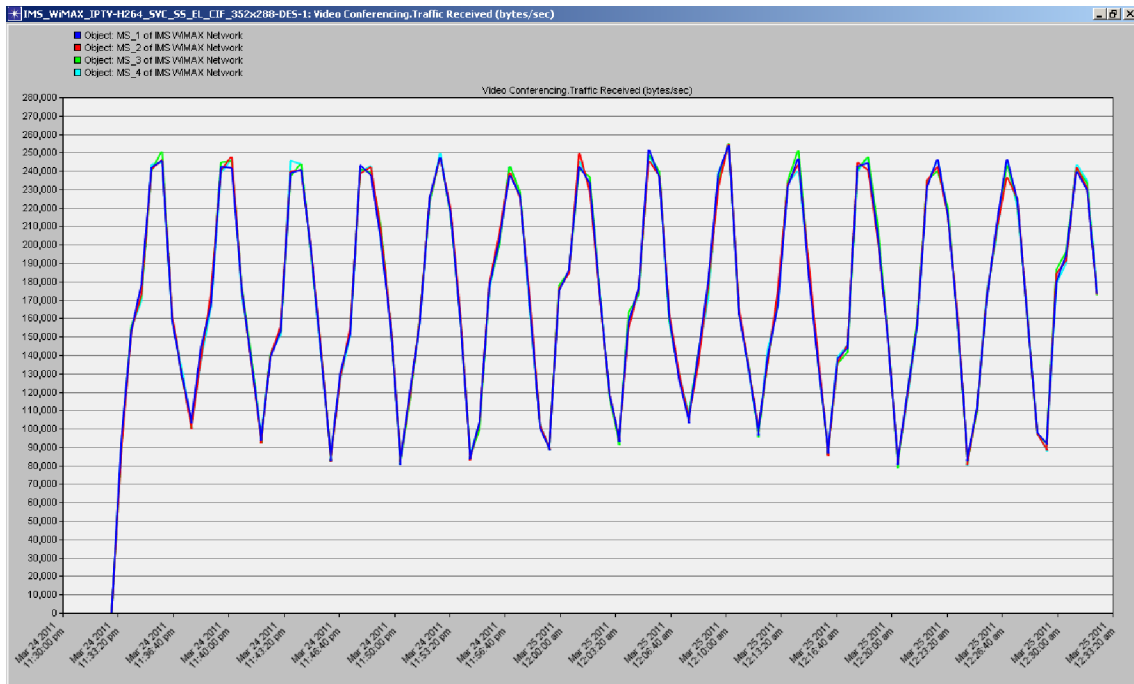


Figura 7.33 – Vazão do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 3.

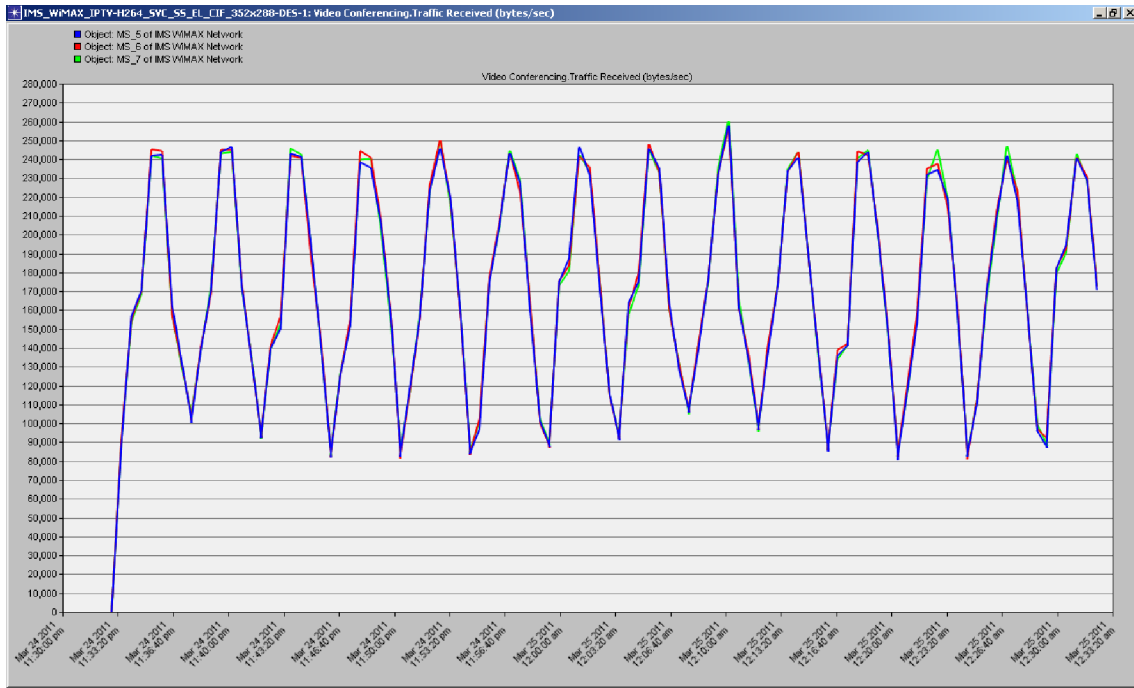


Figura 7.34 – Vazão do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 3.

