



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**Swlmax: Um simulador em Realidade Virtual para auxiliar o ensino do padrão WiMAX**

**NATHÁLIA MENDES NEGRÃO**

DM: 14/2012

UFPA / ITEC / PPGEE

CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ

BELÉM – PARÁ - BRASIL

SETEMBRO DE 2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**Swlmax: Um simulador em Realidade Virtual para auxiliar o ensino do padrão WiMAX**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA E APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE COMPUTAÇÃO APLICADA.

**NATHÁLIA MENDES NEGRÃO**

DM: 14/2012

UFPA / ITEC / PPGEE  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ  
BELÉM – PARÁ - BRASIL  
SETEMBRO DE 2012

NATHÁLIA MENDES NEGRÃO

**Swlmax: Um simulador em Realidade Virtual para auxiliar o ensino do padrão WiMAX**

DISSERTAÇÃO DE Mestrado submetida à Banca Examinadora e aprovada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará e julgada adequada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica na área de Computação Aplicada.

DATA DA APROVAÇÃO: BELÉM, PA 12/09/2012.

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. Manoel Ribeiro Filho

Instituto de Tecnologia – UFPA – Orientador

---

Prof. Dr. Agostinho Luiz da Silva Castro

Instituto de Tecnologia – UFPA – Membro

---

Prof. Dr. Elói Luiz Favero

Instituto de Ciências Exatas e Naturais – UFPA – Membro

VISTO:

---

Prof. Dr. Marcus Vinicius Alves Nunes

Instituto de Tecnologia – UFPA – Coordenador do PPGE

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, por todo apoio e incentivo. Ao meu irmão, família e amigos que torcem e sempre torceram pelo meu sucesso. À Meg, minha companheira canina.

Ao professor Marcelo Barreto e ao meu sócio e amigo, Ricardo Damasceno, pelo grande auxílio durante a realização deste projeto.

Ao meu orientador, Manoel Ribeiro, pela paciência durante esses anos.

E a todos aqueles não citados, mas com certeza lembrados, que contribuíram para a realização deste trabalho.

*“Diga-me e eu esquecerei.  
Mostre-me e eu lembrarei.  
Envolve-me e eu entenderei.”  
(Confúcio)*

## RESUMO

O padrão IEEE 802.16, também chamado de WiMAX, é uma tecnologia da rede banda larga sem fio para áreas metropolitanas, utilizado como alternativa para transmissão de sinal de *Internet* a regiões que não possuem infraestrutura de rede cabeada. Atualmente, o ensino desta tecnologia em sala de aula é meramente teórico, o que dificulta a compreensão dos alunos com relação a determinadas funcionalidades do WiMAX. Nesse sentido, a presente dissertação aborda o projeto de desenvolvimento de um simulador em Realidade Virtual, chamado Swlmax, voltado para auxílio do ensino do padrão IEEE 802.16. Assim, o Swlmax simula algumas características do funcionamento deste padrão, quais sejam: faixas de frequência de operação, área de cobertura, procedimento de *handover*, transmissão sem linha de visada, entre outros. A dissertação apresenta os trabalhos correlatos que influenciaram o desenvolvimento do projeto, além de um resumo acerca do padrão IEEE 802.16. O texto apresenta também as ferramentas utilizadas no desenvolvimento do Swlmax e a implementação do simulador. Ao final do desenvolvimento, o *software* foi submetido a uma avaliação dos usuários, de modo que os resultados também são abordados nesta dissertação.

**PALAVRAS-CHAVE:** WiMAX, IEEE 802.16, simulador, ensino, realidade virtual

## **ABSTRACT**

The IEEE 802.16 standard, also known as WiMAX, is a network technology for broadband wireless metropolitan areas, used as an alternative for streaming Internet signal to regions that do not have wired network infrastructure. Currently, the teaching of technology in the classroom is only theoretical, which hinders students understanding to certain features of WiMAX. Accordingly, this work discusses the design development of a virtual reality simulator, called Swlmax, facing the aid teaching of IEEE 802.16. Thus, Swlmax simulates some features of the functioning of this pattern, which are: operating frequency bands, coverage area, handover procedure, non-line of sight transmission, among others. The dissertation presents the related work that influenced the development of the project as well as a summary on the IEEE 802.16 standard. The text also presents the tools used in the development and implementation of Swlmax simulator. At the end of development, the software was subject to an assessment of the users, so that the results are also discussed in this dissertation.

**KEYWORDS:** WiMAX, IEEE 802.16, simulator, education, virtual reality

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Visão do cockpit do piloto no Microsoft Flight.....	19
Figura 2. Interface do CameraSim .....	20
Figura 3. Visão geral do SOsim .....	21
Figura 4. Interface do NS-2 .....	22
Figura 5. Vista superior do Laboratório Virtual 3D de Redes de Computadores .....	24
Figura 6. Visão Geral da GUI do LVR.....	25
Figura 7. Soluções oferecidas pelo padrão IEEE 802.16.....	27
Figura 8. Sistema híbrido WiMAX/Wi-Fi.....	28
Figura 9. Operação em Linha de Visada (LOS).....	29
Figura 10. Sinal enviado com uma portadora X sinal OFDM.....	31
Figura 11. Processo de Handover .....	32
Figura 12. Interface do 3ds Max 9 .....	35
Figura 13. Comparação entre modelagem <i>high poly</i> e <i>low poly</i> .....	36
Figura 14. Utilização do modificador Smooth. ....	36
Figura 15. Modelo otimizado através do modificador <i>Multires</i> .....	37
Figura 16. Otimização mal sucedida através do modificador <i>Multires</i> .....	38
Figura 17. Interface do Adobe Photoshop CS5.....	39
Figura 18. Preenchimento automático com o recurso <i>Content-Aware</i> .....	39
Figura 19. Interface da Unity .....	40
Figura 20. Painel <i>Games</i> do Editor da Unity3D .....	43
Figura 21. Painéis <i>Hierarchy</i> , <i>Project</i> e <i>Inspector</i> .....	44
Figura 22. Tela inicial do Swlmax.....	45
Figura 23. Arquitetura do Swlmax.....	46
Figura 24. Vista superior do ambiente virtual .....	48
Figura 25. Topologia do Swlmax.....	48
Figura 26. Vista em perspectiva do cenário .....	49
Figura 27. Representação da <i>Base Station</i> no ambiente virtual .....	50
Figura 28. Visão geral da <i>interface</i> do Swlmax.....	52
Figura 29. Tela de controles .....	53
Figura 30. Tela de referências .....	54

Figura 31. Célula segmentada com modelos 3D lógicos .....	57
Figura 32. Linhas radiais partindo da BS.....	58
Figura 33. Resultado da subtração dos prédios em relação às linhas radiais.....	59
Figura 34. Modelos 3D responsáveis pela ativação das mensagens sobre NLOS.....	60
Figura 35. Simulação da atenuação por chuva.....	61
Figura 36. Relevância do uso do simulador Swlmax como ferramenta de auxílio ao ensino de redes sem fio.....	62
Figura 37. Avaliação quanto ao grau de motivação oferecido pelo Swlmax .....	63
Figura 38. Avaliação quanto ao nível de aquisição de conhecimento através do simulador ..	63
Figura 39. Resposta para a pergunta “você pode afirmar que Swlmax contribuiu para o seu conhecimento acerca de tecnologias de redes sem fio?” .....	64
Figura 40. Compreensão do conteúdo das informações do Swlmax.....	65
Figura 41. Nível de dificuldade na utilização dos botões e comandos de teclado.....	65
Figura 42. Nível de aprendizagem e habilidade exigida pela <i>interface</i> do Swlmax .....	66
Figura 43. Ocorrência de problemas na inicialização do Swlmax .....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Frequência x Área de cobertura .....	55
Tabela 2. Frequência x Mensagem .....	56

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
BS	Base Station
CS5	Creative Suite 5
DSL	Digital Subscriber Line
DSLR	Digital Single-Lens Reflex
ERB	Estação de Rádio Base
GPU	Graphics Processing Unit
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISO	International Standards Organization
LOS	Line Of Sight
LVR	Laboratório Virtual de Redes
MAN	Metropolitan Area Network
NLOS	Non-Line Of Sight
OSI	Open System Interconnection
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
P2P	Ponto a Ponto
PMP	Ponto Multiponto
SS	Subscriber Station
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
VRML	Virtual Reality Modeling Language
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 O CONSTRUTIVISMO E A REALIDADE VIRTUAL.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i> .....	16
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	16
1.3 RESULTADO ESPERADO .....	17
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	17
<b>2. TRABALHOS CORRELATOS.....</b>	<b>18</b>
2.1 SIMULADORES.....	18
2.1.1 <i>Microsoft Flight</i> .....	18
2.1.2 <i>CameraSim</i> .....	19
2.1.3 <i>SOsim</i> .....	20
2.2 SIMULAÇÃO DE REDES DE COMPUTADORES.....	22
2.3 REALIDADE VIRTUAL NO ENSINO DE REDES .....	23
2.4 CONSIDERAÇÕES.....	25
<b>3. WIMAX .....</b>	<b>26</b>
3.1 PADRÃO IEEE 802.16 .....	26
3.2 FUNCIONAMENTO E TOPOLOGIAS.....	27
3.3 FREQUÊNCIA DE OPERAÇÃO .....	28
3.4 OFDM .....	30
3.5 MOBILIDADE E VELOCIDADE DE TRANSMISSÃO.....	31
3.6 HANDOVER.....	32
3.7 RAIN FADE .....	33
<b>4. FERRAMENTAS UTILIZADAS .....</b>	<b>34</b>
4.1 3DS MAX 9 .....	34
4.2 ADOBE PHOTOSHOP CS5 .....	38
4.3 UNITY 3D.....	40
4.3.1 <i>Sistema de Física</i> .....	41
4.3.2 <i>Assets</i> .....	41
4.3.3 <i>Prefabs</i> .....	42
4.3.4 <i>Scripting</i> .....	42
4.3.5 <i>Interface do Editor</i> .....	42
4.3.6 <i>Portabilidade</i> .....	44
<b>5. IMPLEMENTAÇÃO DO SWIMAX.....</b>	<b>45</b>

5.1	ARQUITETURA DO SOFTWARE .....	46
5.2	O AMBIENTE VIRTUAL .....	47
5.2.1	<i>Modelos 3D do cenário</i> .....	49
5.2.2	<i>Modelos 3D lógicos</i> .....	50
5.3	MONTAGEM DA CENA.....	50
5.4	GUI (GRAPHIC USER INTERFACE).....	51
5.5	CARACTERÍSTICAS DO WIMAX IMPLEMENTADAS .....	54
5.5.1	<i>Frequência e cobertura do sinal</i> .....	54
5.5.2	<i>Nível do sinal e Handover</i> .....	56
5.5.3	<i>NLOS</i> .....	58
5.5.4	<i>Clima</i> .....	61
<b>6.</b>	<b>AVALIAÇÃO DO SOFTWARE</b> .....	<b>62</b>
<b>7.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>67</b>
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>69</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A comunicação é uma importante ferramenta da humanidade e vem se tornando cada dia mais eficiente à medida que as informações são transmitidas de forma mais rápida através do globo terrestre. Essa forma de comunicação é permitida através da constante evolução das tecnologias de telecomunicações. As redes de computadores sem fio são um exemplo dessa evolução.

Há que se dizer que por meio destas tecnologias, a humanidade vem ganhando cada vez mais liberdade no que se refere à conexão com a *Internet* em dispositivos móveis. Essa maior mobilidade, reflete-se diretamente na vida das pessoas, tornando certas atividades mais ágeis, como responder um e-mail, pagar uma conta ou mesmo trocar informações em redes sociais. Além disso, as redes sem fio são importantes recursos para o processo de inclusão digital. Tais tecnologias podem ser utilizadas para permitir acesso à *Internet* a cidades mais afastadas, que ainda não possuem cabeamento necessário para o acesso à rede mundial de computadores.

Faz-se importante destacar que, assim como as tecnologias de telecomunicações são de suma importância para a sociedade atual, seu ensino, num contexto acadêmico, também é de grande relevância para a formação de recursos humanos capazes de operar, manter e aperfeiçoar tais tecnologias. Contudo, o ensino de redes de computadores ainda se apresenta de forma bastante tradicional. De acordo com CANTÚ (2005), o modelo tradicional de ensino de redes de computadores foi influenciado diretamente pela forma de organização das principais bibliografias da área. Um exemplo desta afirmativa é a obra de Andrew Tanenbaum (TANENBAUM, 1996), que organizou o conteúdo de redes de computadores em 5 camadas de abstração, criando assim um modelo híbrido entre o modelo de referência TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) e o modelo OSI (*Open System Interconnection*). Esta forma de divisão do conteúdo em camadas é geralmente utilizada pelos docentes como modelo de segmentação do conteúdo ao longo do período letivo.

CANTÚ (2005) também afirma que a fragmentação dos conhecimentos em camadas pode, em alguns casos, levar os cursos de redes de computadores a uma discussão tediosa de conceitos, padrões e técnicas, muitas vezes vistos de forma dissociada. Uma abordagem

de ensino baseada numa ampla cobertura de conteúdos, trabalhados em profundidade, não é a mais apropriada. Diversos protocolos e padrões para redes de computadores possuem poucas aplicações práticas disponíveis ou acessíveis, o que torna o estudo bastante monótono e, às vezes, até desinteressante para os alunos. Toda a expectativa de iniciar um curso de redes de computadores é sufocada no momento em que se mergulha no estudo de padrões e especificidades muitas vezes longe de serem vislumbradas no nível aplicativo.

### **1.1 O CONSTRUTIVISMO E A REALIDADE VIRTUAL**

Em um movimento contrário ao modelo tradicional de ensino, que segue a teoria comportamentalista, o modelo construtivista descreve o ser humano como uma figura ativa no processo de aprendizagem. A filosofia construtivista, derivada da teoria de Jean Piaget (PIAGET, 1990), afirma que o indivíduo constrói seu conhecimento através da interação com o meio. A aprendizagem, portanto, é uma atividade inteligente e se dá através da descoberta ou invenção.

Outra consideração importante, na concepção de Piaget, refere-se à motivação. Ela é o elemento afetivo que impulsiona as estruturas do conhecimento e dá origem a um esforço a ser desenvolvido (MOURA et. al., 2012).

Nessa perspectiva, a tecnologia da Realidade Virtual (RV) vem sendo bastante utilizada no desenvolvimento de ferramentas de ensino, pois possibilita uma aprendizagem através da exploração do ambiente virtual, ajudando o aluno no processo de construção do conhecimento.

JUNIOR (2006) descreve a RV como um ambiente tridimensional gerado por computador, atualizado em tempo real, que permite a interação humana através de vários dispositivos de entrada e saída. Desse modo, a RV oferece aos usuários a oportunidade de explorar objetos virtuais no nível de detalhe necessário a cada atividade, pois permite uma variedade de representações, bidimensionais (2D) ou tridimensionais (3D), desktop ou imersiva. Ainda segundo JUNIOR (2006), a RV disponibiliza, com o uso do computador, um novo paradigma de interface com o usuário. A partir desta concepção, o usuário não está mais em frente ao monitor, mas sim, tem a sensação de estar “dentro da aplicação”, ou seja, dentro do ambiente onde se está desenvolvendo esta aplicação. A RV pode, então, ser vista

como um salto qualitativo em relação às interfaces gráficas tradicionais. Por seu uso, o usuário percebe a aplicação como um ambiente virtual tridimensional. Nesse sentido, a interface dentro do ambiente procura reproduzir a realidade de um determinado contexto, buscando produzir a sensação de presença neste dado ambiente através da criação dos mundos virtuais gerados por computador.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GERAL**

Buscando uma alternativa metodológica ao ensino tradicional dos padrões de redes de computadores sem fio, este trabalho propõe-se a desenvolver um simulador para auxiliar o ensino do padrão IEEE 802.16 (IEEE Std 802.16, 2009), também conhecido como WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*). O padrão WiMAX é uma tecnologia de rede sem fio que fornece acesso em banda larga e que pode ser utilizada como alternativa a tecnologias como cabo e DSL (Digital Subscriber Line) na construção de redes metropolitanas (MAN).

Há que se destacar que no desenvolvimento desse simulador, será utilizada a tecnologia da RV a fim de simular um ambiente virtual em que o aluno poderá navegar livremente e, à medida que esta ação ocorre, mensagens relacionadas ao padrão IEEE 802.16 são exibidas na tela. Para tanto, o usuário também será capaz de interagir com a interface do simulador, alterando alguns parâmetros pertinentes ao padrão estudado e, assim, entender como estes parâmetros influenciam o sinal WiMAX.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar simuladores e analisar softwares voltados ao ensino de redes;
- Realizar pesquisa bibliográfica acerca do padrão WiMAX;
- Definir como as características serão apresentadas no simulador com base na pesquisa sobre o WiMAX;
- Modelar ambiente 3D do simulador;
- Desenvolver o simulador utilizando Realidade Virtual;
- Submeter o *software* à avaliação de usuários;

### 1.3 RESULTADO ESPERADO

Espera-se desenvolver um simulador em Realidade Virtual em que aluno, ao utilizá-lo, seja capaz de visualizar e consolidar os conceitos já estudados através da interação com o ambiente virtual. Tais conceitos simulados deverão ser acerca de *Handover*, *NLOS*, *Rain Fade*, frequência de operação e cobertura do sinal.

Ressalta-se, contudo, que o simulador deverá ser utilizado após o estudo teórico em sala de aula e deverá ser utilizado como ferramenta para auxiliar o esclarecimento e fixação das informações.

### 1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O Capítulo 1 apresenta uma breve introdução a respeito do trabalho proposto nesta dissertação e das motivações para sua realização.

O Capítulo 2 apresenta os trabalhos correlatos à proposta desenvolvida, que tiveram como objetivo o aprendizado através da simulação, além de ferramentas voltadas para o ensino de redes de computadores.

O Capítulo 3 aborda as principais características do padrão IEEE 802.16.

O Capítulo 4 apresenta as ferramentas utilizadas no processo de desenvolvimento do simulador.

O Capítulo 5 descreve a arquitetura do Swlmax, bem como as etapas do desenvolvimento e as características do WiMAX implementadas.

O Capítulo 6 exhibe e comenta os resultados da avaliação do *software* realizada por usuários.

O Capítulo 7 aborda as considerações finais obtidas com os resultados deste trabalho e apresenta sugestões de pesquisas futuras.

## **2. TRABALHOS CORRELATOS**

A utilização da informática na educação vem ganhando força durante as duas últimas décadas. Nesse sentido, diversos *softwares* vêm sendo desenvolvidos com a finalidade de auxiliar o professor em sua tarefa de possibilitar novos conhecimentos aos alunos. Esses *softwares* são utilizados desde a educação infantil, na qual é predominante o uso de jogos lúdicos que possuem mais apelo visual e afetivo, até o ensino superior, com o uso de simuladores. Neste Capítulo serão citados alguns destes trabalhos que influenciaram o desenvolvimento do Swlmax.

### **2.1 SIMULADORES**

Simuladores são modelos dinâmicos e simplificados do mundo real. São utilizados como ferramenta de ensino vivencial, através da imersão do usuário em um cenário aproximado do ambiente real. Assim, ele poderá aprender com suas experiências, decisões, erros e acertos. Desse modo, os simuladores permitem a aquisição de conhecimento através da exploração, fazendo com o que o conhecimento seja construído pelo próprio indivíduo, efetivando o processo de ensino e aprendizagem.

Há que se destacar que as primeiras simulações foram desenvolvidas para criar um ambiente seguro para atividades que oferecessem risco ao ser humano, como as simulações de viagens espaciais e mergulhos profundos. Posteriormente, as simulações foram aplicadas a processos que exigiam grande investimento de tempo e/ou dinheiro, como na indústria automobilística e aviação (MAIA, 2001).

A seguir, são citados três exemplos de simuladores de diferentes áreas do conhecimento, mas que se assemelham ao simulador proposto nesta dissertação em face de sua abordagem construtivista, que visa o aprendizado como consequência da interação com o meio.

#### **2.1.1 MICROSOFT FLIGHT**

Um exemplo clássico de simulador para aviação é o Microsoft Flight Simulator, atualmente denominado apenas como Microsoft Flight (MICROSOFT, 2012) (Figura 1). Trata-se de um jogo de simulação de voo com finalidade de entretenimento, ou seja, não é

utilizado para treinamento profissional. Apesar de sua abordagem simplificada, o Microsoft Flight é capaz de fornecer ao jogador noções básicas do controle de uma aeronave, além de fornecer os instrumentos fundamentais da aviação.



Figura 1. Visão do cockpit do piloto no Microsoft Flight

O jogo é dividido em missões, de modo que as primeiras fazem parte de um treinamento básico obrigatório em que o jogador aprende as manobras principais de dois tipos de avião, incluindo decolagem e o pouso.

Para avançar no jogo e acessar o *Menu*, o jogador precisa finalizar de maneira correta os treinamentos iniciais. Além disso, também é permitido ao jogador alterar alguns parâmetros do ambiente, como condições climáticas e o horário do dia.

### 2.1.2 CAMERASIM

Outro exemplo de simulador também voltado para o público em geral é o CameraSim (CAMERASIM, 2012). Utilizado para o aprendizado da utilização de câmeras SLR<sup>1</sup> (*Single-Lens Reflex*), o software exibe em sua interface os principais ajustes contidos em câmeras deste tipo. Assim, o usuário pode ajustar diversos fatores técnicos como se estivesse utilizando uma câmera real. Em seguida, no botão *Snap Photo* (Tirar Foto), a fotografia é tirada, o que

<sup>1</sup> Câmera em que a imagem captada pela lente é mostrada no visor óptico através de um conjunto de espelhos.

permite ao usuário aprender como cada ajuste afeta o resultado final da foto. Juntamente com a mencionada fotografia pronta, é exibida uma crítica acerca da qualidade da imagem capturada.

O CameraSim é gratuito e pode ser acessado diretamente pelo navegador ou por um iPad. A seguir, na Figura 2 (a), é exibida uma imagem da interface do CameraSim e dos ajustes que foram definidos para a foto. Na Figura 2 (b) é exibido o resultado e a análise da foto feita pelo programa: “Sua foto está serialmente superexposta”.



(a) Ajustes da câmera

(b) Resultado e crítica da foto

Figura 2. Interface do CameraSim

É possível notar na Figura 2 (a) que o fator ISO<sup>2</sup> (*International Standards Organization*) está definido no nível máximo, 6400. E, como consequência, tem-se uma imagem clara demais, ou seja, superexposta no conceito de fotografia.

### 2.1.3 SOSIM

O ensino de conceitos de sistemas operacionais também enfrenta grandes dificuldades devido à complexidade de determinados conceitos, tais como o conceito de processos, escalonamento, gerência de memória virtual, entre outros.

<sup>2</sup> O fator ISO é o indicativo de sensibilidade do sensor da câmera em capturar a luz, em que quanto maior, maior a sensibilidade.

Então, de posse desta problemática, MAIA (2001) desenvolveu um simulador com a finalidade de servir de ferramenta para o ensino de sistemas operacionais. Denominado de SOsim, o simulador tem como objetivo servir de ferramenta visual que mostre o funcionamento e os conceitos envolvidos em um sistema operacional multiprogramável. Através de uma interface simples, o aluno e/ou professor podem utilizar o software educacional para consolidar conceitos apresentados em sala de aula. A Figura 3 exibe as principais janelas disponibilizadas pelo simulador, que incluem a visualização da gerência de memória, do processador e dos processos.

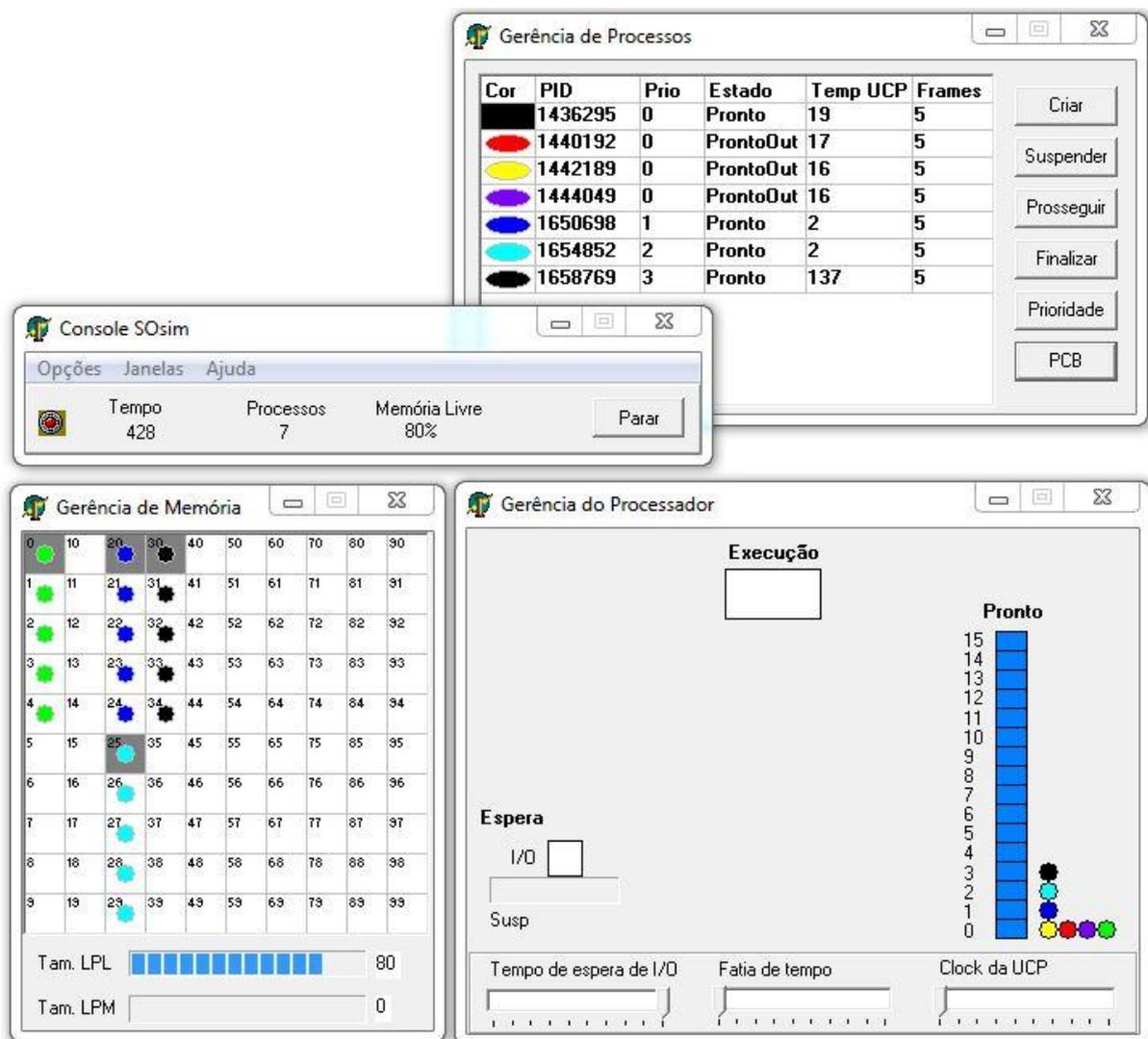


Figura 3. Visão geral do SOsim

## 2.2 SIMULAÇÃO DE REDES DE COMPUTADORES

A simulação é uma ferramenta essencial na pesquisa de redes de computadores, pois permite a confecção de modelos complexos com menor desenvolvimento matemático, não havendo assim a necessidade de implementação física.

Dentre as ferramentas disponíveis para simulação de redes, o *Network Simulator* (NS-3, 2012), atualmente na versão 3, é a ferramenta de maior popularidade entre os pesquisadores (BORIN E FONSECA, 2008).

O NS é um simulador de eventos discretos, focado para o desenvolvimento de pesquisas em redes de computadores. Sua popularidade deve-se ao fato do NS ser de domínio público e permitir a simulação de grande parte dos protocolos utilizados na Internet, em redes cabeadas e sem fio. Além disso, o *software* possui um visualizador gráfico para animações da simulação, ainda dispõe de uma ferramenta de plotagem para vários tipos de geradores de tráfego. Assim, ao final da simulação, é possível plotar os gráficos das variáveis de interesse, como: o atraso fim-a-fim, pacotes perdidos, vazão, dentre outras (PORTNOI E ARAÚJO, 2002). A Figura 4 ilustra algumas funcionalidades do NS em sua versão 2.

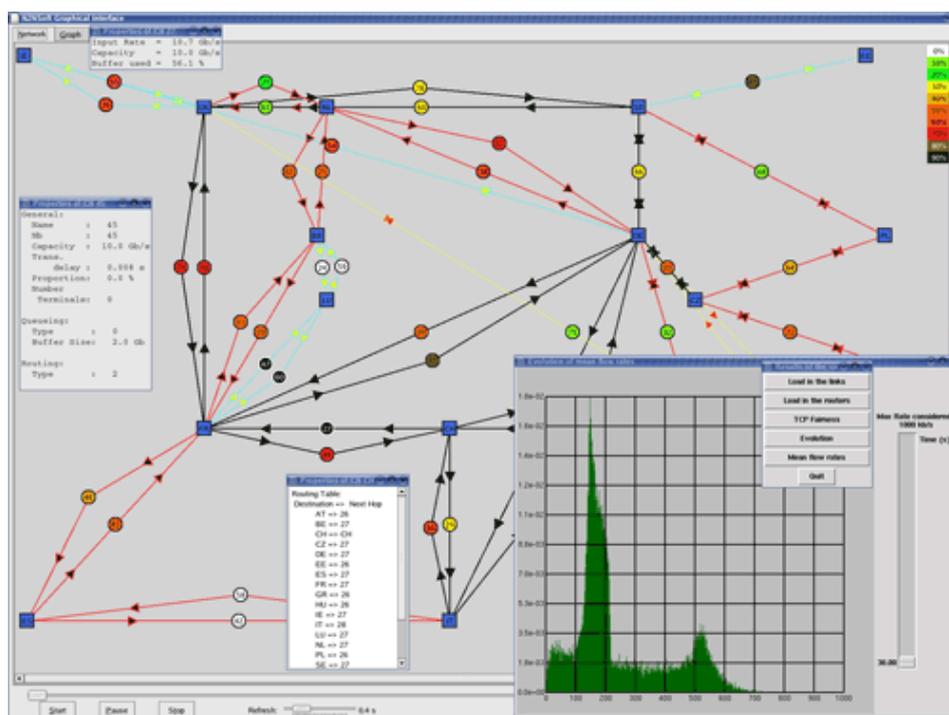


Figura 4. Interface do NS-2

A abordagem do NS é bastante eficaz e robusta em um ambiente de pesquisa, onde os testes são imprescindíveis para abalizar os modelos propostos. Porém, a utilização do NS requer um conhecimento prévio do objeto da simulação para que o usuário alcance o uso adequado da ferramenta.

### **2.3 REALIDADE VIRTUAL NO ENSINO DE REDES**

Conforme abordagem no Capítulo 1, a Realidade Virtual mostrou-se uma tecnologia altamente viável para o desenvolvimento de ferramentas voltadas para educação. Nessa perspectiva, HASSAN (2003) baseou-se em conceitos do ensino construtivista e colaborativo para desenvolver um trabalho em que utilizava a tecnologia da Realidade Virtual no desenvolvimento de um ambiente 3D interativo, visando o ensino de redes de computadores. Este ambiente 3D, desenvolvido na linguagem VRML (*Virtual Reality Modeling Language*), permite ao aluno acesso ao conteúdo da disciplina através de suas interações com o ambiente virtual. O software repassa este conteúdo ao aluno em formato multimídia: vídeos e áudios.

O espaço virtual físico é composto de cinco salas, sendo um hall de entrada e quatro laboratórios de aprendizagem, os quais contém os recursos cognitivos para proporcionar o aprendizado de conceitos, tipos, funcionamento físico e lógico de uma rede de computadores utilizando objetos interativos tridimensionais (HASSAN, 2003).

A Figura 5 apresenta uma visão geral do ambiente virtual desenvolvido por Hassan.

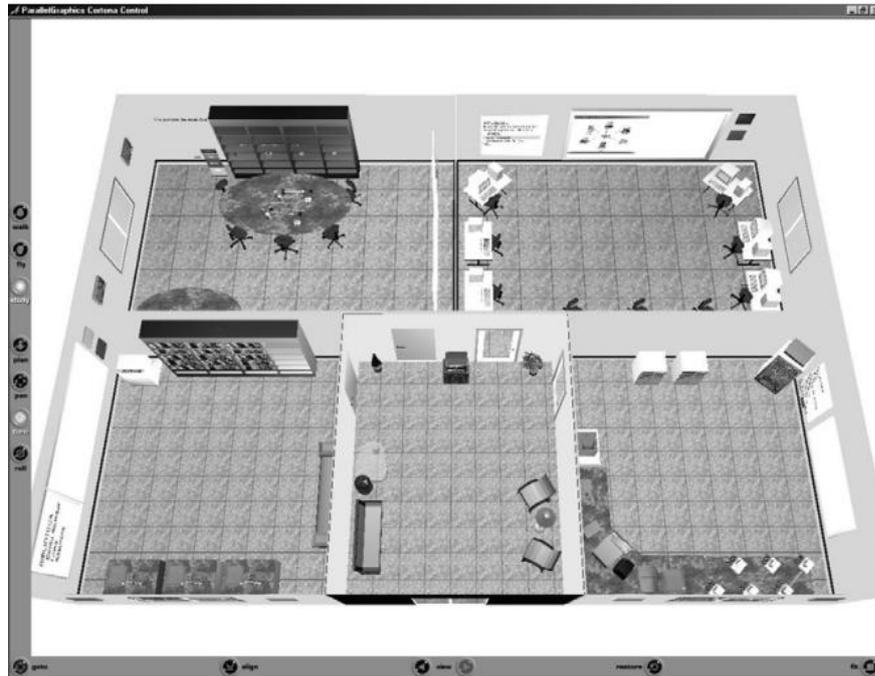


Figura 5. Vista superior do Laboratório Virtual 3D de Redes de Computadores

Nessa mesma linha foi desenvolvido por PINHEIRO E FILHO (2005) um Laboratório Virtual de Redes (LVR). Programado em Java 3D (SUN MICROSYSTEMS), o *software* simula uma rede real na qual todos os *hosts* (computadores e roteador) podem ser configurados e testados como se nela estivessem. O objetivo principal do software é disponibilizar uma estrutura que permite ao usuário interagir com este ambiente a fim de manter um treinamento continuado em configuração e testes de redes TCP/IP.

Segundo os autores, o software obteve uma boa receptividade, principalmente com relação à facilidade de poder utilizar o software em casa. Evitando, assim, que o aluno tenha que ir a um laboratório real para praticar seus conhecimentos. A Figura 6 exibe uma visão geral da interface do LVR.

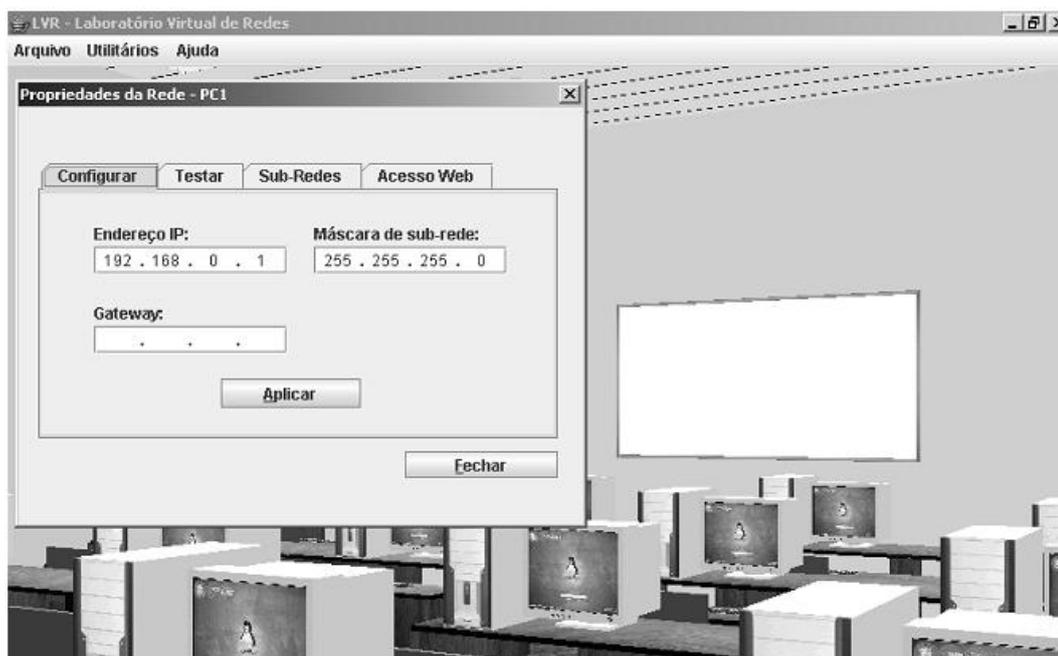


Figura 6. Visão Geral da GUI do LVR

## 2.4 CONSIDERAÇÕES

O trabalho proposto nesta dissertação possui algumas características semelhantes aos trabalhos apresentados neste Capítulo. Assim como o Microsoft Flight, o CameraSim e o SOsim, o Swlmax também pode ser considerado um simulador, pois submete o usuário a um modelo simplificado do mundo real, permitindo a construção do conhecimento através da exploração.

Em comparação ao NS, o Swlmax possui uma abordagem diferente, pois visa consolidar os conhecimentos através da imersão do usuário em uma simulação do ambiente real. Já o NS, simula um cenário abstrato programado pelo usuário e fornece como saída dados e gráficos referentes àquela simulação. Dessa forma, o NS exige do aluno uma análise destas informações, além de conhecimentos de programação. Em síntese, o NS é um software voltado para teste e experimentos, apesar de também ser utilizado em sala de aula.

Pode-se considerar, portanto, que o Swlmax possui uma proposta semelhante às apresentadas no Laboratório Virtual 3D de Redes e no LVR. Porém, ambas abordam questões referentes às redes cabeadas e utilizam tecnologias pouco robustas de RV, que não permitem, por exemplo, criar uma aplicação web.

### 3. WiMAX

O primeiro passo no desenvolvimento do Swlmax teve como foco uma pesquisa teórica a respeito do padrão IEEE 802.16. A partir disso foram definidos os aspectos que seriam implementados no simulador, com base nas principais características da tecnologia. Este Capítulo, portanto, apresenta um resumo das citadas características.

#### 3.1 PADRÃO IEEE 802.16

O padrão IEEE 802.16 é uma tecnologia de rede banda larga sem fio certificado pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers* – Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos). O padrão ficou popularizado comercialmente como WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access* – Interoperabilidade Mundial para Acesso de Microondas). Este nome foi dado pelo *WiMAX Forum*, uma organização sem fins lucrativos formada por dezenas de empresas com o objetivo de promover e certificar a compatibilidade e a interoperabilidade de produtos para a banda larga sem fio.