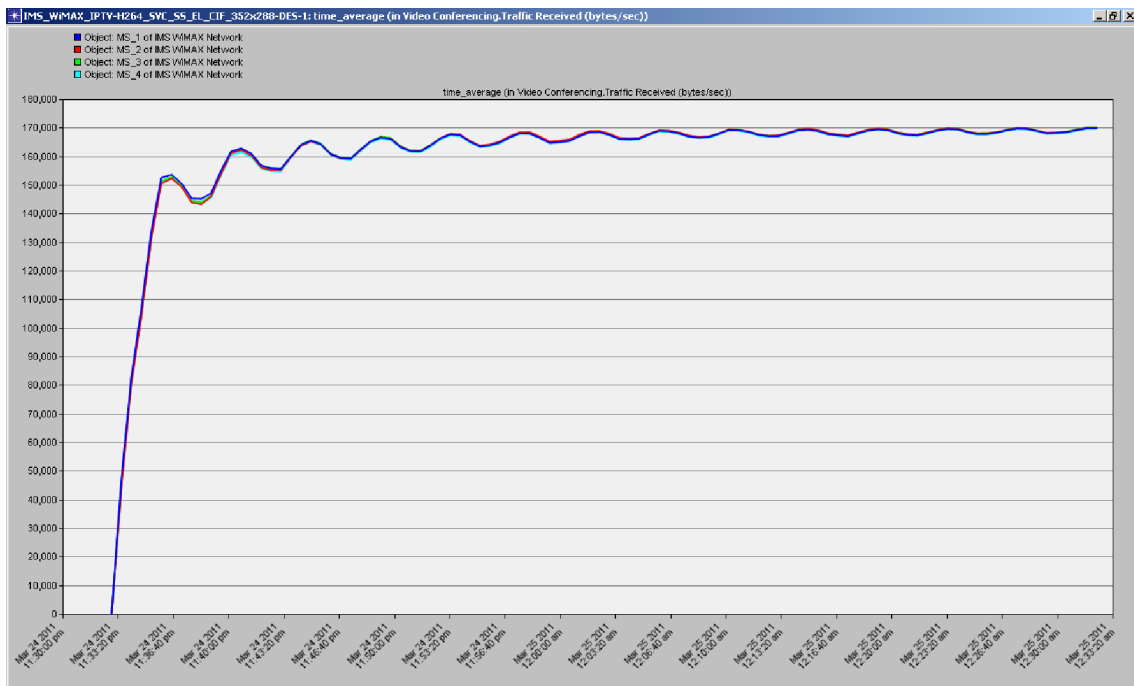


Figura 7.35 – Vazão média do serviço IPTV (MS_1 a MS_4), Cenário 3.

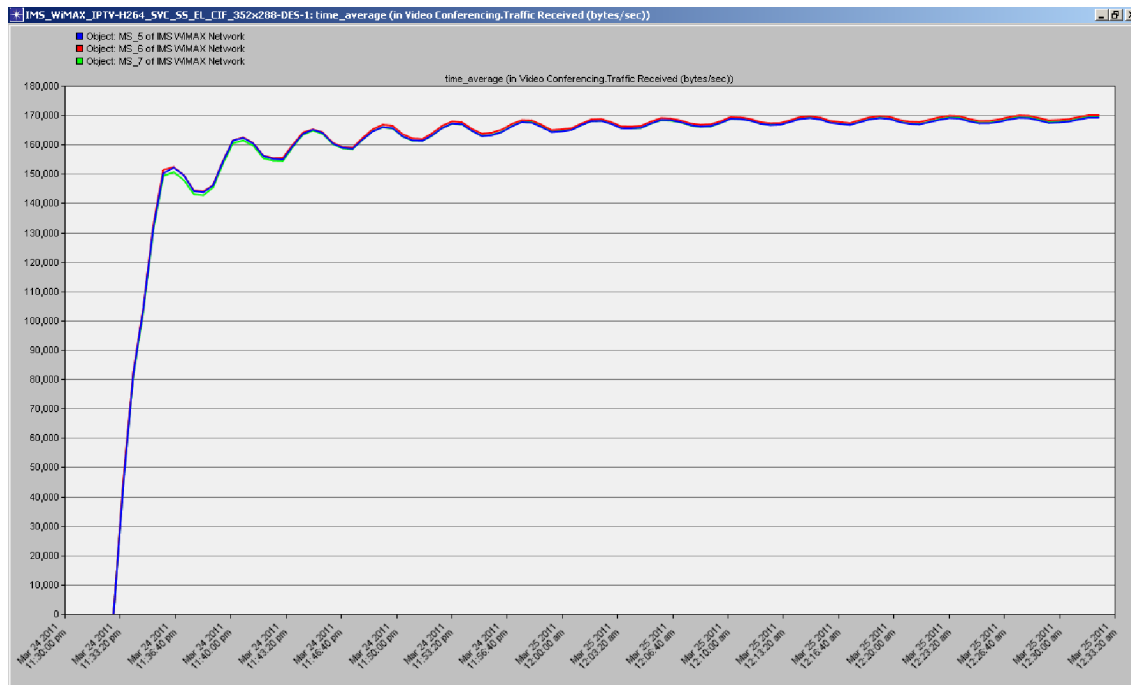


Figura 7.36 – Vazão média do serviço IPTV (MS_5 a MS_7), Cenário 3.

7.5 – COMPARAÇÕES ENTRE OS CENÁRIOS

Uma vez que os resultados obtidos, em cada cenário de simulação, demonstraram que as métricas de QoS nas estações móveis do *cluster* são praticamente as mesmas, selecionamos a estação móvel MS_1 da rede de acesso WiMAX para comparar o desempenho entre os três cenários.

7.5.1 – Perda de Pacotes

As Figuras 7.37 e 7.38 ilustram a comparação entre os resultados obtidos da perda de pacotes do serviço IPTV na MS_1, para os cenários mencionados anteriormente. Observa-se que o Cenário 1 (H.264 AVC – *Single Layer*) apresentou a maior perda de pacotes entre os três cenários. Por outro lado, o Cenário 2 (H.264/SVC *Spatial Scalable - QCIF Based Layer*) apresentou a menor perda de pacotes entre os três cenários. Entretanto, ressalta-se que em nenhum dos casos o serviço IPTV seria interrompido, considerando: (i) número total de quadros do arquivo *video trace* utilizado (108.000); (ii) a perda de pacotes obtida nos cenários simulados; (iii) e a métrica estabelecida pela UIT na Recomendação

Y.1541 para os serviços IPTV ($< 10^{-3}$ pacotes perdidos), conforme mencionado na Tabela 7.1.

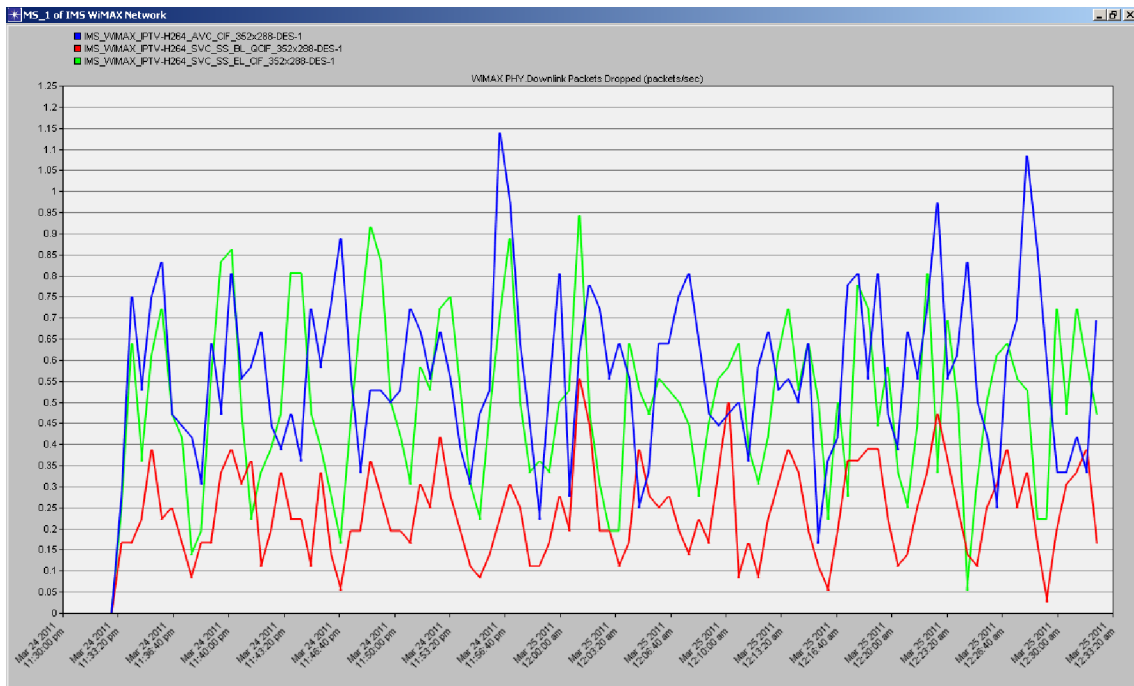


Figura 7.37 – Comparação da perda de pacotes dos serviços IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX, MS_1.