Há que se dizer que o WiMAX é um padrão capaz de transmitir dados em alta velocidade, além de ser capaz de criar uma convergência entre redes banda larga fixas e móveis através de uma arquitetura de rede flexível. Assim, esta tecnologia consegue transmitir sinal a longas distâncias, tornando-se uma alternativa de baixo custo na construção de redes MAN. Além disso, o padrão IEEE 802.16 é capaz de atender a necessidade de uma variedade de segmentos de acesso à banda larga, como residências, empresas e regiões sem infraestrutura de rede cabeada. A Figura 7 (INTEL CORPORATION, 2003) ilustra esta gama de possibilidades oferecida pela tecnologia WiMAX.

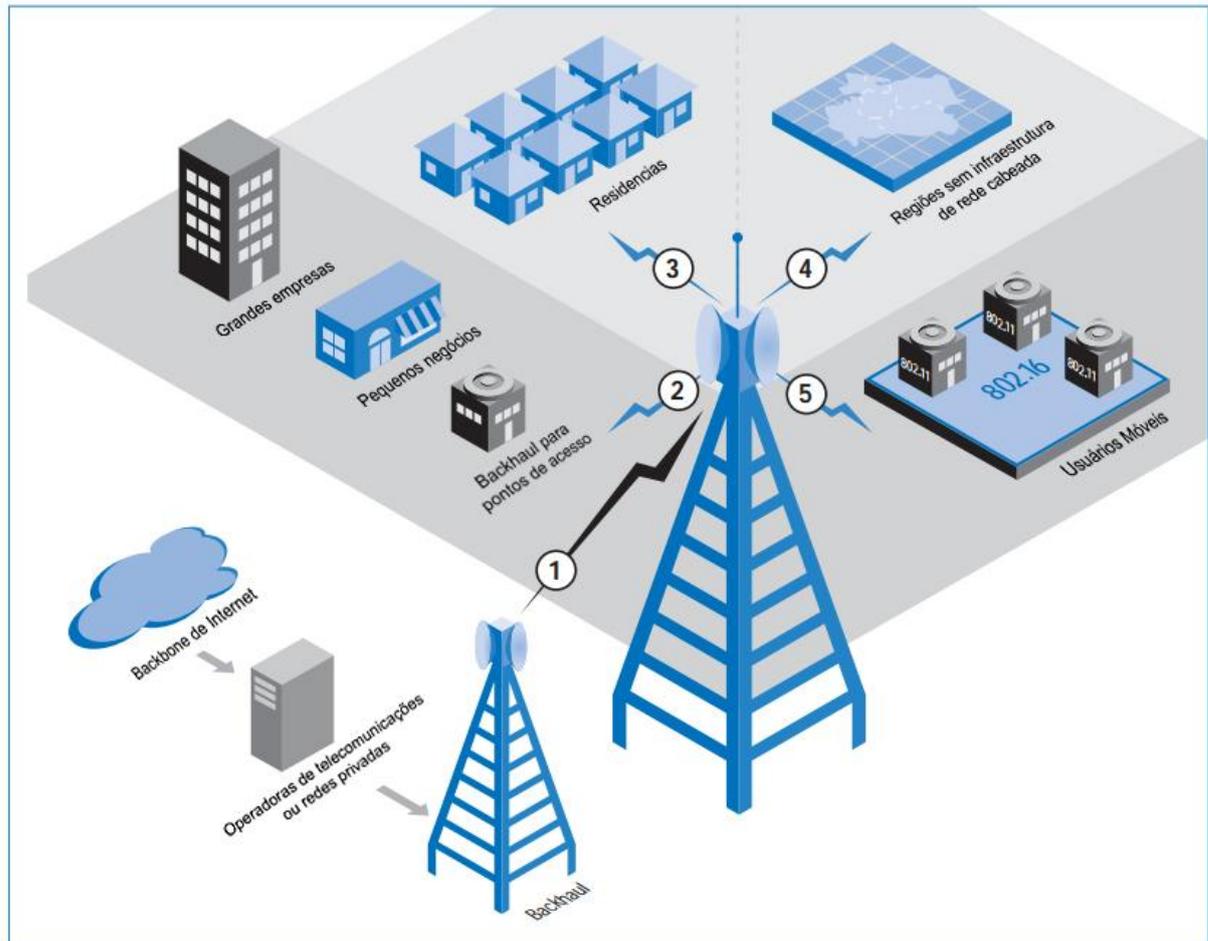


Figura 7. Soluções oferecidas pelo padrão IEEE 802.16

### 3.2 FUNCIONAMENTO E TOPOLOGIAS

Assim como a maioria das tecnologias de redes sem fio, o WiMAX possui dois componentes básicos: uma Estação de Rádio Base (ERB), também chamada de *Base Station* (BS) e uma Estação Assinante, também chamada *Subscriber Station* (SS). Uma SS também pode ser uma Estação Móvel (*Mobile Station*), caso ela seja utilizada em movimento.

A BS é a estrutura responsável pelo envio do sinal WiMAX e, geralmente, recebe sinal de *Internet* por meio de conexão cabeada a um *Backhaul*. A BS é capaz de trabalhar com arranjos de antenas setoriais que se dividem em raios de cobertura, totalizando 360 graus no entorno da estrutura. Tal estrutura também é responsável pelo controle e gerência das conexões, podendo transmitir o sinal através de um link dedicado à SS, caracterizando, assim, uma topologia P2P (ponto a ponto). O sinal WiMAX também pode ser transmitido sob

uma topologia PMP (Ponto Multiponto), em que o sinal é transmitido em diferentes canais de *downlink* para cada SS do sistema.

Faz-se importante destacar que, com a finalidade de aumentar a cobertura do sinal, a tecnologia WiMAX também é capaz de operar sob uma topologia *Mesh*, na qual a SS pode se conectar a uma ou mais SS intermediárias, até atingir a BS.

Há ainda uma quarta forma de topologia que consiste em utilizar uma solução híbrida na qual uma SS recebe o sinal WiMAX e envia o sinal Wi-Fi (IEEE Std 802.11-2007). Esta topologia vem sendo bastante adotada, visto que o padrão Wi-Fi é atualmente mais comum e acessível na chamada “última milha”. A Figura 8 (INTEL CORPORATION, 2003) ilustra esta topologia híbrida entre WiMAX e Wi-Fi. Primeiramente, o sinal é enviado a partir do *Backhaul* em uma operação ponto-a-ponto com linha de visada. Em seguida, é transmitido sob uma topologia PMP e recepcionado por um dispositivo WiMAX conectado através de cabo a um ponto de acesso Wi-Fi. Este, finalmente, transmite o sinal de internet aos usuários finais.

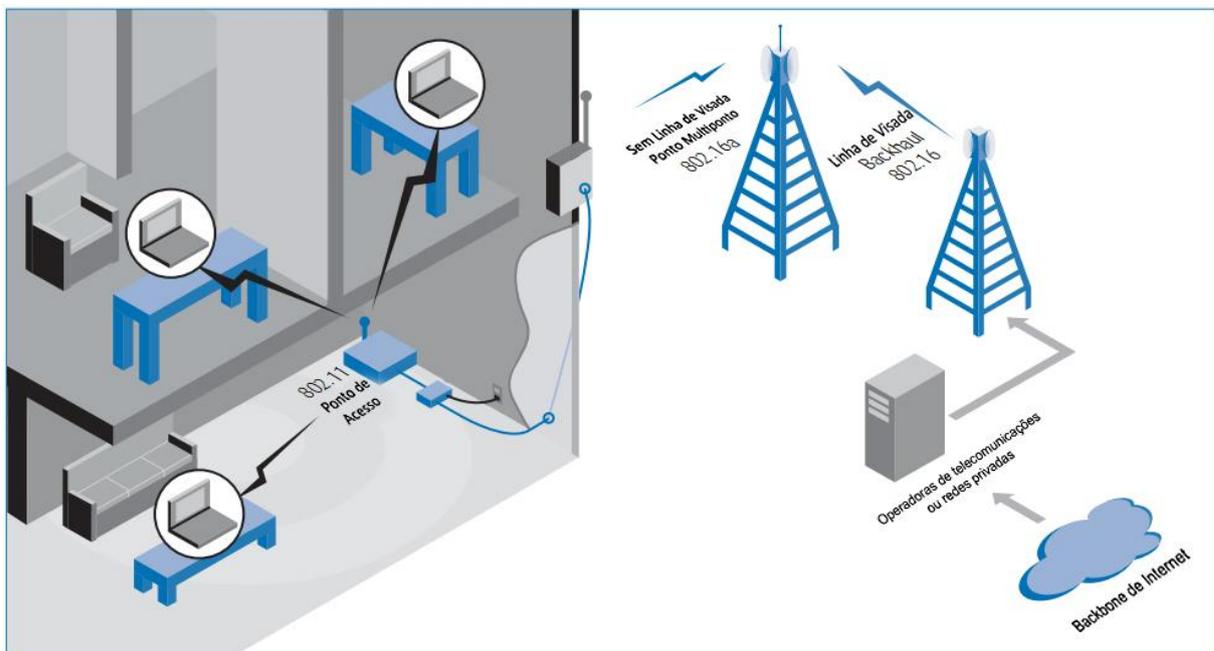


Figura 8. Sistema híbrido WiMAX/Wi-Fi

### 3.3 FREQUÊNCIA DE OPERAÇÃO

O padrão WiMAX é capaz de operar em uma ampla faixa de frequência: de 2 a 66 GHz. A faixa entre 10-66 GHz é menos utilizada, devido ao seu curto comprimento de onda,

que, conseqüentemente, diminui a área de cobertura do sinal. Nesta faixa de frequência, também devido ao curto comprimento de onda, o sinal WiMAX apenas pode ser transmitido com a chamada Linha de Visada (Line of Sight – LOS).

A definição formal de operação em LOS é estabelecida com base no conceito de zonas de Fresnel. Nela, os obstáculos à propagação do sinal de rádio podem provocar entre outros efeitos, a difração. Vale frisar que o conceito de operação em LOS consiste em garantir que não existam obstáculos situados no interior da primeira zona de Fresnel, como pode ser visualizado na Figura 9 (ROCHA, 2006).

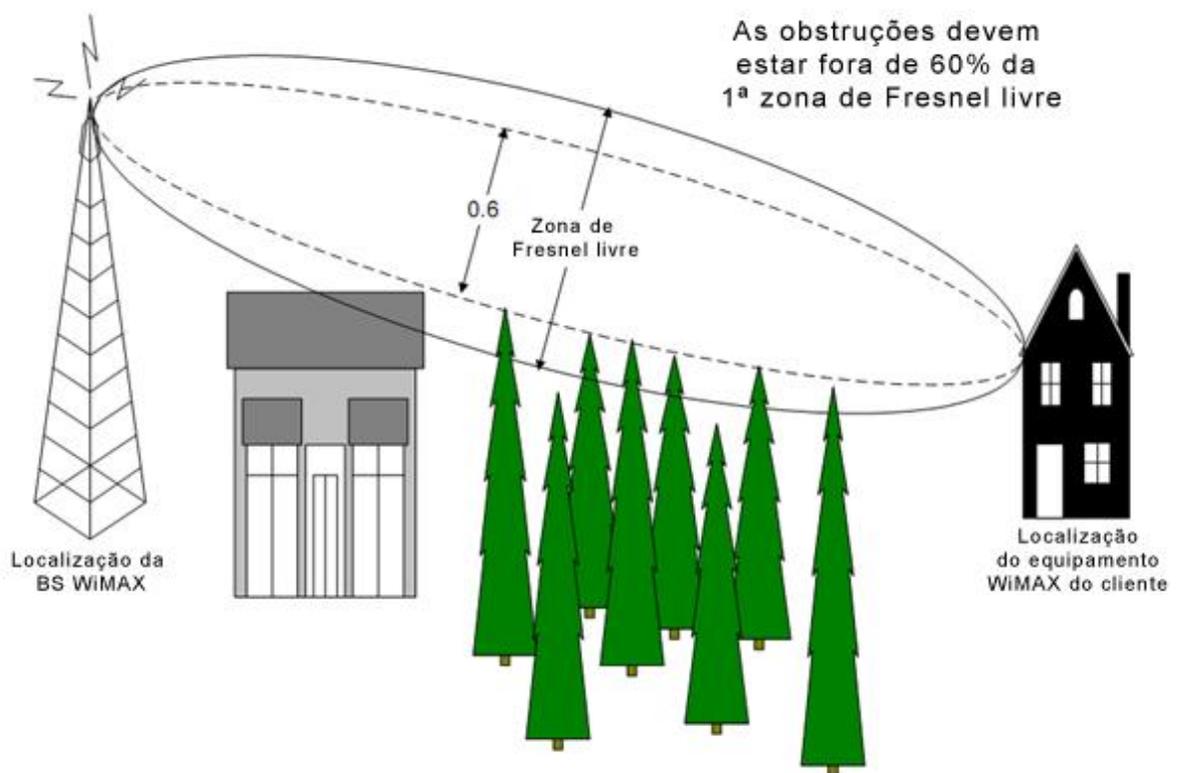


Figura 9. Operação em Linha de Visada (LOS)

Devido ao grande número de obstáculos encontrados em áreas metropolitanas, o padrão WiMAX foi construído com a capacidade de contornar este tipo de problema, transmitindo sinal sem linha de visada (Non Line Of Sight – NLOS).

Porém, este tipo de transmissão apenas é possível em faixas de frequência abaixo de 11 GHz. Sendo assim, os equipamentos desenvolvidos para o padrão IEEE 802.16, em sua maioria, transmitem o sinal nas faixas de frequências entre 2 e 10 GHz. Isto também

possibilita uma maior área de cobertura do sinal, devido ao longo comprimento de onda em comparação a frequências mais altas.

Quando se trata de frequência, no Brasil, a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) é o órgão responsável pelo Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequência. Assim, algumas dessas faixas que compreendem o intervalo de 2-10 GHz são licenciadas, quais sejam:

- 2,5 GHz: destinada às operadoras para transmissão de sinal 4G no país (BRASIL, 2010);
- 3,5 GHz: atualmente destinada ao serviço móvel, em caráter primário, porém ainda não leiloadada (BRASIL, 2010);

A ANATEL regulamenta, também, como não licenciada, o uso da faixa de frequência de 5,8 GHz (BRASIL, 2008). Ou seja, esta é a faixa de frequência de uso livre do WiMAX no Brasil, e é a faixa na qual a maioria dos equipamentos desta tecnologia operam. Porém, devido ao fato de não ser licenciada, as transmissões nesta faixa são passíveis de interferência.

### **3.4 OFDM**

A capacidade de transmissão do padrão 802.16 em NLOS é possível em razão de uma técnica de modulação implementada na camada física, chamada OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Trata-se de uma técnica de multiplexação na qual o sinal digital é dividido e enviado em paralelo através de várias de sub-portadoras ortogonais entre si. Esta ortogonalidade garante que não haja interferência entre os sinais enviados.

A Figura 10 exibe uma comparação entre o sinal enviado através de uma única portadora, e o sinal enviado através da técnica OFDM.

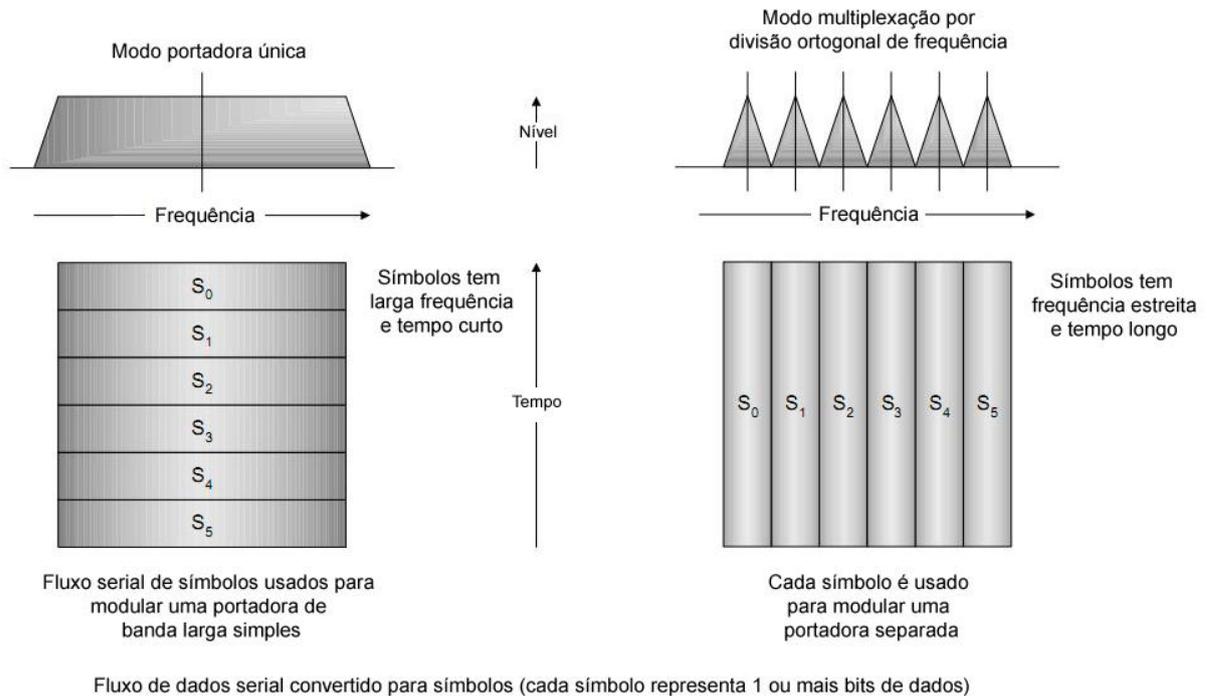


Figura 10. Sinal enviado com uma portadora X sinal OFDM

A modulação OFDM tem sido amplamente adotada nas soluções modernas de redes locais sem fio de banda larga, devido ao seu alto desempenho com relação a sua resistência à interferência e a degradação.

De fato, o OFDM permite que sistemas 802.16 operem com os grandes espalhamentos temporais (*delay spread*) de sinal, típicos dos ambientes NLOS onde se espera que tais sistemas sejam implementados (RODRIGUES, 2012).

### 3.5 MOBILIDADE E VELOCIDADE DE TRANSMISSÃO

A mobilidade é um forte diferencial do WiMAX frente as demais tecnologias de acesso a banda larga. A padronização IEEE 802.16e, prevê um excelente desempenho móvel, com velocidade de deslocamento de até 120 km/h e pode-se atingir taxas de transmissão de 1 Mbps. Já com velocidades de deslocamento mais baixas, pode-se atingir taxas de dados bem maiores (DAMIANI, 2008).

A velocidade de transmissão também é um grande diferencial da tecnologia. Em condições ideais, é possível alcançar uma velocidade transmissão de 75 Mbps para acesso

fixo P2P (ponto a ponto) ou PMP. Para os acessos de última milha, destaca-se que o WiMAX é capaz de transmitir o sinal com velocidade de até 15 Mbps.

Em linhas gerais, a velocidade de transmissão depende de diversos fatores, quais sejam: frequência de transmissão; tipo de visada; distância; tipo de mobilidade e largura de canal, que pode variar de 1,25 MHz a 20 MHz.

### 3.6 HANDOVER

O procedimento de *handover* ou *handoff* em redes de comunicação pode apresentar diversas definições. Pode descrever um conceito de mudança de célula, de frequência ou de canal (CARVALHO, 2008). Este trabalho adota o conceito de *handover* como sendo a migração de uma estação móvel de uma célula para outra.

Há que se dizer que as redes WiMAX possuem três tipos de *handover*: *Hard Handover*, *Fast Base Station Switching* e o *Macro Diversity Handover*.

O *Hard Handover* é o tipo adotado para simulação no Swlmax. Nele, ocorre a desconexão por parte do cliente móvel com a BS da qual está conectado, para que o mesmo possa detectar o sinal da nova BS para qual migrará. A Figura 11 (CARVALHO, 2008) ilustra o procedimento de *Handover*, exibindo o momento em que a MS perde conexão com a BS1 para conectar-se a nova BS2.

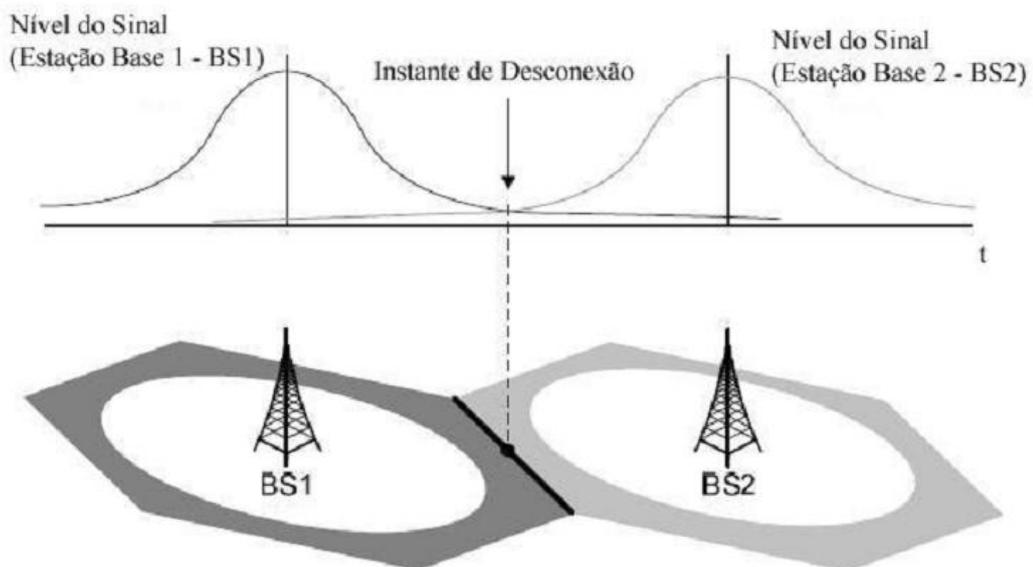


Figura 11. Processo de Handover

Apesar da desconexão do usuário submetida por este processo, a tecnologia WiMAX suporta esquemas otimizados de *Handover* com latências menores que 50 ms, com a finalidade de garantir aplicações em tempo real sem degradação de desempenho.

### **3.7 RAIN FADE**

Fenômenos climáticos, como chuva podem causar interferências em ondas de rádio em um ambiente ao ar livre. O grau de degradação do sinal depende principalmente da frequência da portadora e da taxa real de chuva num dado momento. O sinal WiMAX pode sofrer este efeito de degradação devido estes fenômenos climáticos, em operações em faixas de frequência entre 10 e 66 GHz (XIAO, 2008). Há que se destacar que o efeito de chuva é a principal causa de interferência, provocando atenuação, espalhamento e polarização cruzada das ondas de rádio. Estes efeitos causam uma diminuição da intensidade do sinal e uma redução da cobertura desse mesmo sinal.

## 4. FERRAMENTAS UTILIZADAS

No desenvolvimento de uma aplicação em Realidade Virtual *desktop*, em geral, faz-se necessário a utilização de 3 ferramentas básicas: um modelador 3D, um editor de imagens e um motor gráfico. Visando a eficiência da implementação e a qualidade do ambiente 3D, foram utilizadas as seguintes ferramentas para o desenvolvimento do Swlmax: o AutoDesk 3ds Max 9 (MURDOCK, 2007) como modelador 3D, o Adobe Photoshop CS5 (ADOBE, 2012) como editor de imagens e, como motor gráfico, foi utilizada a *game engine* Unity3D (UNITY TECHNOLOGIES, 2012). O presente Capítulo discorre acerca destas ferramentas, focando em suas características e importância dentro do projeto.

### 4.1 3DS MAX 9

O 3ds Max 9, ou simplesmente 3D Studio, é uma poderosa ferramenta de modelagem 3D desenvolvida pela AutoDesk, Inc, empresa especializada no desenvolvimento de softwares de design e conteúdo digital. Esta ferramenta pode ser utilizada para diversos tipos de criação de conteúdo 3D, quais sejam: animações digitais, maquetes para projetos de arquitetura, material publicitário, modelos 3D para Realidade Virtual e *games*, entre outros. Estas criações diferem-se principalmente pelo produto final desejado, que pode ser um vídeo ou imagem previamente renderizada<sup>3</sup> ou, até mesmo, o próprio modelo 3D. O 3ds Max 9 é capaz de gerar estes produtos citados, e, ainda, é capaz de exportar os modelos 3D para no mínimo 23 formatos de arquivos diferentes.

Há que se ressaltar que a interface do 3D Studio é bastante simples, o que facilita a curva de aprendizado do *software*. Além disso, a ferramenta permite visualizar a cena a partir de diversos ângulos simultaneamente, aumentando, assim, a eficiência do processo de modelagem. A Figura 12 exibe a interface do 3ds Max 9 na qual é possível ver a tela dividida em 4 vistas: topo, frente, esquerda e perspectiva. Dessa forma, evita-se que o modelador tenha que alterar a visão para ver o modelo de um ângulo diferente.

---

<sup>3</sup> Renderização é processo de obtenção de uma imagem através de um processamento digital.

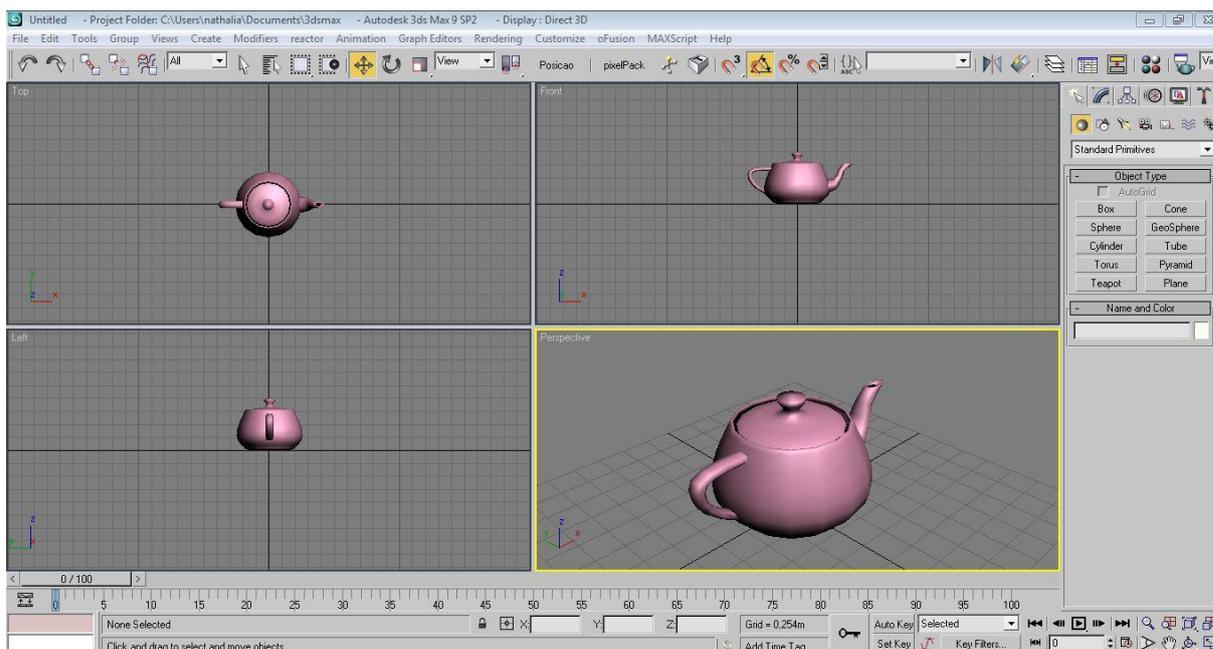


Figura 12. Interface do 3ds Max 9

Além da facilidade e eficiência na modelagem, o 3ds Max 9 possui outra vantagem: o fato de ser um software bastante utilizado na área de criação de modelos 3D. Assim, a comunidade de modeladores que trabalha com este *software* é bastante extensa, o que facilita a aquisição de conteúdo 3D pronto.

Ressalta-se que os modelos utilizados em Realidade Virtual possuem uma característica essencial: a quantidade de polígonos. Nessa perspectiva, é importante que haja um equilíbrio entre qualidade e simplicidade dos modelos 3D. Esta premissa se deve ao fato de que, em ambientes de RV, a renderização ocorre em tempo real. Ou seja, a cada quadro exibido na tela, a cena é novamente renderizada, o que leva a um elevado consumo de recurso computacional. Em resumo, quanto mais polígonos um modelo 3D possuir, mais recurso computacional será consumido em sua renderização.

Desse modo, pode-se dividir os modelos 3D em duas categorias: *high poly*, com grande quantidade de polígonos e *low poly*, com baixa quantidade de polígonos e, conseqüentemente, mais indicado para uso em ambientes interativos. A Figura 13 exibe uma comparação entre um modelo *low poly* e um modelo *high poly*.

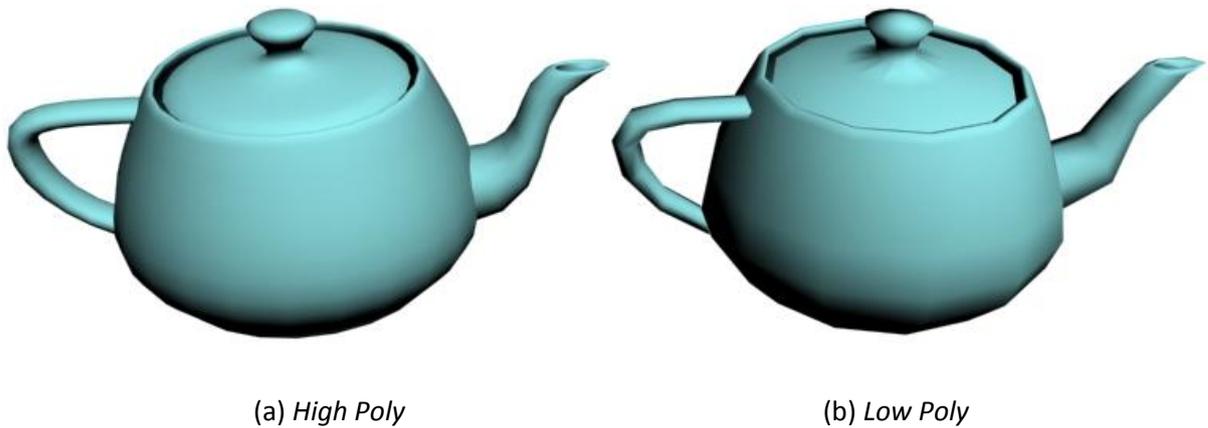


Figura 13. Comparação entre modelagem *high poly* e *low poly*

É importante frisar, que na modelagem o nível de detalhes deve ser relativo à importância do objeto na cena. Nesse sentido, se o objeto for o foco do usuário na cena 3D, deve-se considerar a utilização de mais polígonos em sua modelagem. Dessa forma, aumenta-se o realismo e melhora-se a imersão do usuário. Há que se ressaltar que os objetos secundários podem ter seu nível de detalhes reduzido, visando o equilíbrio da quantidade de polígonos na cena.

Observa-se ainda que o 3ds Max 9 possui algumas funções que auxiliam a modelagem *low poly*, com a finalidade de melhorar a aparência do objeto 3D, porém mantendo a sua simplicidade. Uma dessas funções é o modificador *Smooth*, utilizado para suavizar as arestas (junções entre polígonos), tornando, assim, a segmentação do modelo menos perceptível. A Figura 14 exibe uma comparação entre dois modelos iguais e com a mesma quantidade de polígonos, diferenciando-se pela utilização do modificador *Smooth*.

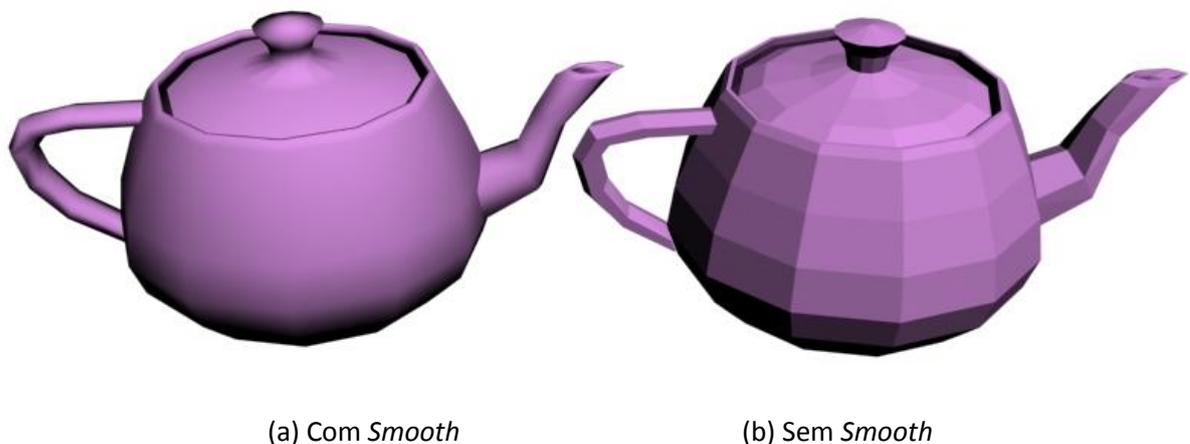


Figura 14. Utilização do modificador *Smooth*.

Outra função do 3ds Max 9 também útil na modelagem *low poly* é o modificador *Multires*. Este é capaz de otimizar um modelo 3D reduzindo seus vértices através de um algoritmo próprio. A Figura 15 exibe uma comparação entre um modelo antes e depois da utilização do *Multires*.

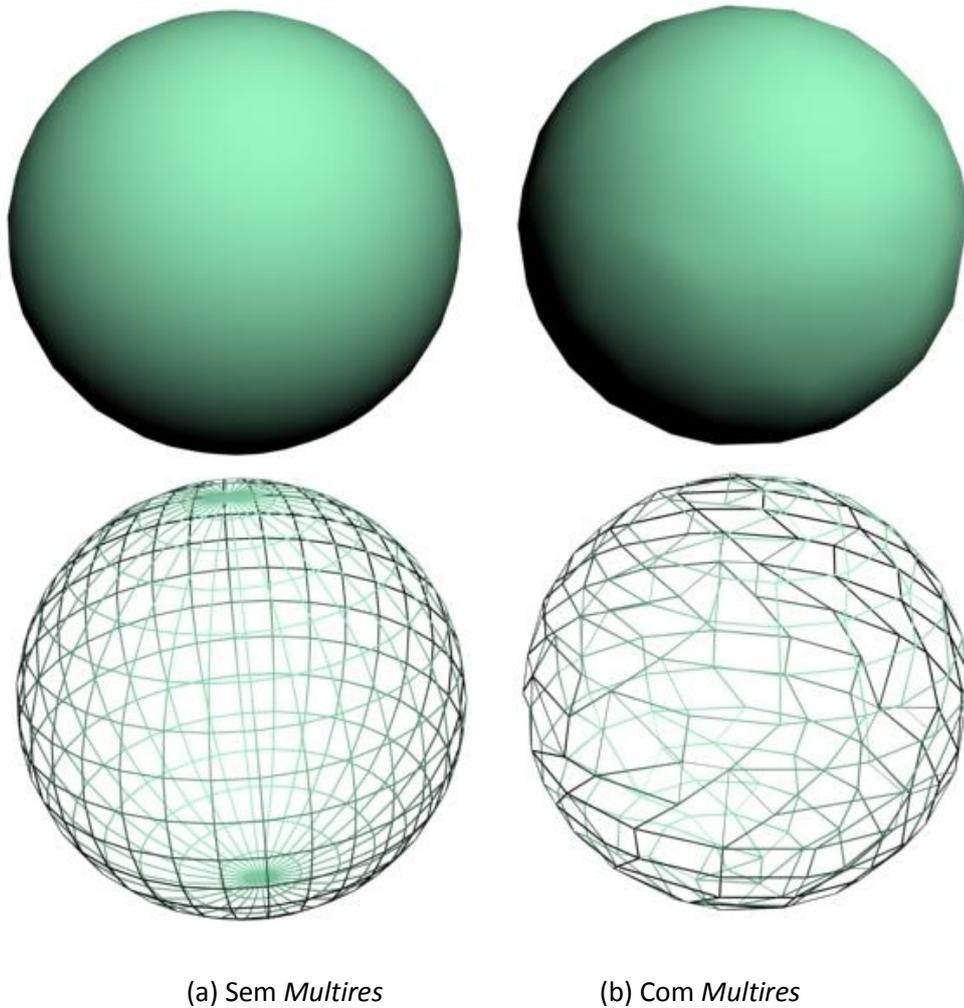


Figura 15. Modelo otimizado através do modificador *Multires*

A esfera da Figura 15a possui 482 vértices e 960 polígonos. Após a utilização do *Multires*, essa mesma esfera foi reduzida a 193 vértices e 382 polígonos, uma otimização de 60% do modelo. Pode-se notar que a diferença entre uma esfera e outra é pouco perceptível, podendo ser visualizada mais facilmente na renderização em *wireframe*, na qual apenas são exibidas as arestas do modelo 3D. Logo, o modificador *Multires* torna-se uma boa alternativa para a otimização deste modelo 3D.

Ressalte-se, porém que o *Multires* não é indicado em todos os casos, devendo ser evitado em casos de modelos com linhas bem definidas. Isso se justifica pelo fato de que o resultado do *Multires* é imprevisível, podendo fazer com que o modelo 3D perca seus traços característicos. A Figura 16 exibe uma otimização com *Multires* na qual o modelo perdeu importantes faces, sofrendo, assim, alterações visíveis.