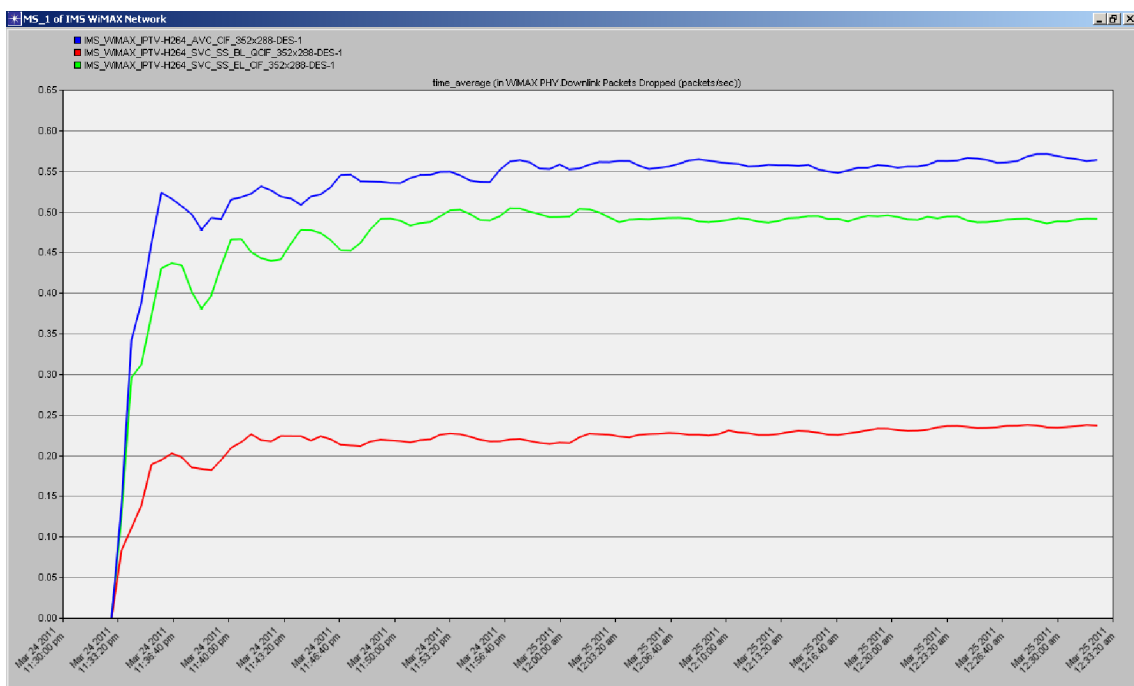


Figura 7.38 – Comparação da média da perda de pacotes do serviço IPTV na interface aérea da rede de acesso WiMAX, MS_1.

7.5.2 – Atraso (Delay)

A Figura 7.39 apresenta a comparação entre os resultados obtidos da média do atraso fim-a-fim dos pacotes do serviço IPTV na MS_1, para os cenários mencionados anteriormente. Nota-se que o Cenário 1 (H.264 AVC – *Single Layer*) apresentou o maior atraso fim-a-fim dos pacotes entre os três cenários. Não obstante, o Cenário 2 (H.264/SVC *Spatial Scalable - QCIF Based Layer*) apresentou o menor atraso dos pacotes entre os três cenários. No entanto, todos os cenários apresentaram resultados do atraso fim-a-fim abaixo do valor máximo para o atraso (*delay*) estabelecido pela UIT na Recomendação Y.1541 para os serviços IPTV (< 400 ms), conforme citado na Tabela 7.1.

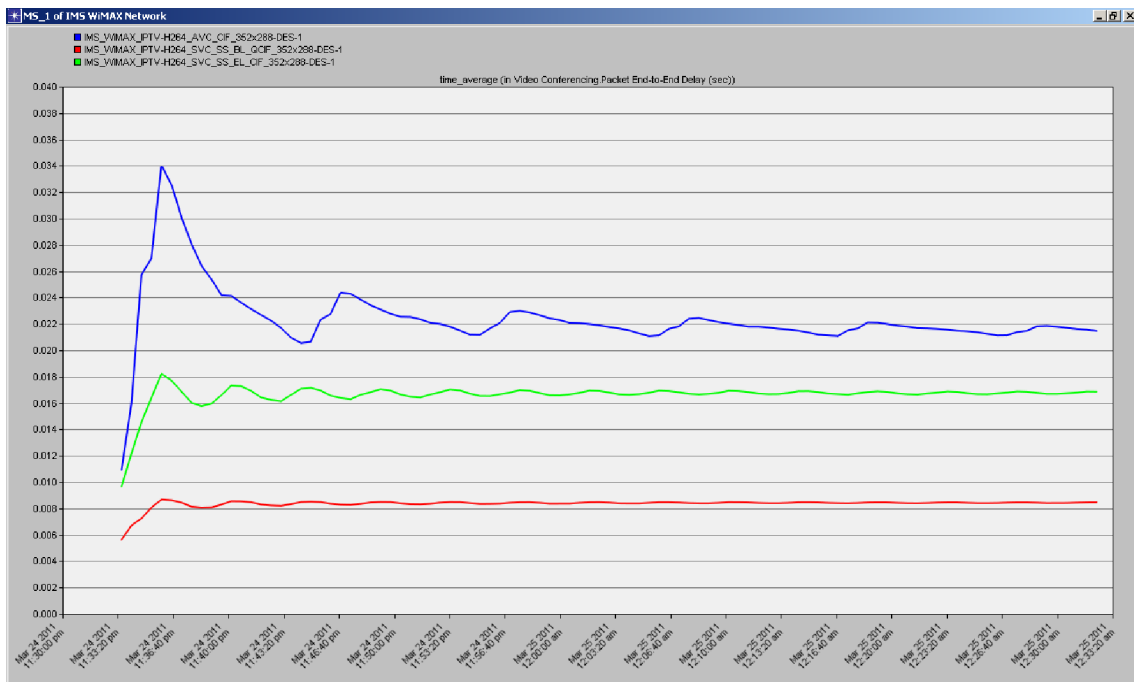


Figura 7.39 – Comparação do atraso médio fim-a-fim do serviço IPTV, MS_1.