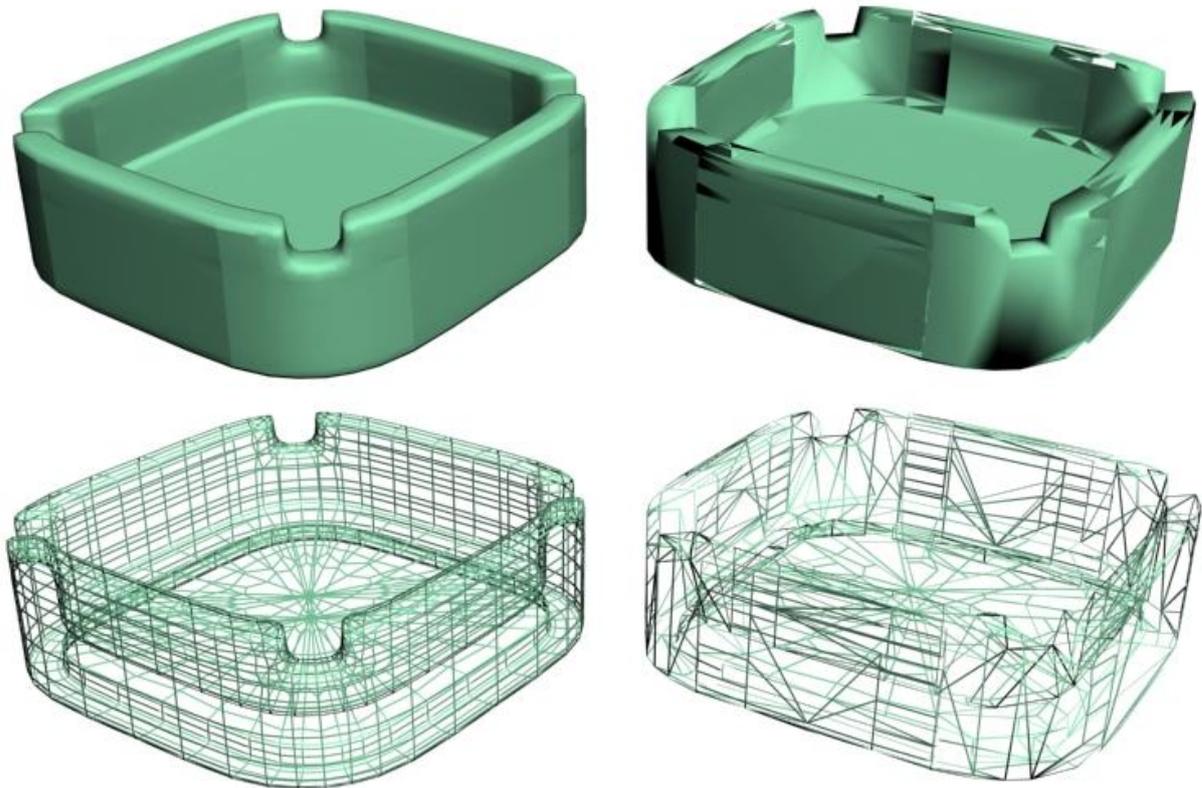


Figura 16. Otimização mal sucedida através do modificador *Multires*

#### 4.2 ADOBE PHOTOSHOP CS5

O Adobe Photoshop CS5, também conhecido como Photoshop, é um editor de imagens desenvolvido pela empresa Adobe Systems. A versão utilizada no desenvolvimento do Swlmax foi a contida no pacote CS5 (*Creative Suite 5*), que corresponde a versão 13.0. Tal *software* é o mais famoso editor de imagens do mercado, contando com mais de 20 anos de história. Uma ferramenta que se encontra altamente consolidada no mercado e oferece uma gama de recursos muito úteis na criação de *interfaces* para RV e texturas para modelos 3D. A Figura 17 exibe a interface do *Adobe Photoshop CS5*.

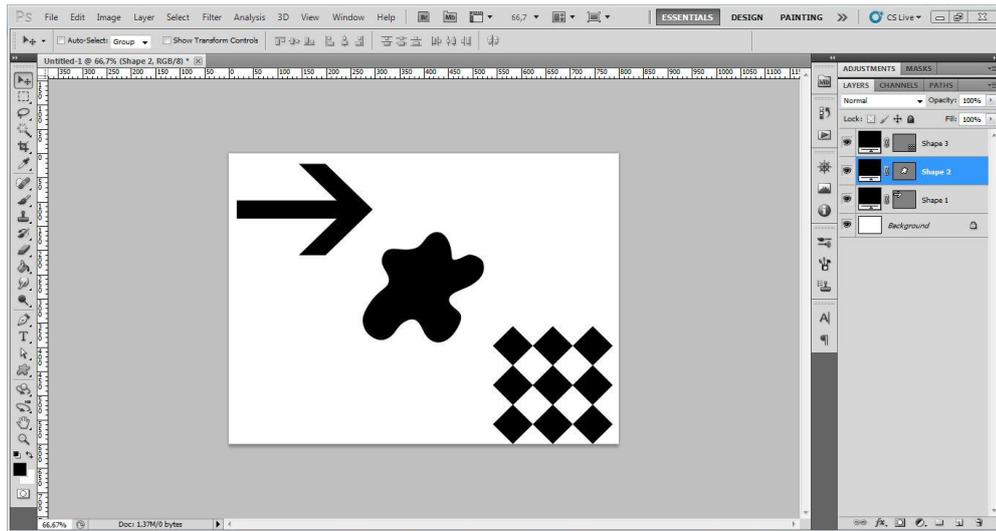
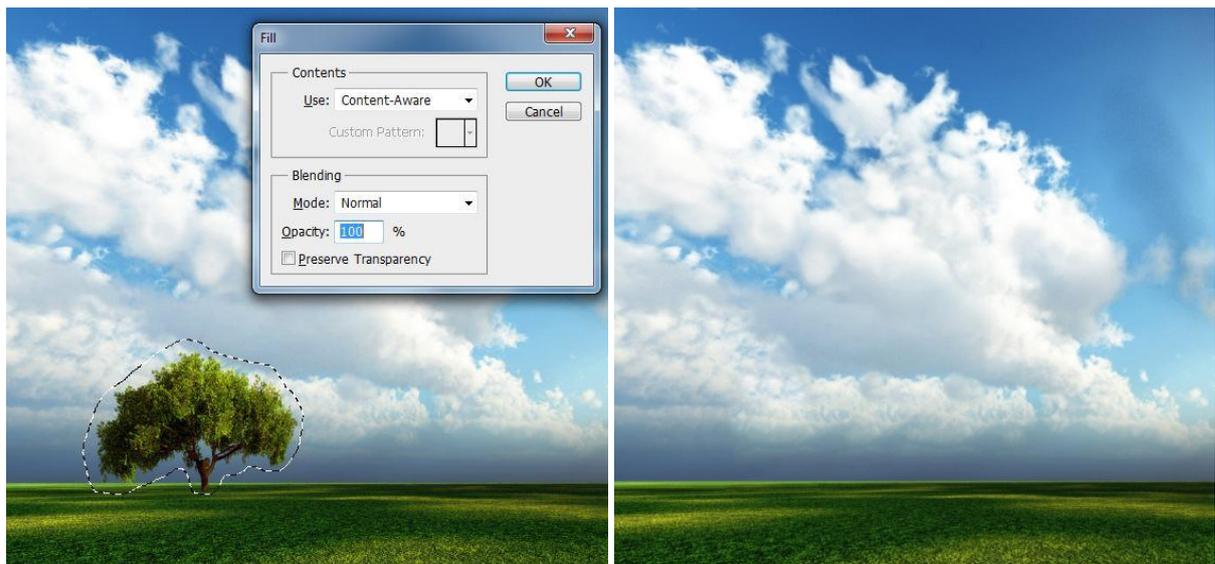


Figura 17. Interface do Adobe Photoshop CS5

Um recurso fundamental do Photoshop é a manipulação da imagem através de camadas. Isto torna o trabalho mais eficiente, visto que cada elemento da imagem pode ser manipulado separadamente. Além disso, é possível obter diversos resultados diferentes através da sobreposição destas camadas. Outro recurso que proporciona um diferencial ao software chama-se *Content-Aware* (Sensível ao Conteúdo). Esta função permite que uma determinada área da imagem seja preenchida automaticamente considerando o restante do conteúdo da imagem. A Figura 18 exibe um exemplo da utilização do *Content-Aware*.



(a) Seleção da área desejada

(b) Imagem após o preenchimento

Figura 18. Preenchimento automático com o recurso *Content-Aware*

### 4.3 UNITY 3D

Uma *game engine* (motor de jogo) é um *software* que visa facilitar e abstrair o desenvolvimento de *games* e aplicações em RV através de recursos criados para aumentar a eficiência de determinadas tarefas, como o carregamento dos modelos 3D, a inclusão de animações, de física, de sons e etc.

A Unity 3D, ou simplesmente Unity, é uma *game engine* desenvolvida pela Unity Technologies e atualmente encontra-se em sua versão 4. Uma de suas principais vantagens é a facilidade do desenvolvimento do projeto por meio de uma *interface* visual com recursos *drag-and-drop* (arrastar e soltar) e de diversos componentes de jogos prontos para inclusão. O *software* oferece, também, a possibilidade de criação de *games* em 2D e 3D, suportando importação de arquivos de diversos *softwares* modeladores 3D, como Autodesk Maya, Autodesk 3ds Max, Cinema 4D, Blender, Google SketchUp, entre outros. A *engine* também permite o desenvolvimento de aplicações para diversas plataformas como: iOS, Android, Nintendo Wii, Sony Playstation 3, Microsoft Xbox 360, além de aplicações *desktop* e *web*. A Figura 19 exibe a interface da Unity com o projeto do Swlmax carregado.

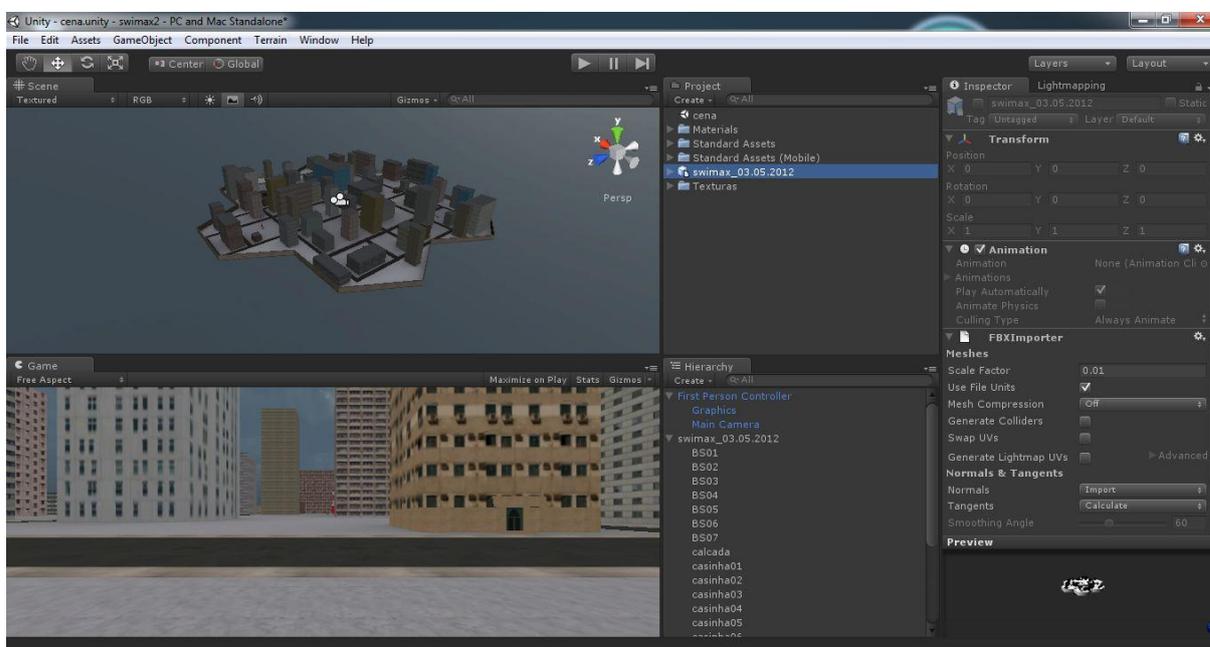


Figura 19. Interface da Unity

Outra vantagem da Unity é o suporte aos sistemas operacionais mais utilizados atualmente: o Windows, o MacOs e o Linux. A Unity também oferece várias possibilidades

de licenças, uma para cada tipo de desenvolvedor, tais quais: Unity, Unity Pro, iOS, iOS Pro, Android, Android Pro, Flash e Flash Pro. Ressalta-se que a licença Unity é a versão gratuita da *engine* e pode ser usada tanto para estudos quanto para fins comerciais, no caso de empresas que faturam até US\$ 100.000 por ano.

Ademais, os recursos disponíveis pela Unity visam principalmente à otimização do tempo de desenvolvimento e a qualidade da aplicação final.

A seguir, serão descritos alguns desses recursos: Sistema de Física, *Assets*, *Prefabs* e *Scripting*.

#### **4.3.1 SISTEMA DE FÍSICA**

Em *games* e ambientes em RV é comum a utilização de um sistema de física para simulação em tempo real de determinados fenômenos como colisão, gravidade, dinâmica de objetos, entre outros. Para tal, faz-se necessária a utilização de uma *engine* física, que será a responsável por estes cálculos complexos utilizando o processador da placa gráfica, a GPU (*Graphics Processing Unit* – Unidade de Processamento Gráfico). A Unity utiliza uma das mais famosas e completas *engines* físicas, o Physx (NVIDIA CORPORATION, 2012). Observa-se que na própria interface da Unity, há componentes de física pré-definidos que permitem o desenvolvimento rápido e controles eficientes, aumentando, assim, a produtividade do desenvolvedor. Desta forma, existem várias escolhas para colisão como caixa, esfera, cápsula, além de simulação de tecidos, corpos rígidos e forças (GOLDSTONE, 2009).

#### **4.3.2 ASSETS**

Um *Asset* é todo tipo de conteúdo utilizado em um projeto, quais sejam: modelos 3D, imagens, sons, *scripts*, texturas, materiais e etc. A Unity permite a criação de pacotes de *Assets*, ou seja, uma coleção desses conteúdos. Um pacote criado por um usuário pode ser vendido diretamente na loja virtual da Unity3D, chamada *Asset Store*, através de um processo bastante simples. Dessa mesma forma, um usuário também pode comprar um *Asset* que seja de seu interesse.

Essa dinâmica de compra e venda de conteúdo permite uma otimização do tempo de desenvolvimento de um projeto, visto que algo que poderia levar dias ou semanas para ser desenvolvido, pode ser comprado pronto tendo em vista a necessidade do projeto.

### 4.3.3 PREFABS

Um *Prefab* é um tipo de *Asset*. Trata-se de elementos criados com a finalidade de reutilização, normalmente contendo *scripts* de lógica para o funcionamento de determinado conteúdo. Como exemplo de *Prefab*, pode-se citar o *First Person Controller* (Controle de Primeira Pessoa), previamente contido na instalação básica da Unity. Como o próprio nome já diz, esse *prefab* é utilizado para a inclusão de um elemento na cena que funcionará como um controle de primeira pessoa. Nessa lógica, o usuário navegará pelo ambiente controlando a câmera em nível de solo e sem visualização de um avatar.

Os *prefabs* são um dos recursos da Unity que focam a eficiência e a abstração do desenvolvimento de um projeto. Nesse sentido, para aplicações simples, o usuário não tem necessidade de ter contato com código de programação, precisando apenas utilizar-se dos recursos já disponíveis pela *engine*.

### 4.3.4 SCRIPTING

Segundo NEGRÃO et. al. (2011), o uso de *scripts* na Unity é fundamental para a criação da lógica da aplicação. Com ele é possível controlar tempos de animação, acionamento de áudio, ações de teclado e mouse, interfaces com o usuário, além da inteligência artificial.

Ressalta-se que a Unity permite a criação de *scripts* em três linguagens diferentes: *JavaScript*, *C#* ou *Boo* (um dialeto de *Python*), em que um mesmo projeto pode fazer uso das 3 linguagens ao mesmo tempo.

### 4.3.5 INTERFACE DO EDITOR

A interface principal da *Unity* é formada de vários painéis ajustáveis. Esses auxiliam o desenvolvedor e podem ser reagrupados e ordenados para facilitar o trabalho. Os principais painéis da interface da Unity são: *Scene*, *Game*, *Hierarchy*, *Project* e *Inspector*.

**Scene:** É um ambiente 3D utilizado para adicionar, posicionar e selecionar os objetos que compõem a cena, como modelos 3D, câmeras, luzes, sistema de partículas e etc. Estes objetos podem ser facilmente manipulados, podendo sofrer alterações em escala, rotação e translação.

**Game:** Este painel é o resultado da renderização da câmera manipulada no painel *Scene*. A cena do *Game*, portanto, é renderizada em tempo real, podendo ser utilizada para testar o projeto sem a necessidade de gerar um executável final. O painel exibe também algumas estatísticas importantes para conhecimento do desenvolvedor, quais sejam: consumo de memória, *frames* por segundo, quantidade de triângulos, entre outros. A Figura 20 exibe o painel *Game* juntamente com a janela de estatísticas.



Figura 20. Painel *Games* do Editor da Unity3D

**Hierarchy:** Este painel contém todos os objetos presentes na cena atual. Através dele é possível selecionar rapidamente um objeto da cena, renomeá-lo, além de verificar a hierarquia desse objeto. Através do painel *Hierarchy* também é possível duplicar ou excluir um objeto.

**Project:** Neste painel é possível agrupar todos os recursos incluídos no projeto, mesmo aqueles que não estão na cena, como *scripts*, modelos 3D, texturas e etc. Para que um arquivo seja utilizado no projeto, é necessário que o mesmo seja carregado neste painel, e, assim, seja manipulado no painel *Scene*.

**Inspector:** É o painel responsável pela exibição das informações dos objetos da cena. A partir dele, é possível alterar diretamente as propriedades e funcionalidades dos objetos. Através do *Inspector*, também é possível alterar as variáveis de um *script*, em tempo de execução, sem a necessidade de modificá-lo permanentemente. Assim, a Unity permite que

o desenvolvedor teste inúmeras possibilidades no projeto sem precisar editar o código e compilar o projeto.

A Figura 21 exibe os painéis *Hierarchy*, *Project* e *Inspector*.

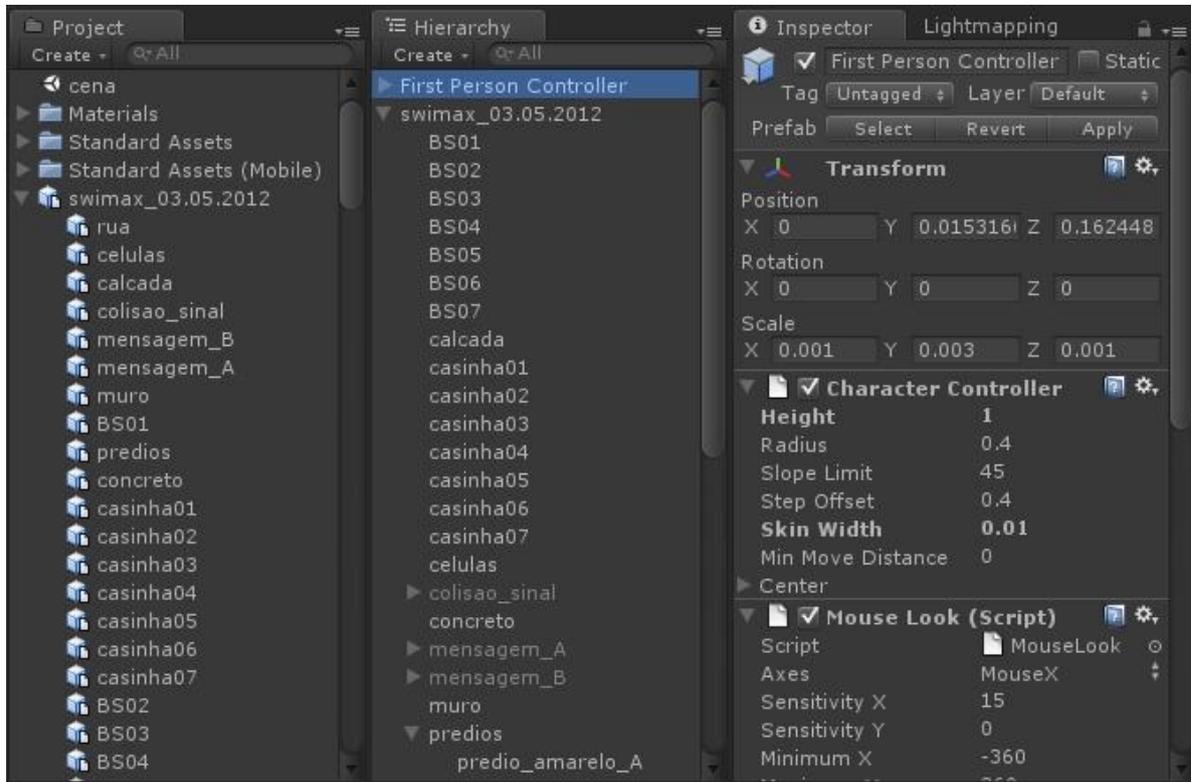


Figura 21. Painéis *Hierarchy*, *Project* e *Inspector*

#### 4.3.6 PORTABILIDADE

O resultado final compilado pela Unity pode ser exportado para a versão *web* ou *Desktop (Standalone)*. Na versão *web* existe a integração, através de um *plugin*, com os principais navegadores, quais sejam: Microsoft Internet Explorer, Mozilla Firefox, Opera, Google Chrome e Safari. Já a versão *Desktop* permite criar arquivos executáveis para a plataforma Windows, MacOs e ambientes Linux.

## 5. IMPLEMENTAÇÃO DO SWIMAX

O Swlmax é um simulador que atua como uma ferramenta auxiliar de ensino, em que num processo de interação com o ambiente virtual, o aluno é capaz de consolidar seus conhecimentos previamente adquiridos a respeito do padrão WiMAX. O simulador trata-se de uma aplicação *web* (executado dentro do navegador) e pode ser acessado gratuitamente pelo endereço [www.guest3d.com.br/swimax](http://www.guest3d.com.br/swimax).

A Figura 22 exibe a tela inicial do Swlmax contendo uma breve introdução a respeito do padrão IEEE 802.16 e do próprio simulador.



Figura 22. Tela inicial do Swlmax

Há que se observar que a ideia da criação deste simulador originou-se de um trabalho desenvolvido para a disciplina Tópicos Especiais Em Computação Aplicada: Tecnologias e Protocolos Para Redes Sem Fio, cursada durante o curso de mestrado da autora. Vale destacar que para o desenvolvimento da presente dissertação, o Swlmax foi remodelado em nível de interface, de textos, de ambiente virtual, além de incluir novas características do WiMAX, não abordadas na versão anterior.

Assim, este Capítulo apresenta as características do Swlmax, bem como sua arquitetura e as etapas do desenvolvimento.

### 5.1 ARQUITETURA DO SOFTWARE

O Swlmax é um *software* em Realidade Virtual e, portanto, constituído de um ambiente virtual 3D que permite a interação do usuário em tempo real. Nessa perspectiva, a arquitetura do simulador pode ser dividida em blocos relacionados entre si para facilitar a compreensão de sua implementação. A Figura 23 exibe a arquitetura do Swlmax através destes blocos e suas relações.

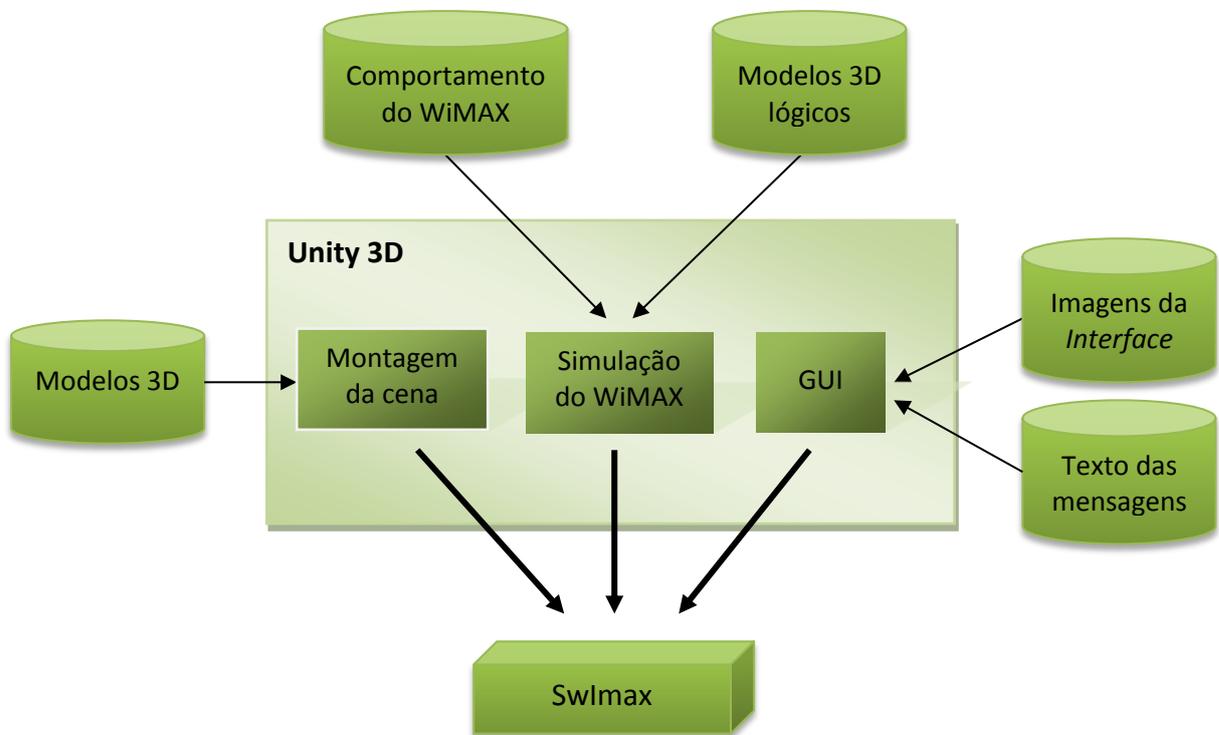


Figura 23. Arquitetura do Swlmax

**Unity 3D:** Representa a *game engine* utilizada para o desenvolvimento do Swlmax.

**Modelos 3D:** São os modelos que compõe a cena visualizada pelo usuário.

**Montagem da cena:** Representa o processo de inclusão e posicionamento dos modelos 3D, além dos controles do usuário.

**Comportamento do WiMAX:** Representa as características do padrão IEEE 802.16 abordadas no simulador.

**Modelos 3D lógicos:** São objetos invisíveis aos usuários, utilizados para auxiliar a simulação do WiMAX.

**Simulação do WiMAX:** Representa a implementação do comportamento do padrão IEEE 802.16, de acordo com o proposto, através dos *scripts* e com auxílio dos modelos lógicos.

**Imagens da Interface:** São imagens utilizadas para a implementação da GUI.

**Textos das mensagens:** São as informações fornecidas ao usuário, em tempo real, de acordo com a interação realizada dentro do simulador.

**GUI:** É a interface utilizada pelo usuário para visualizar informações e realizar determinadas interações com o Swlmax.

**Swlmax:** É o resultado obtido pela Unity após a montagem da cena, juntamente com a simulação do WiMAX e a GUI.

Nas seções a seguir, são descritas mais detalhadamente as fases da implementação do Swlmax relacionadas a cada bloco da arquitetura do sistema.

## 5.2 O AMBIENTE VIRTUAL

O ambiente virtual do Swlmax é constituído de 7 células formadas por prédios de variados tipos e tamanho, além de ruas e calçadas, simulando, assim, o ambiente de uma cidade. Diferentemente da primeira versão do Swlmax, na qual as células eram idênticas, procurou-se desta vez modelar as células diferentes umas das outras, com o intuito de instigar a curiosidade do usuário em relação à descoberta do ambiente.

Por tratar-se de um simulador com propósitos educativos, visou-se na modelagem simplificar algumas características reais da propagação do sinal. Dessa forma, as células foram modeladas em formato hexagonal, para que a simulação do procedimento de *Handover* fosse implementada de forma mais simples na *game engine*.

A Figura 24 exibe uma visão superior e em *wireframe* do ambiente virtual.

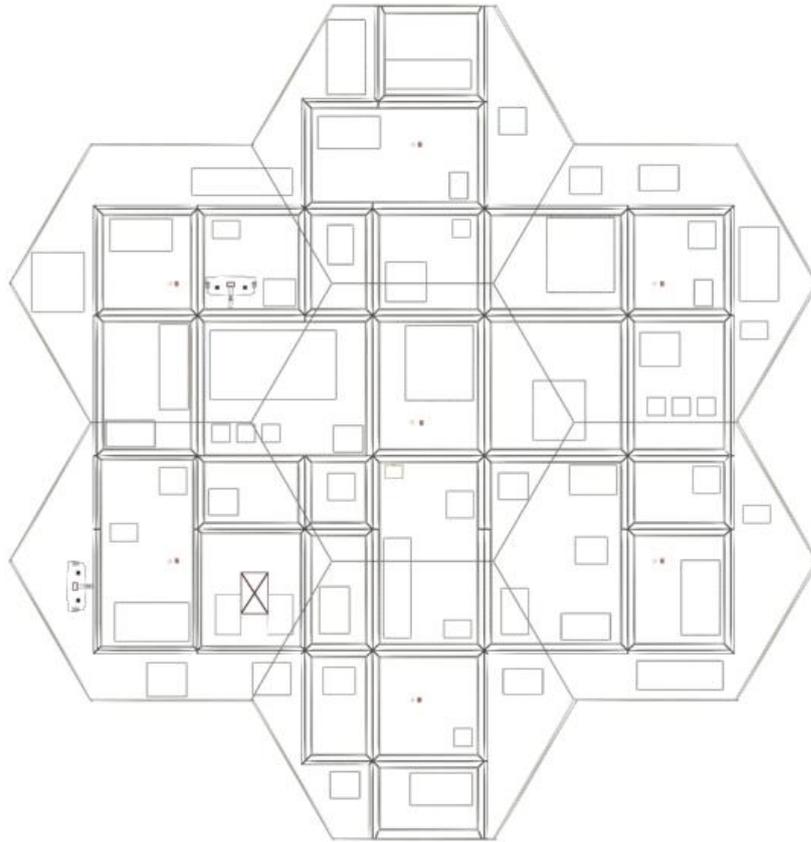


Figura 24. Vista superior do ambiente virtual

Vale frisar que a topologia formada pelas células do ambiente representa a clássica topologia exibida em literaturas referentes a redes sem fio, como pode ser visualizado na Figura 25 (RAPPORT, 1996).

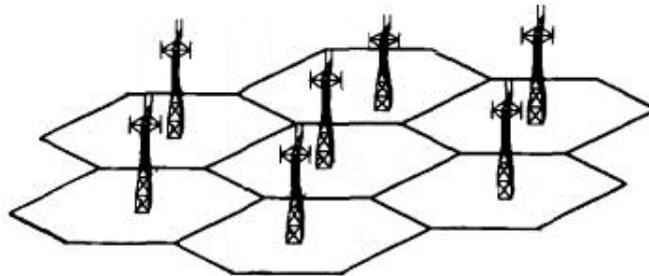


Figura 25. Topologia do Swlmax

Com relação aos modelos 3D do Swlmax, os mesmos podem ser divididos em duas categorias: modelos 3D lógicos e modelos 3D do cenário.

### 5.2.1 MODELOS 3D DO CENÁRIO

O cenário do Swlmax simula o ambiente de uma cidade, com prédios, ruas e calçadas. Além disso, fazem parte do cenário as BS's e suas respectivas casas de apoio.

Vale destacar que, visando reduzir o tempo de modelagem do cenário, optou-se por adquirir prontos os modelos 3D dos prédios. Tais modelos foram adquiridos de forma gratuita em um *site* especializado em modelos 3D, chamado TurboSquid (TURBOSQUID, 2012). Dessa forma, obteve-se um pacote com uma variedade grande de prédios prontos para inclusão na cena do simulador. A Figura 26 exibe uma visão em perspectiva do cenário, mostrando alguns dos prédios que o compõe.



Figura 26. Vista em perspectiva do cenário

A BS, por sua vez, é composta de uma torre na qual a extremidade superior possui 6 antenas setoriais e direcionais de 60 graus, totalizando 360 graus de cobertura de sinal. Cada célula, portanto, possui uma BS em seu centro e, ao lado de cada uma, encontra-se uma casa que representa a infraestrutura de apoio à BS. A Figura 27 apresenta o modelo 3D da BS.



Figura 27. Representação da *Base Station* no ambiente virtual

### 5.2.2 MODELOS 3D LÓGICOS

Os modelos lógicos têm como objetivo detectar a posição do usuário no ambiente virtual, facilitando, assim, a implementação de determinados eventos dentro do simulador. Estes modelos não são renderizados na cena, portanto o usuário não os visualiza. Porém, neles são incluídas técnicas de detecção de colisão, disponibilizadas pela *engine* física da Unity. Assim, sempre que o usuário ultrapassa os modelos lógicos, um evento é acionado nos *scripts*.

É importante frisar que, geralmente, as técnicas de detecção de colisão implementadas em ambientes em RV têm como objetivo impedir que um modelo 3D atravesse o outro, transformando-os, assim, em sólidos. Porém, no caso dos modelos lógicos, a detecção de colisão não impede a passagem do usuário, apenas auxilia a detecção da posição dele dentro do ambiente virtual.

### 5.3 MONTAGEM DA CENA

A montagem da cena do Swlmax foi realizada em etapas, nas quais, inicialmente, posicionou-se os modelos 3D do cenário. Em seguida, foram adicionadas a eles técnicas de detecção de colisão, visando impedir que o usuário ultrapasse tais modelos.

Para simulação do céu, foi utilizada uma função da Unity chamada *Skybox*. Esta função implementa um céu no ambiente virtual automaticamente, sendo necessário apenas definir o material desejado dentre as opções disponíveis pela Unity ou utilizar um material

customizado pelo desenvolvedor. Ademais, foi incluído na cena um *Prefab* disponível pela Unity chamado *First Person Controller* (Controlador de Primeira Pessoa). Este controlador é constituído de um modelo 3D em forma de cápsula com os controles para navegação em primeira pessoa previamente programados, tais quais: rotação da visão através do *mouse* e navegação através das teclas direcionais do teclado. Além disso, o controlador possui diversos parâmetros para alteração como velocidade, pulo, altura, entre outros.

Há que se mencionar que em adição aos controles pré-definidos pela Unity, foi implementada a opção de andar para frente através do botão esquerdo do *mouse* e andar para trás através do botão direito do *mouse*. Assim, os usuários que possuem pouca experiência com jogos eletrônicos podem navegar pelo ambiente apenas utilizando o *mouse*.

#### **5.4 GUI (GRAPHIC USER INTERFACE)**

A *interface* do Swlmax é um dos canais que o usuário possui para interagir com o simulador, além de exibir as consequências destas interações. Nesse sentido, buscou-se desenvolver uma GUI visualmente agradável e que proporcionasse uma boa experiência ao usuário.

Há que se dizer que a GUI do Swlmax nada mais é do que um conjunto de imagens dispostas em frente à câmera, portanto posicionada antes do ambiente virtual. Nesse sentido, é necessária a utilização de imagens no formato *png* que permitem o uso do canal *alpha*, canal este que define a opacidade de um *pixel*. Dessa forma, os *pixels* que se encontram nesse canal não são renderizados pela câmera, permitindo, assim, exibir o ambiente virtual por trás das imagens.

Destaca-se que, assim como o ambiente virtual, a *interface* do Swlmax também foi completamente refeita em relação a primeira versão do simulador e pode ser visualizada na Figura 28.



Figura 28. Visão geral da *interface* do Swlmax

A tela do Swlmax possui 900x600 pixels e sua GUI pode ser dividida em quatro áreas, cada uma com suas respectivas funções. Quais sejam: painel do sinal, barra de configurações, painel textual e *minimap*.

**Painel do sinal:** Responsável por indicar o nível sinal, bem como a qual BS o usuário está conectado.

**Barra de configurações:** Permite o usuário alterar parâmetros no ambiente como frequência do sinal e clima. Além disso, é possível visualizar uma câmera superior do ambiente.

**Painel textual:** Responsável por exibir as mensagens de texto ao usuário.

**Minimap:** Localizado no canto superior direito, o *minimap* é responsável por indicar ao usuário sua localização e direção dentro do cenário.

É importante frisar que algumas destas áreas podem ser ocultadas pelo usuário por meio de *hotkeys* (teclas de atalho), aumentando, assim, a área de visualização do ambiente

virtual. Tais teclas, bem como os controles de navegação, são informadas ao usuário na tela seguinte a tela inicial. A Figura 29 exibe a tela contendo as informações acerca dos controles.



Figura 29. Tela de controles

Ao apertar a tecla ESC dentro do ambiente virtual, o Swlmax interrompe a movimentação da câmera e exibe 4 opções ao usuário: voltar, controles, referências e créditos.

A opção "controles" mostra ao usuário a mesma tela exibida no início do software, apresentada na Figura 29. Já a opção "créditos" exibe algumas informações referentes ao projeto de modo geral.

A opção "referências" exibe uma lista de *links* contendo as referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento do projeto, tais quais: resoluções da ANATEL, o documento do IEEE acerca do WiMAX, documentos do *WiMAX Forum*, entre outros. Dessa forma, caso desejar, o usuário pode aprofundar seus conhecimentos e confirmar informações apresentadas no simulador. A Figura 30 exibe a tela de referências do Swlmax.

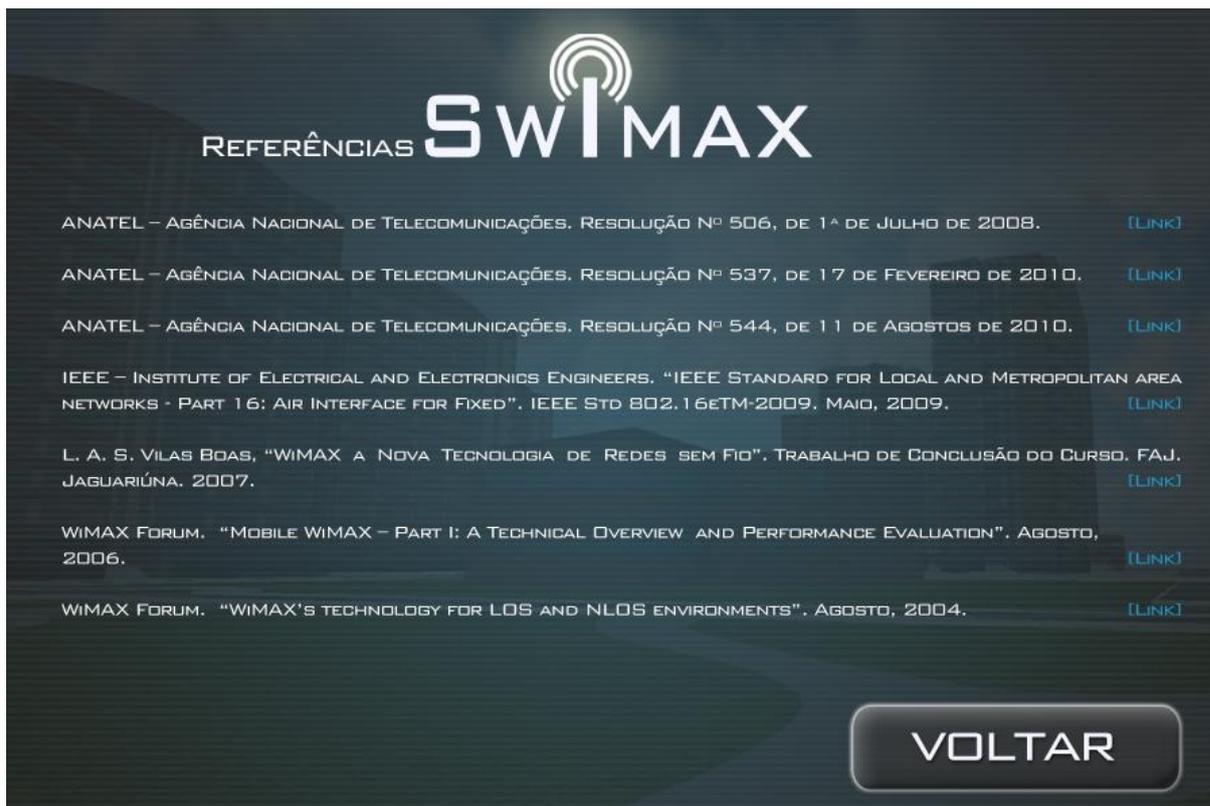


Figura 30. Tela de referências

## 5.5 CARACTERÍSTICAS DO WIMAX IMPLEMENTADAS

Após a pesquisa sobre o padrão WiMAX, definiu-se as principais características a serem implementados no simulador. Assim, as mesmas foram adaptadas de modo que pudessem ser simuladas no ambiente virtual.