7.5.3 – Jitter

As Figuras 7.40 e 7.41 apresentam a comparação entre os resultados obtidos da variação do atraso dos pacotes do serviço IPTV na MS_1, para os cenários mencionados anteriormente. Nota-se que o Cenário 1 (H.264 AVC – *Single Layer*) apresentou a maior variação do atraso dos pacotes entre os três cenários. De outro lado, o Cenário 2 (H.264/SVC *Spatial Scalable - QCIF Based Layer*) apresentou a menor variação do atraso dos pacotes entre os três cenários. Ressalta-se, ainda, que todos os cenários apresentaram resultados de variação do atraso dos pacotes abaixo do valor máximo estabelecido pela UIT na Recomendação Y.1541 para os serviços IPTV (< 50 ms), conforme citado na Tabela 7.1.

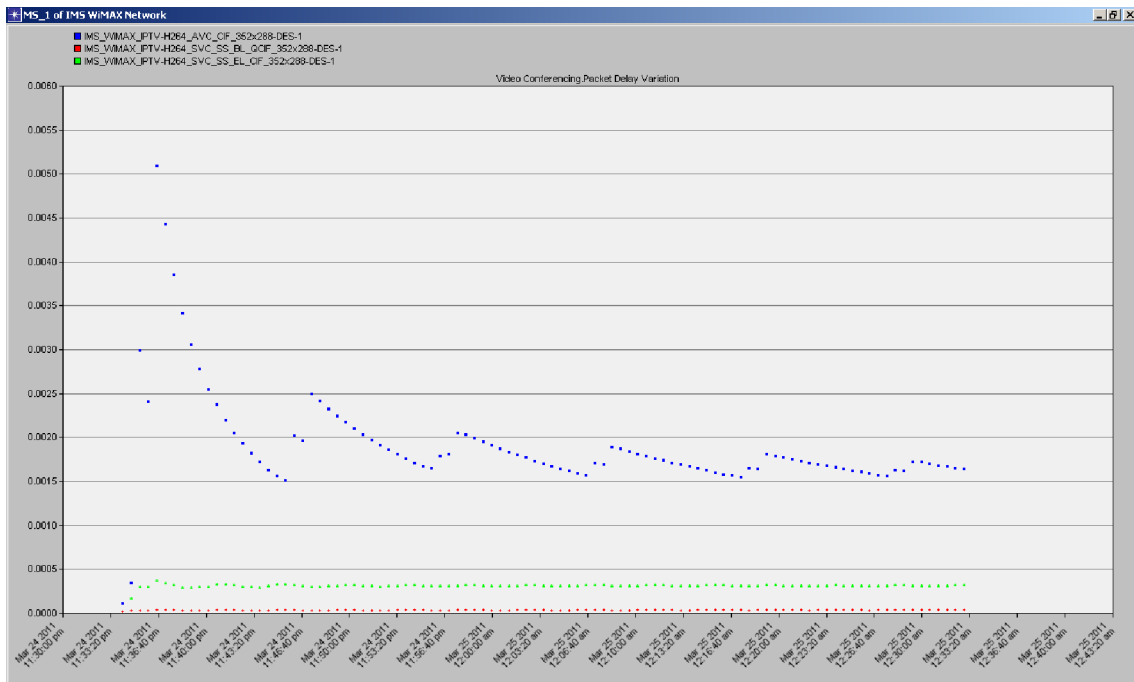


Figura 7.40 – Comparação da variação do atraso dos pacotes do serviço IPTV, MS_1.

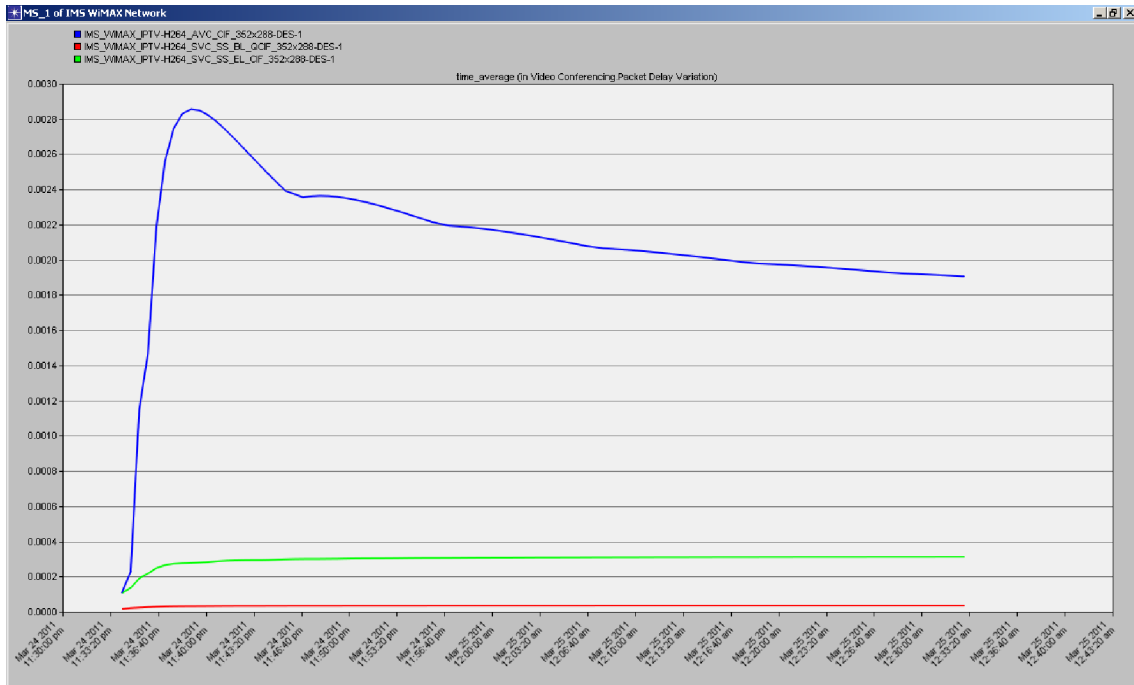


Figura 7.41 – Comparação da variação média do atraso dos pacotes do serviço IPTV, MS_1.

7.5.4 – Vazão

As Figuras 7.42 e 7.43 apresentam a comparação entre os resultados obtidos da vazão na MS_1, para os cenários mencionados anteriormente. Observa-se que o Cenário 1 (H.264 AVC – *Single Layer*) apresentou a maior vazão entre os três cenários. Por outro lado, o Cenário 2 (H.264/SVC *Spatial Scalable - QCIF Based Layer*) apresentou a menor vazão entre os três cenários.

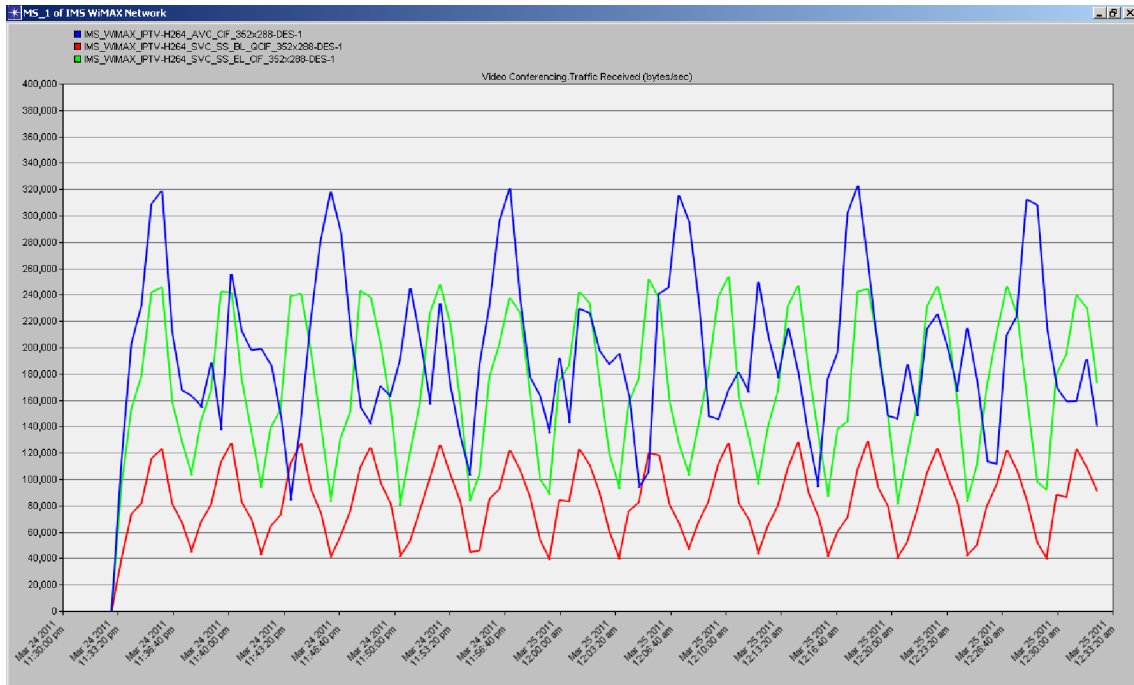


Figura 7.42 – Comparação da vazão do serviço IPTV, MS_1.

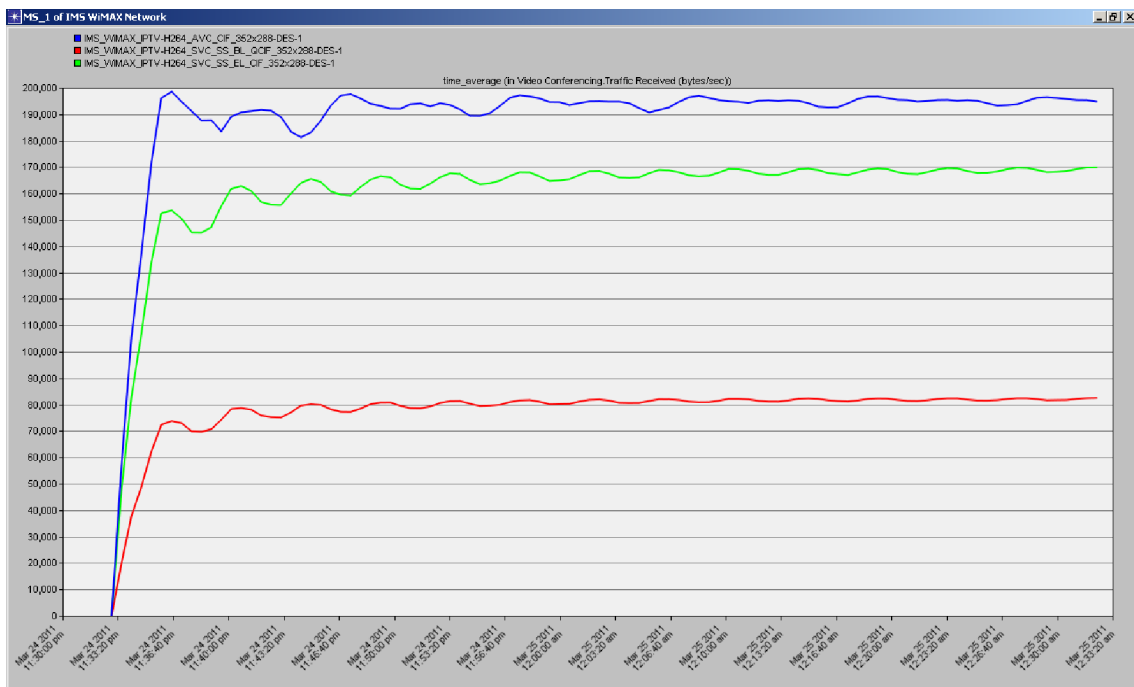


Figura 7.43 – Comparação da vazão média do serviço IPTV, MS_1.

7.6 – ESTIMATIVA DA MÉDIA DE USUÁRIOS SERVIDOS

Sobre a capacidade de tráfego das células da rede de acesso WiMAX para a prestação dos serviços IPTV, alguns fatores devem ser levados em consideração, como: largura de banda do canal; tamanho da célula; setorização e reuso de frequências; uso de técnicas de modulação adaptativa; uso de antenas avançadas; definição da relação entre a vazão destinada aos enlaces direto e reverso etc.

Neste sentido, considerando as especificações e limitações técnicas das tecnologias estudadas neste trabalho, os parâmetros definidos em nossa arquitetura para a integração das redes de acesso WiMAX com o *IP Multimedia Subsystem* para a prestação de serviços IPTV, podemos estimar a média dos usuários dos serviços IPTV servidos em cada célula dos cenários propostos.

Conforme mencionado no Capítulo 4 deste trabalho, calcula-se a vazão na camada física das redes de acesso WiMAX de acordo com a Fórmula (4.1). Deste modo, considerando que utilizamos uma banda de 10 MHz para cada canal, na faixa de frequência 2,5 GHz, e de acordo com os valores das Tabelas 4.1 e 4.3, temos:

- Número de subportadoras OFDMA ativas:

$$N_{used} = (1024 - 184) = 840. \quad (6.1)$$

- Tempo de duração do símbolo:

$$T_s = \left[\frac{1}{8} + 1 \right] \times \left[\frac{1024}{\text{piso} \left(\frac{28/25 \times 10000000}{8000} \right) \times 8000} \right]. \quad (6.2)$$

Assim, sabendo que utilizamos em nossa arquitetura células de raio igual a 800 metros, antenas MIMO 2x1 e a Figura 4.6, podemos estimar a vazão média de cada célula em nossa arquitetura, considerando que os usuários estão uniformemente distribuídos com relação às possibilidades de emprego da técnica de modulação adaptativa do padrão IEEE 802.16e [55], conforme mostra a Tabela 7.5.