### 5.5.1 FREQUÊNCIA E COBERTURA DO SINAL

A frequência de operação e a cobertura do sinal são importantes características das tecnologias de redes sem fio. De acordo com a pesquisa acerca do padrão IEEE 802.16, a frequência de transmissão do sinal afeta de forma inversamente proporcional à área de cobertura do sinal. Desse modo, quanto maior a frequência de operação, menor a área de cobertura.

Nessa perspectiva, a ideia principal da abordagem desses dois aspectos no simulador foi de permitir que o usuário alterasse a frequência, de modo que ele pudesse perceber que área de cobertura fora alterada como consequência.

Assim, optou-se por criar na interface uma área para alteração da frequência e, ao lado desta área, a informação relacionada à cobertura. Para isso, implementou-se 4 opções de valores de frequência, o qual o usuário pudesse escolher entre eles. A escolha dessas opções levou em consideração, primeiramente, as principais faixas de frequência utilizadas nas transmissões WiMAX, quais sejam: 2,5 GHz, 3,5 GHz e 5,8 GHz. Para a última opção de frequência, optou-se pelo valor mais alto permitido pelo padrão: 66 GHz. Dessa forma, o aluno é capaz de conhecer praticamente toda a faixa de frequência de operação do padrão IEEE 802.16-2009.

De posse desses valores, determinou-se, a partir de pesquisas, os valores correspondentes às áreas de cobertura em LOS e NLOS para cada faixa de frequência em uma transmissão PMP. Considere-se assim, a configuração apresentada na Tabela 1 (VILAS BOAS, 2007).

<b>Frequência</b>	<b>Cobertura</b>
2,5 GHz	LOS: 18 a 20 km NLOS: 9 a 10 km
3,5 GHz	LOS: 12 a 14 km NLOS: 6 a 7 km
5,8 GHz	LOS: 7 a 8 km NLOS: 3 a 4 km
66 GHz	Não encontrou-se informações a respeito.

Tabela 1. Frequência x Área de cobertura

Para tanto, sempre que o usuário alterar o valor da frequência é exibido, na área de mensagens, um texto a respeito daquela faixa selecionada, conforme a Tabela 2.

<b>Frequência</b>	<b>Mensagem</b>
2,5 GHz	A frequência de 2,5 GHz é caracterizada por um comprimento de onda longo, o que resulta em uma extensa área de cobertura do sinal. Esta frequência é licenciada pela Anatel.
3,5 GHz	O sinal WiMAX também pode ser transmitido no Brasil na

	frequência de 3,5 GHz. Esta frequência é licenciada pela Anatel.
5,8 GHz	A frequência de 5,8 GHz é regulamentada pela Anatel e muito utilizada no Brasil para transmissão WiMAX. É uma faixa de frequência de uso livre, portanto sujeita a interferências.
66 GHz	A frequência de 66 GHz é a mais alta suportada pelo padrão IEEE 802.16-2009. Devido ao comprimento de onda curto, a transmissão nesta frequência resulta em uma área de cobertura reduzida, operando apenas em LOS, o que dificulta o seu uso.

Tabela 2. Frequência x Mensagem

### 5.5.2 NÍVEL DO SINAL E HANDOVER

Ao iniciar o simulador, o usuário é posicionado no centro do ambiente virtual e próximo à BS da célula central, chamada BS1. À medida que usuário caminha dentro do ambiente virtual e se distancia da BS, a intensidade do sinal diminui, conceito conhecido como *Fading* (atenuação devido a distância entre o transmissor e receptor). Ao ultrapassar o limite da célula, adentrando na célula adjacente, ocorre o procedimento de *Handover*. Para implementar tais eventos foram utilizados os modelos 3D lógicos. Assim, cada célula foi segmentada em 5 tubos hexagonais concêntricos e em cada um deles foi adicionada a característica física de colisão, disponível na *engine* física da Unity. A Figura 31 exibe a célula segmentada em 5 áreas.

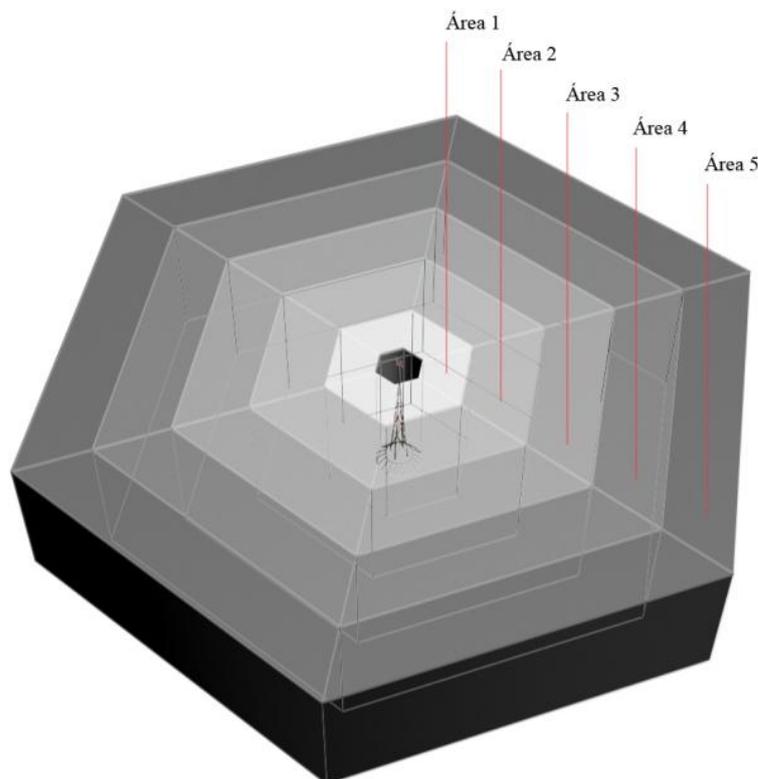


Figura 31. Célula segmentada com modelos 3D lógicos

Durante a navegação, sempre que o usuário ultrapassar uma área, ou seja, sempre que o mesmo colidir com o modelo 3D de um destes tubos, o *script* é acionado através da detecção de colisão da Unity. O código, então, altera a imagem relacionada ao nível do sinal na GUI, fazendo com que o usuário perceba que o sinal está aumentando ou diminuindo. É importante frisar que a colisão implementada nessa técnica é utilizada apenas para acionar uma função no código, portanto a colisão é imperceptível ao usuário. Além disso, observa-se que os tubos são invisíveis a câmera do usuário, o que os define como modelos 3D lógicos.

O procedimento de *handover* também é simulado utilizando esta mesma técnica. Nessa lógica, sempre que o usuário passar da área 5 de uma célula, para a área 5 de outra célula, o procedimento de *handover* é realizado. Em seguida, a informação do painel de sinal com relação à BS é alterada. Além disso, é exibida a seguinte mensagem no painel textual informando sobre o usuário a respeito do *handover*: “Seu dispositivo WiMAX acaba de realizar o procedimento de Handover, que consiste na desconexão de uma Base Station (BS) para outra com melhor sinal. O Handover é o que dá ao padrão IEEE 802.16-2009 a característica de mobilidade.”

Uma terceira mensagem, informando sobre a BS, é exibida sempre que o usuário colidir com a área 1, assim descrita: “A área de cobertura pode variar de acordo com a potência do sinal e/ou ganho da antena. Também é possível a utilização de um arranjo de antenas, que são setorizadas em ângulos horizontais com o objetivo de aumentar o ganho na direção do receptor.”

### 5.5.3 NLOS

Outra importante característica da tecnologia WiMAX é a possibilidade de operação sem linha de visada (NLOS), que permite que o sinal seja recebido pela SS mesmo sem estar em linha de visada com a BS. Considerando tal fato, o Swlmax em nenhum momento permite que o usuário perca conexão com a BS. Porém, fez-se necessário exibir ao usuário algumas mensagens relativas à operação em NLOS, devido a sua importância dentro do contexto de redes sem fio. Assim, definiu-se que estas mensagens seriam exibidas quando o usuário entrasse em uma área que não houvesse linha de visada com a BS.

O processo de definição das áreas sem linha de visada utilizou cálculos booleanos realizados pelo 3ds Max, o *software* modelador 3D. Assim, o primeiro passo do mencionado processo foi criar linhas radiais partindo da BS, que se encontra no centro da célula. O resultado pode ser visualizado na Figura 32.

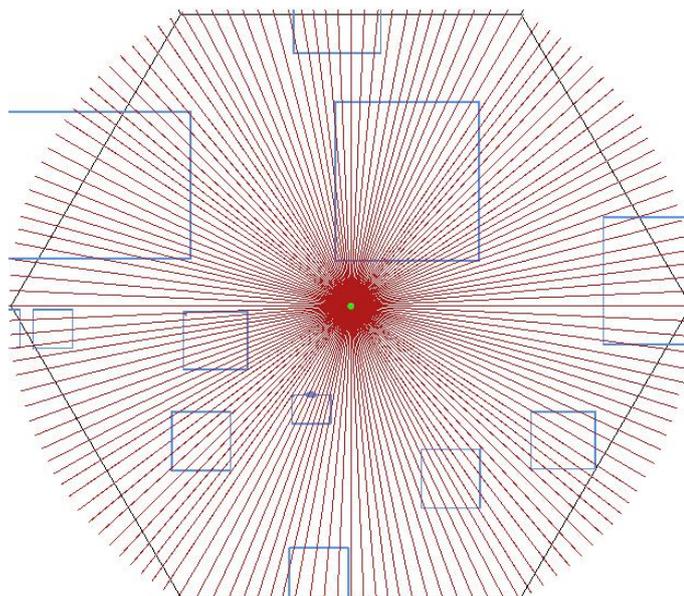


Figura 32. Linhas radiais partindo da BS

Os retângulos em azul na Figura 32 representam os prédios do cenário. Logo, definiu-se que as áreas sem linha de visada seriam as dispostas atrás destes prédios, onde nelas, o usuário não é capaz de visualizar as BS.

O segundo passo do processo consistiu-se em subtrair os modelos 3D dos prédios das linhas radiais, utilizando a função *Boolean* do 3ds Max, que realiza operações booleanas com modelos 3D. Dessa forma, foi subtraída a interseção entre as linhas radiais e os prédios, assim como as linhas descontinuadas (após os prédios). Assim, restaram apenas as linhas a frente dos prédios e as que não possuíam obstáculos. O resultado do segundo passo pode ser visualizado na Figura 33 a seguir.

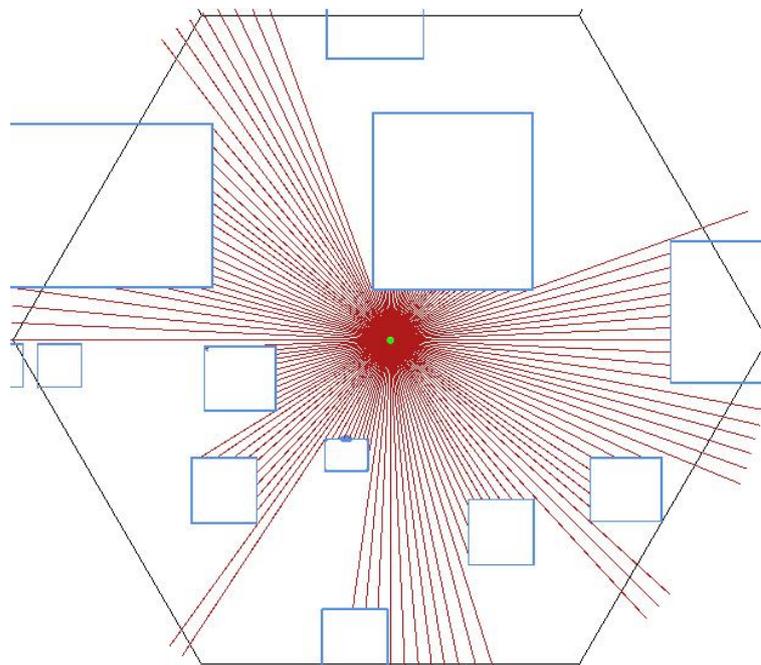


Figura 33. Resultado da subtração dos prédios em relação às linhas radiais

A partir desse resultado, portanto, foi possível visualizar as áreas sem linha de visada com a BS, ou seja, as áreas que não possuíam linhas em vermelho. Foram criados, então, alguns modelos 3D lógicos dispostos nas áreas sem visada direta. Para tanto, sempre que o usuário colidir com os mesmos, o simulador exibe as mensagens relacionadas à NLOS. Esses modelos 3D podem ser visualizados na Figura 34, na cor verde e laranja.

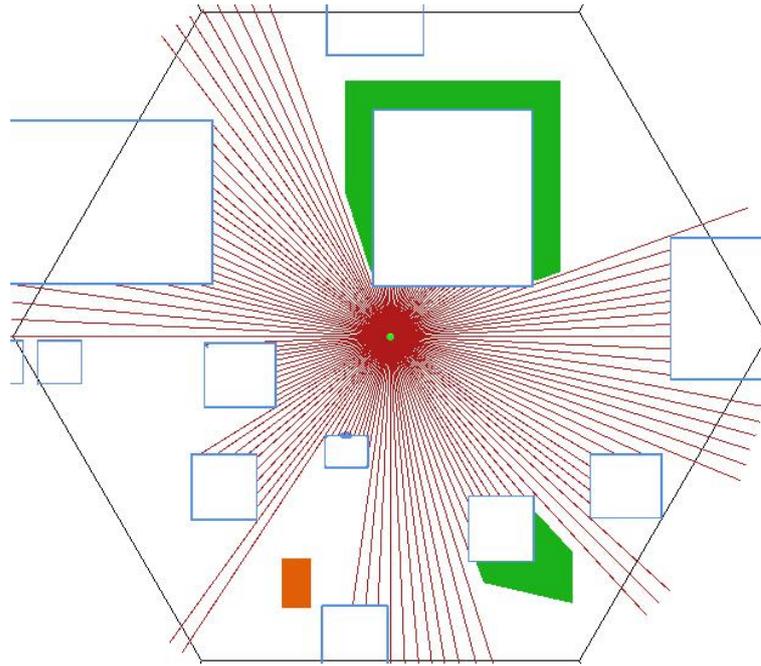


Figura 34. Modelos 3D responsáveis pela ativação das mensagens sobre NLOS

Assim, o modelo 3D em verde é responsável pela ativação da seguinte mensagem: “Frequências abaixo de 11 GHz permitem a transmissão do sinal WiMAX em NLOS (sem linha visada) devido ao comprimento de onda longo. Porém, este tipo de transmissão exige funcionalidades adicionais na camada Física (PHY) como: múltiplas antenas, suporte a técnicas avançadas de gestão de energia e atenuação de interferência”. Já o modelo 3D alaranjado, por sua vez, é responsável pela ativação da seguinte mensagem: “A tecnologia WiMAX adota a técnica de OFDM (Multiplexação por Divisão de Frequência Ortogonal), elemento fundamental para suporte a operação NLOS devido à sua capacidade de suportar interferência e degradação.”

Todo esse processo foi repetido para as demais células do ambiente virtual, permitindo assim que as mensagens sejam visualizadas em vários momentos. É possível notar, todavia, que nem toda área com operação em NLOS foi utilizada para exibir as mensagens. Isso se deu para evitar que elas fossem exibidas muitas vezes, já que a área em questão compreende uma grande parte da célula. Dessa forma, evita-se que o usuário receba constantemente a mesma mensagem.

#### 5.5.4 CLIMA

As transmissões do padrão IEEE 802.16 podem sofrer atenuações devido a chuvas, o chamado *Rain Fade*, abordado no Capítulo 3. Em geral, isso não ocorre devido à predominância das operações em faixas de frequências abaixo de 10 GHz. Contudo, esta possibilidade existe, e é importante que o aluno compreenda determinadas situações que podem afetar as transmissões do WiMAX. Nessa perspectiva, o simulador permite que o aluno escolha entre um clima ensolarado ou chuvoso. O Swlmax inicia com o clima ensolarado, então, ao escolher a opção “chuvoso”, o céu do ambiente virtual é alterado e são adicionadas partículas à cena, visando simular um clima chuvoso. O aluno recebe também a seguinte mensagem no painel textual: “O sinal WiMAX transmitido na faixa de 10 GHz a 66 GHz pode sofrer atenuações devido a chuvas. A intensidade da atenuação depende da taxa de chuva da região e da distância do enlace.”

Além disso, caso a frequência 66 GHz esteja selecionada, o nível do sinal é atenuado em um ponto na escala, conforme a Figura 35.

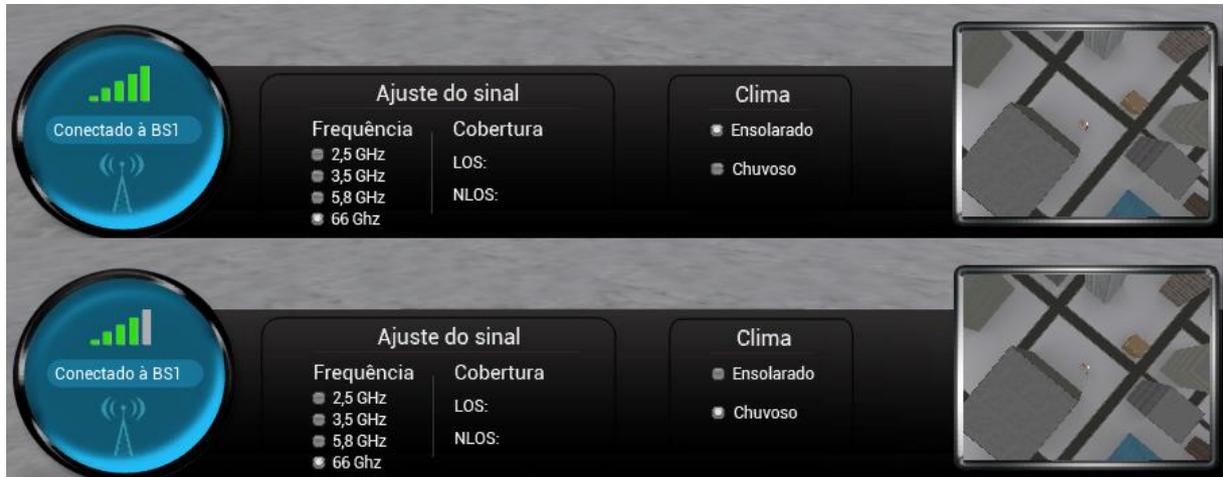


Figura 35. Simulação da atenuação por chuva

Ao escolher o clima ensolarado, o usuário recebe a seguinte mensagem: “Nestas condições, o sinal WiMAX não é atenuado pela chuva, podendo obter uma taxa de transmissão de até 15 Mbps, dependendo da frequência de transmissão, tipo de visada, distância e da largura de canal. Esta largura de canal pode variar de 1,25 MHz a 20 MHz.”