Distância da estação rádio base (d)	Técnica de modulação e codificação do padrão IEEE 802.16e	Vazão
$d = 800$ metros (borda da célula)	QPSK 1/2 ($b_m = 2$; $c_r = \frac{1}{2}$)	16,33 Mbps
600 metros $< d < 800$ metros	QPSK 3/4 ($b_m = 2$; $c_r = \frac{3}{4}$)	24,5 Mbps
500 metros $< d \leq 600$ metros	16-QAM 1/2 ($b_m = 4$; $c_r = \frac{1}{2}$)	32,67 Mbps
300 metros $< d \leq 500$ metros	16-QAM 3/4 ($b_m = 4$; $c_r = \frac{3}{4}$)	49 Mbps
200 metros $< d \leq 300$ metros	64-QAM 2/3 ($b_m = 6$; $c_r = \frac{2}{3}$)	65,33 Mbps
$d \leq 200$ metros	64-QAM 3/4 ($b_m = 2$; $c_r = \frac{3}{4}$)	73,5 Mbps
Vazão média de cada célula		43,55 Mbps

Tabela 7.5 – Cálculo da vazão média de cada célula WiMAX.

Considerando uma relação DL/UL = 2:1, a vazão média no enlace direto é igual a 29,03 Mbps.

Não obstante, conforme ilustra a Tabela 7.6, vamos considerar que 30% (trinta por cento) da banda disponível em cada célula são alocados para os usuários que não são clientes dos serviços IPTV e 70% (setenta por cento) são alocados para os assinantes dos serviços IPTV. Além disso, levando-se em conta as classes de aplicações do WiMAX *Forum*, descritas no item 2.3.2 em [45], bem como item 2.3.4 do trabalho do autor de [27], estabelecemos os seguintes pesos e vazões médias para as demais aplicações (VoIP e HTTP) utilizadas em nossos cenários de simulação.

Aplicação	Vazão média	Peso
IPTV	Conforme o resultado obtido em cada cenário simulado	70%
VoIP	32 kbps	15%
HTTP (<i>web browsing</i>)	200 kbps	15%

Tabela 7.6 – Definição dos pesos das aplicações do perfil *Triple_Play_User*.

Deste modo, observando-se os resultados da Figura 7.43, onde a vazão média em cada célula do Cenário 1 é aproximadamente 195 kbytes/s; a vazão média em cada célula do Cenário 2 é aproximadamente 80 kbytes/s; e a vazão média em cada célula do Cenário 3 é aproximadamente 170 kbytes/s, podemos estimar que cada célula de nossa arquitetura suporta em média a seguinte quantidade de usuários simultâneos dos serviços IPTV, conforme ilustra a Tabela 7.7:

Número de usuários servidos por célula (\bar{x})	Padrão de Codificação do Serviço IPTV
13	H.264/AVC <i>Single Layer</i> (Cenário 1)
31	H.264/SVC <i>Spatial Scalable – QCIF Based Layer</i> (Cenário 2)
14	H.264/SVC <i>Spatial Scalable – CIF Enhancement Layer</i> (Cenário 3)

Tabela 7.7 – Média do número de usuários servidos por célula nos cenários simulados.

Contudo, estes valores consideram que os usuários estão conectados aos serviços IPTV no mesmo instante de tempo, utilizando fluxos de vídeo *unicast* (VoD).

Ressalta-se que a quantidade de usuários pode ser alterada consideravelmente se a arquitetura de integração IMS-WiMAX adotar outros parâmetros de codificação de vídeo (por exemplo, tamanho do GoP, resolução de vídeo, *frame rate* e parâmetro de quantização), utilizar técnicas de setorização com canais de 10 MHz de largura de banda e considerar conteúdos multimídias de interesse coletivo, com fluxos de vídeo *broadcast* ou *multicast*. Além disso, devido às características estatísticas das redes IP, uma quantidade maior de usuários poderia ser alocada em uma determinada largura de banda. Como exemplo, podemos citar os enlaces dedicados utilizados pelos pequenos e médios provedores de acesso, que suportam de 10 a 20 usuários, com velocidades entre 256 kbps a 1 Mbps, para cada enlace de 1 Mbps.

8 – CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Vivemos um momento de ruptura, onde a convergência entre plataformas e serviços começa a se consolidar. O principal objetivo da convergência é compartilhar uma arquitetura que propicie uma experiência uniforme na prestação dos serviços aos consumidores e permita o uso de diversos terminais de acesso, em redes heterogêneas, com sistemas unificados de faturamento e gerenciamento de sessão.

Neste contexto, estudamos neste trabalho a integração entre as redes de acesso WiMAX, desenvolvidas pelo IEEE, com a arquitetura IMS, desenvolvida pelo 3GPP, para a prestação de serviços IPTV.

Com base nas tecnologias estudadas neste trabalho, foram estabelecidas aplicações de uso bastante previsível para as tecnologias de rede consideradas, o que motivou o respectivo enquadramento e o adequado mapeamento nas diferentes classes de serviço disponibilizadas em cada parte da topologia.

Uma vez definida uma abordagem com base em simulação a eventos discretos, utilizando a ferramenta OPNET[®] *Modeler*, definimos a arquitetura e os cenários, bem como os parâmetros do núcleo IMS, das aplicações IPTV, VoIP e *web browsing* (HTTP) e do perfil *Triple_Play_User*. Além disso, caracterizamos uma abordagem para o tratamento de QoS fim-a-fim no núcleo IMS, na rede de transporte IP e na interface aérea da rede de acesso WiMAX.

De acordo com os resultados das métricas de qualidade de serviço, obtidos nos três cenários de emprego de técnicas de codificação de vídeo, simulados no Capítulo 7, verificou-se que o padrão IEEE 802.16e é uma alternativa viável de rede de acesso em banda larga para a prestação de serviços IPTV baseados em arquiteturas IMS, uma vez que todos os parâmetros avaliados em nossos cenários se mostraram adequados quando comparados com os limites estabelecidos pela UIT para a distribuição de serviços IPTV, na Recomendação ITU-T Y.1541.

Em termos de técnicas de codificação e compressão de vídeo para os serviços IPTV da nossa proposta de arquitetura, avaliamos o padrão de codificação de vídeo aprovado pela Recomendação H.264 da UIT, que é considerado um dos mais eficientes e vem sendo progressivamente utilizado em diversos sistemas de transmissão de vídeo digital sobre as redes IP e sistemas de televisão digital terrestre e via satélite.

Os resultados das simulações demonstraram que os serviços IPTV codificados com o padrão de compressão de vídeo H.264/SVC foram mais eficientes do que os serviços IPTV codificados com o padrão de compressão H.264/AVC, em relação à quantidade média de usuários dos serviços IPTV. Isto ocorre, pois o padrão de compressão H.264/SVC permite escalabilidade no tempo, no espaço e na relação sinal/ruído, adaptando os fluxos de vídeos conforme as necessidades da rede e dos diferentes terminais de acesso, garantindo, assim, uma alocação mais eficiente dos recursos disponíveis. Esta adaptação é necessária para distribuir os conteúdos multimídias, de modo escalável, nos imprevisíveis ambientes das redes sem fios. Entretanto, a eficiência do padrão H.264/SVC depende da criação de diferentes perfis, que consideram as necessidades específicas de cada usuário em termos de resolução da tela, capacidade de processamento, recursos de bateria, dentre outros.

Além disso, considerando condições estabelecidas previamente, estimamos a quantidade média dos usuários em cada célula da rede de acesso WiMAX para os três cenários de simulação definidos no trabalho. Os resultados estimados na Tabela 7.7 apontaram que o Cenário 2, que utiliza o padrão de codificação H.264/SVC *Spatial Scalable – QCIF Based Layer*, suporta uma quantidade média de usuários superior aos demais cenários. Deste modo, este poderia ser o padrão decodificação de vídeo escolhido pelas prestadoras do serviço IPTV com base na integração IMS-WiMAX para a oferta básica de serviços de *streaming* de vídeo, uma vez que o espectro radioelétrico utilizado pelas redes de acesso sem fios em banda larga é um recurso escasso e bastante oneroso às prestadoras para a obtenção das licenças de uso de radiofrequências.

A utilização de camadas complementares no âmbito do emprego do padrão H.264/SVC leva, naturalmente, a necessidades de maior emprego de banda, e pode demandar investigações adicionais, especialmente com relação ao emprego de técnicas de adaptação de conteúdo e de infraestrutura de rede, para a exploração de forma mais ampla das possibilidades associadas à escalabilidade de vídeo.

Por fim, ressalta-se que o *IP Multimedia Subsystem* foi suficientemente caracterizado como uma arquitetura que permitirá a oferta de aplicações, atuais e futuras, com maior grau de integração e interatividade entre os usuários e os serviços. Ademais, as aplicações baseadas no IMS podem ser construídas e disponibilizadas por entidades do mesmo grupo da empresa proprietária da infraestrutura, ou por terceiros que tenham contrato com a detentora da rede de acesso WiMAX.

Como trabalhos futuros, os seguintes temas são propostos: *handover* e *roaming* nas redes de acesso WiMAX para a prestação de serviços IPTV baseados no IMS; comparação entre outras tecnologias de redes de acesso para a prestação de serviços IPTV baseados na arquitetura IMS, por exemplo, o LTE; personalização de conteúdos multimídias sobre redes com núcleo IMS; integração de redes de acesso heterogêneas, convergência fixo-móvel, utilizando a arquitetura IMS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Camarillo, G., García-Martín, M. A. *The 3G IP Multimedia Subsystem – Merging the Internet and the Cellular Words*. John Wiley and Sons, Third Edition, 2008.
- [2] Mikoczy, E., Sivchenko, D., Xu, B., Rakocevic, V. *IMS based IPTV services – Architecture and Implementation*. MobiMedia'07, August 27-29, Nafpaktos, Greece, 2007.
- [3] Bertin, E., Crespi, N. *IP Multimedia Subsystem (IMS) Handbook – Cap.1: IMS Service, Models, and Concepts*. CRC Press, 2009.
- [4] Poikselkä, M., Mayer, G., Khartabil, H., Niemi, A. *The IMS – IP Multimedia Concepts and Services in the Mobile Domain*. John Wiley and Sons, 2004.
- [5] Zahid, M., Iqbal, A., Qadeer, M. A. *IPTV Service over IP Multimedia Subsystem*. WoNGeN 2008, December 17-20, Bangalore, India, 2008.
- [6] Mikoczy, E., Sivchenko, D., Xu, B., Moreno, J. I. *IPTV Services over IMS: Architecture and Standardization*. IEEE Communications Magazine, pp. 128-135, May 2008.
- [7] Samie, M., Yeganeh, H., Shakiba, M. *A Proposed Model for QoS Provisioning in IMS-based IPTV Subsystem*. IEEE Computer Society, Fourth International Conference on Systems and Networks Communications, pp. 113-118, 2009.
- [8] Good R., Ventura, N. *An End to End QoS Management Framework for the 3GPP IP Multimedia Subsystem*. IEEE International Conference on Telecommunications and Malaysia International Conference on Communications, May 14-17, Penang, Malaysia, 2007.
- [9] Friedrich, O., Arbanowski, S., Al-Hezmi, A., Seeliger, R. *IP Multimedia Subsystem (IMS) Handbook – Cap.18: IMS-Based IPTV*. CRC Press, 2009.
- [10] López, D., Mikoczy, E., Moreno, J. I., Cuevas, A., Vázquez, E. *IP Multimedia Subsystem (IMS) Handbook – Cap.19: IPTV Modeling and Architecture over IMS*. CRC Press, 2009.

- [11] Mikoczy, E. *Next Generation of Multimedia Services – NGN based IPTV Architecture*. IEEE IWSSIP 2008, 15th International Conference on System, Signals and Image Processing, pp. 523-526, June 25-28, Bratislava, Slovakia, 2008.
- [12] Friedrich, O., Seeliger, R., Arbanowski, S. *Interactive and Personalized Services for an open IMS-based IPTV Infrastructure*. IEEE Computer Society, Seventh International Conference on Networking, pp. 302-307, 2008.
- [13] Friedrich, O., Al-Hezmi, A., Arbanowski, S., Magedanz, T. *Evolution of Next Generation Networks towards an Integrated Platform for IMS-based IPTV Services*. IEEE Computer Society, SAINTW'07 – International Symposium on Applications and the Internet Workshops, 2007.
- [14] 3GPP TS 23.107 V.8.0.0. *Quality of Services (QoS) Concept and Architecture – Release 8*, 2008.
- [15] Özçelebi, T., Radovanovic, I., Chaudron, M. *Enhancing End-to-End QoS for Multimedia Streaming in IMS-based Networks*. IEEE Computer Society, ICSNC'07 – Second International Conference on Systems and Networks Communications, 2007.
- [16] Recommendation ITU-T Y.1901. *Requirements for the Support of IPTV Services*, 2009.
- [17] Recommendation ITU-T Y.1910. *IPTV Functional Architecture*, 2008.
- [18] Recommendation ITU-T H.770. *Mechanisms for Service Discovery and Selection for IPTV Services*, 2009.
- [19] Recommendation ITU-T G.1080. *Quality of Experience for IPTV Services*, 2008.
- [20] Khan, F. *LTE for Mobile Broadband*. Cambridge, First Edition, 2009.
- [21] Muntean, V. H., Ottesteanu, M. *WiMAX versus LTE – An Overview of Technical Aspects for Next Generation Networks Technologies*. International Symposium on Electronics and Telecommunications 2010 (ISETC 2010), Ninth Edition, pp. 225-228, 2010
- [22] Ghetie, J. *Fixed-Mobile Wireless Networks Convergence: Technologies, Solutions, Services*. Cambridge, First Edition, 2008.
- [23] Sauter, M. *Beyond 3G – Bring Networks, Terminals and the Web Together: LTE, WiMAX, IMS, 4G and the Mobile Web 2.0*. John Wiley & Sons, First Edition, 2009.

- [24] Trúchly, P., Golha, M., Filipko, T., Gasperák, R., Legen, M. *Simulation of IMS Using Current Simulators*. 50th International Symposium ELMAR, pp. 545-548, 2008.
- [25] Hernández, A., Álvarez-Campana, M., Vázquez, E. *Quality of Service in the IP Multimedia Subsystem*. The 5th Cost 290 Management Committee Meeting, 2006.
- [26] Wright, J. *Reconciliation of IMS to OPNET IMS Model*. Faculty of Information Technology, Monash University, 2008.
- [27] Ahmadzadeh, A. M. *Capacity and Cell-Range Estimation for Multitrafic Users in Mobile WiMAX*. Master Thesis in Electrical Engineering, School of Engineering, University College of Borås, 2008.
- [28] Xu, F., Zhang, L., Zhou, Z. *Interworking of WiMAX and 3GPP Networks Based on IMS*. IEEE Communications Magazine, pp. 144-150, March, 2007.
- [29] Kim, D., Ganze, A. *Architecture for 3G and 802.16 Wireless Networks Integration with QoS Support*. Proceedings of the 2nd International Conference on Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks (QShine'05), 2005.
- [30] Jiao, W., Chen, J., Liu, F. *Provisioning End-to-End QoS Under IMS over a WiMAX Architecture*. Bell Labs Technical Journal, pp. 115-121, Published by Wiley Periodicals Inc., 2007.
- [31] Wang, Y., Liu, W., Guo, W. *Architecture of IMS over WiMAX PCC and the QoS Mechanism*. IET 3rd International Conference on Wireless, Mobile and Multimedia Networks (ICWMMN 2010), pp. 159-162, 2010.
- [32] Seeling, P., Reisslein, M., Kulapala, B. *Network Performance Evaluation with Frame Size e Quality Traces of Single-Layer and Two-Layer Video: A Tutorial*. IEEE Communications Surveys and Tutorials, Volume 6, Issue 3, pp. 58-78, 2004.
- [33] Van der Auwera, G., David, P. T., Reisslein, M. *Traffic and Quality Characterization of Single-Layer Video Streams Encoded with H.264/MPEG-4 Advanced Video Coding Standard and Scalable Video Coding Extension*. IEEE Transactions on Broadcasting, Volume 54, Issue 3, pp. 698-718, 2008.
- [34] Anatel. Resolução nº 544, de 11 de Agosto de 2010.
- [35] Brasil. Decreto nº 7.175, de 12 de maio de 2010.

- [36] Vassiliou, V., Antoniou, P., Giannakou, I., Pitsillides, A. *Requirements for the Transmission of Stream Video in Mobile Wireless Networks*. International Conference on Artificial Neural Networks 2006 (ICANN 2006), pp. 528-537, 2006.
- [37] Kurose, J., Ross, K. *Computer Networking: A Top-Down Approach*. Hardcover, Fourth Edition, 2008.
- [38] Almomani, O., Hassan, S., Nor, S. *Effects of Packet Size on FEC Performance*. International Conference on Network Applications, Protocols and Services 2008 (NetApps2008), pp. 1-4, 2008.
- [39] Hrudey, W. *Streaming Video and Audio Content over Mobile WiMAX Networks*. Master Thesis in Electrical Engineering, School of Engineering Science, Simon Fraser University, 2009.
- [40] Recommendation ITU-T Y.1541. *Network Performance Objectives for IP-based Services*, 2006.
- [41] Cherian, S. S., Feder, P. *Integration of IMS/PCC Framework into the Mobile WiMAX Network*. IEEE Communications Magazine, pp. 66-73, 2008.
- [42] Hrudey, W. *Streaming Video Content over IEEE 802.16/WiMAX Broadband Access*. School of Engineering Science, Simon Fraser University, 2008.
- [43] Casasepere, J., Sanchez, P. *Performance Evaluation of H.264/MPEG-4 Scalable Coding over IEEE 802.16e Networks*. IEEE Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB'09), pp. 1-6, 2009.
- [44] Xie, Y.Y. *Performance Evaluation of Real Time Video Transmission Service in WiMAX*. Thesis for Master of Science, Department of Electrical and Engineering, Tatung University, 2010.
- [45] WiMAX Forum. *Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation*, 2006.
- [46] OPNET Technologies. *OPNET[®] Modeler – Product Documentation*, 2010.
- [47] IETF RFC 3261. *SIP: Session Initiation Protocol*, 2002.
- [48] IETF RFC 3588. *Diameter Base Protocol*, 2003.
- [49] IETF RFC 2865. *Remote Authentication Dial in User Service (RADIUS)*, 2000.

- [50] Andrews, J.A., Ghosh, A., Muhamed, R. *Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking*. Prentice Hall, First Printing, 2007.
- [51] Arizona State University. *Video Traces for Network Performance Evaluation*. Disponível em <http://trace.eas.asu.edu/tracemain.html>, acessado em 5 de novembro de 2010.
- [52] OPNET Technologies. *Support Center – Contributed Models*. Disponível em https://enterprise1.opnet.com/tsts/4dcgi/Models_SearchSubmit?QueryModels_what=FindAll&QueryRecordsPerPage=500, acessado em 23 de setembro de 2010.
- [53] Cisco Systems, Inc. *Gigabit-Ethernet Optimized IPTV/Video over Broadband Solution Design and Implementation Guide, Release 1.0*, 2005.
- [54] IETF RFC 4594. *Configuration Guidelines for DiffServ Service Classes*, 2006.
- [55] Upase, B., Hunukumbure, M., Vadgama, S. *Radio Network Dimensioning and Planning for WiMAX Networks*. FUJITSU Sci. Tech. J., October 2007, pp. 435-450, 2007.