## 6. AVALIAÇÃO DO SOFTWARE

Com o propósito de avaliar as impressões dos usuários acerca do Swlmax, foi elaborado um questionário para que eles testassem o simulador e, em seguida, avaliassem o *software*. No total, um grupo de 10 pessoas responderam o questionário de avaliação do Swlmax, entre eles alunos de graduação em engenharia da computação, alunos de pós-graduação em engenharia elétrica e engenheiros da computação. A seguir, são exibidas as tabulações dos resultados.

A Figura 36 apresenta o resultado da avaliação quanto a relevância do uso do Swlmax como ferramenta de auxílio ao ensino de redes sem fio, na qual 70% dos avaliadores definiram a ferramenta como adequada e 30% como bastante adequada.

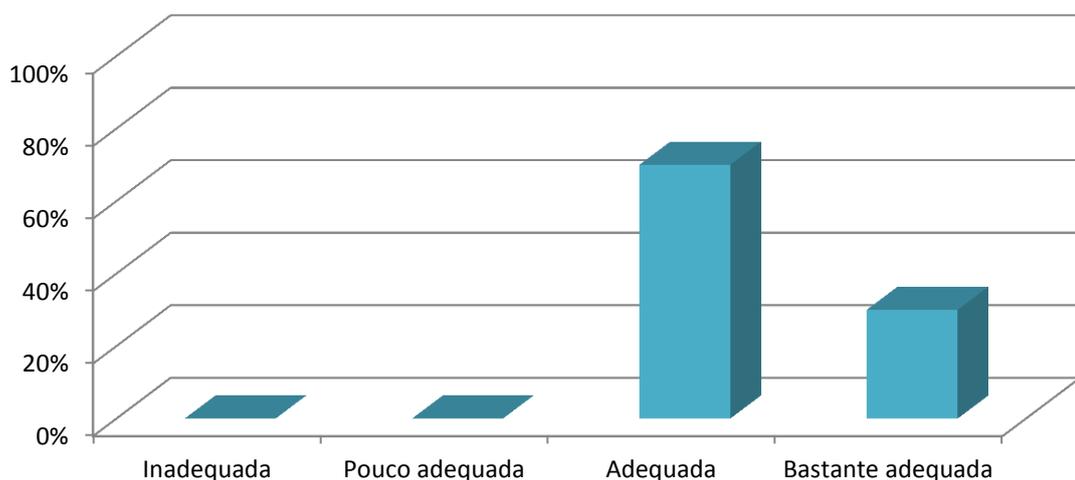


Figura 36. Relevância do uso do simulador Swlmax como ferramenta de auxílio ao ensino de redes sem fio

A Figura 37 mostra o resultado da avaliação quanto ao grau de motivação oferecido pelo simulador para o conhecimento do WiMAX. A maioria (70%) afirmou que o mesmo oferece motivação razoável e 30% afirmou que o Swlmax oferece bastante motivação. Essa motivação relatada pelos avaliadores pode ser explicada devido à abordagem diferenciada do simulador através da tecnologia de RV. O que corrobora a relevância do uso dessa tecnologia em ferramentas educativas, visto que a motivação ajuda a estimular e aumentar o interesse dos alunos com relação aos estudos.

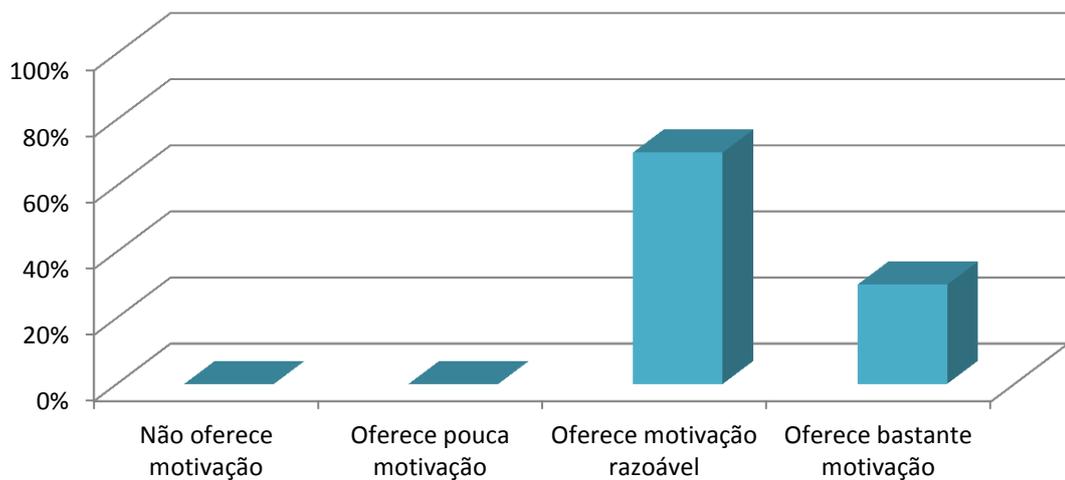


Figura 37. Avaliação quanto ao grau de motivação oferecido pelo Swlmax

A Figura 38 exibe o resultado da avaliação com relação ao nível de aquisição de conhecimento através do simulador. Nota-se que a maioria afirmou que o Swlmax ajudou a esclarecer conceitos previamente adquiridos em sala de aula, o que demonstra que a ferramenta faz jus ao se propõe.

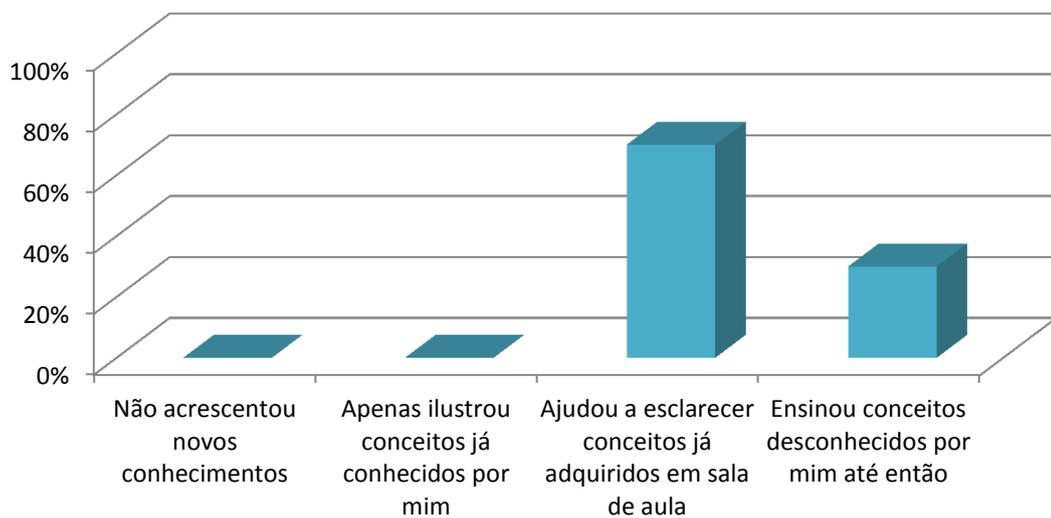


Figura 38. Avaliação quanto ao nível de aquisição de conhecimento através do simulador

Da mesma forma, foi questionado aos avaliadores se eles poderiam afirmar que o Swlmax contribuiu para o seu conhecimento acerca de tecnologias de redes sem fio, de modo que a unanimidade dos avaliadores afirmou que sim. A tabulação dos resultados desta pergunta é apresentada na Figura 39.

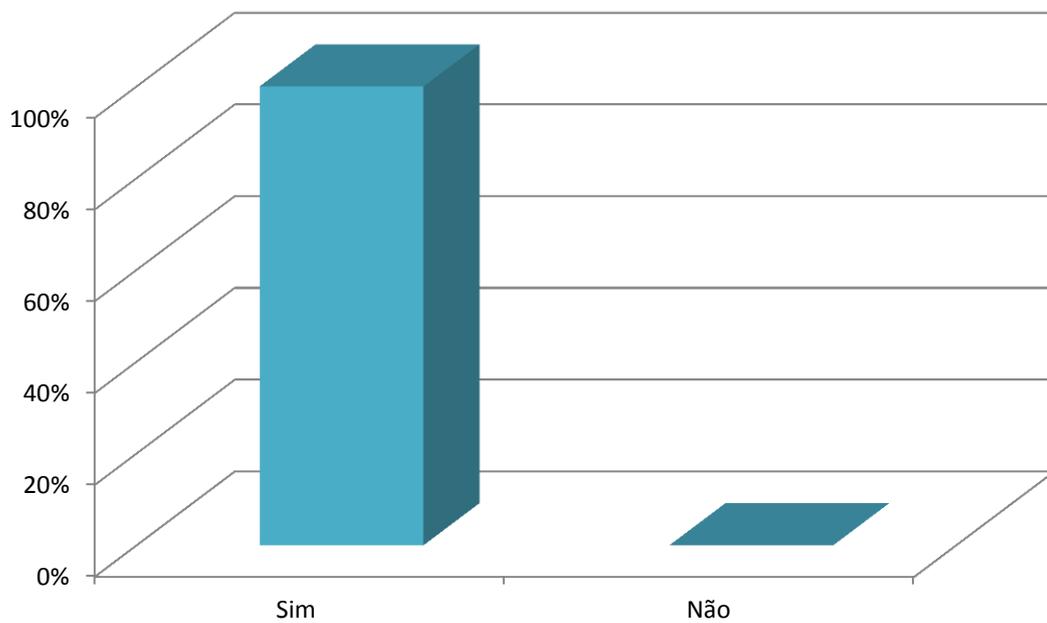


Figura 39. Resposta para a pergunta “você pode afirmar que Swlmax contribuiu para o seu conhecimento acerca de tecnologias de redes sem fio?”

Os avaliadores também responderam questões acerca da usabilidade e da compreensão das informações fornecidas pelo Swlmax. A Figura 40 apresenta o resultado da avaliação quanto à compreensão do conteúdo das informações, na qual 70% das pessoas afirmaram que os textos apresentam boa compreensão e 30% afirmaram que as mensagens são compreensíveis, mesmo apresentando alguns problemas de clareza. O que demonstra que existem pontos a serem melhorados nos textos.

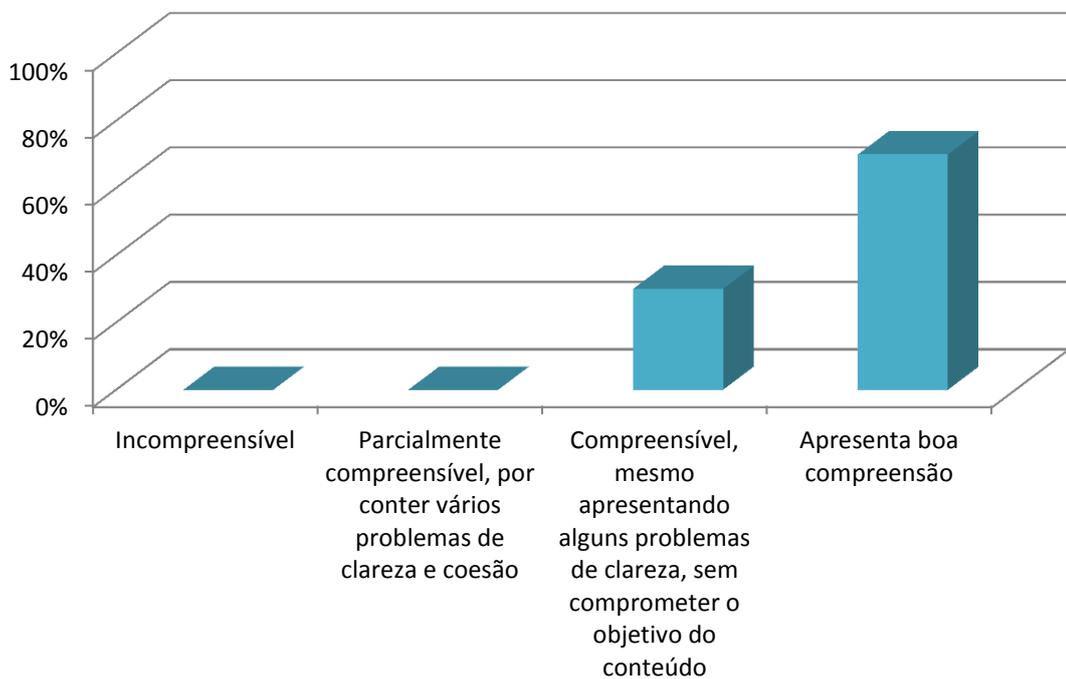


Figura 40. Compreensão do conteúdo das informações do Swlmax

Com relação à usabilidade, foi questionado aos avaliadores o nível de dificuldade na utilização dos botões e comandos de teclado. A Figura 41 exibe os resultados obtidos, em que 100% das pessoas avaliaram como fácil ou muito fácil.

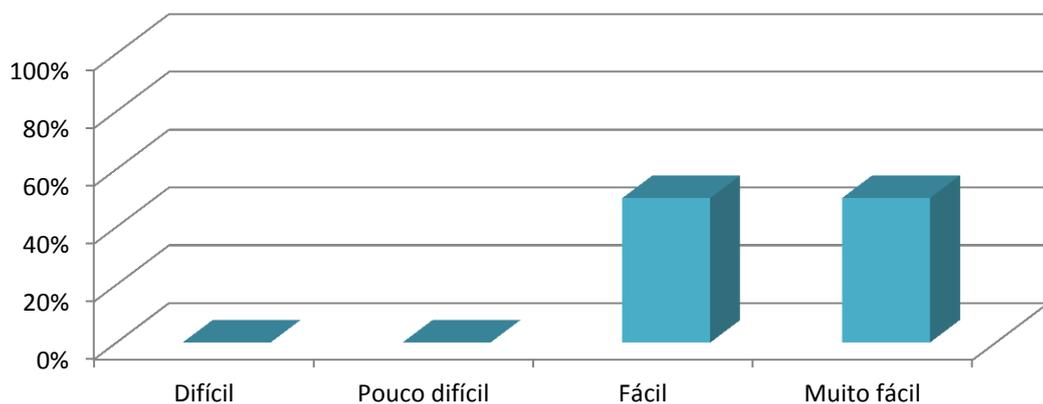


Figura 41. Nível de dificuldade na utilização dos botões e comandos de teclado

Também foi questionado aos avaliadores quanto ao nível de aprendizagem e habilidade exigida pela *interface* do Swlmax. A Figura 42 apresenta as respostas dos avaliadores, em que 70% consideram como fácil e 30% consideram como moderado.

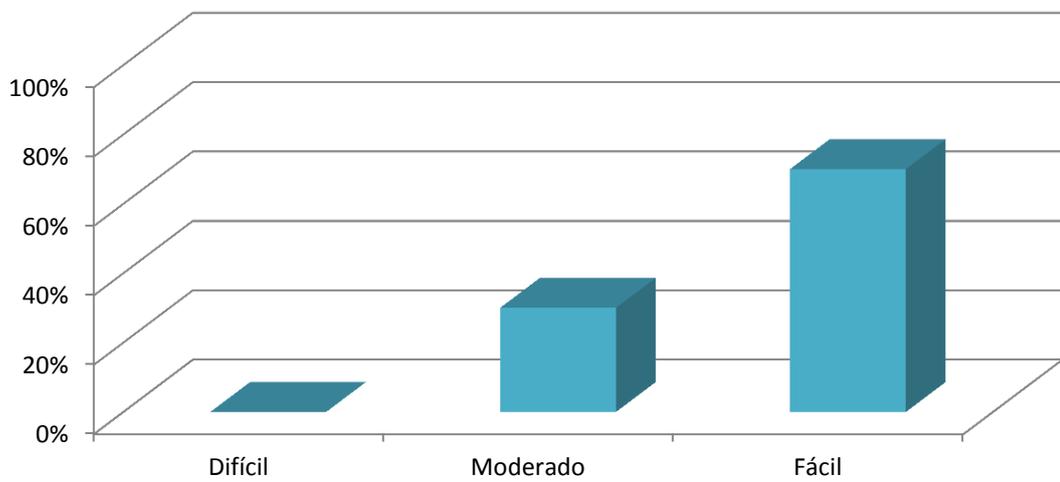


Figura 42. Nível de aprendizagem e habilidade exigida pela *interface* do Swimax

Por fim, questionou-se se os usuários tiveram algum tipo de dificuldade para iniciar o Swlmax, visto que as aplicações *web* da Unity necessitam de um *plugin* instalado para iniciar. Como pode ser observado na Figura 43, nenhum dos avaliadores relatou algum tipo de problema quanto a isso.

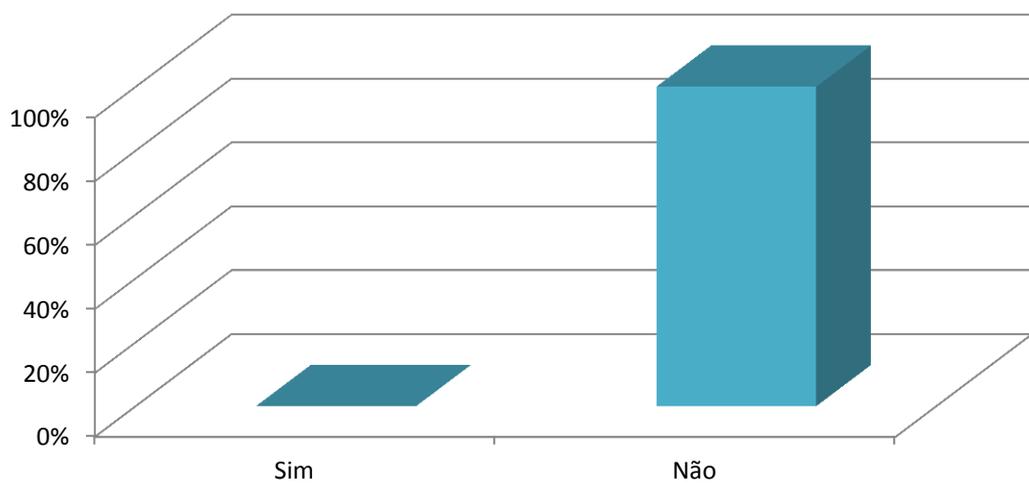


Figura 43. Ocorrência de problemas na inicialização do Swlmax

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação apresentou o projeto do simulador Swlmax, um software em Realidade Virtual voltado para o suporte do ensino do padrão IEEE 802.16, conhecido como WiMAX. No simulador, o aluno é capaz de navegar pelo ambiente e, assim, descobrir como funcionam determinadas características do WiMAX, quais sejam: procedimento de *handover*, faixas de frequência de operação, cobertura do sinal, operação sem linha de visada, entre outros. O simulador encontra-se online no endereço [www.guest3d.com.br/swimax](http://www.guest3d.com.br/swimax) e pode ser acessado diretamente, sem a necessidade de *download*, e livremente por alunos e professores.

Após a implementação, o *software* foi submetido à avaliação de alunos e engenheiros da computação na qual se verificou, entre outras questões, que o simulador é capaz de confrontar para o aluno conceitos previamente adquiridos em sala de aula, proporcionando uma real motivação e facilitando o processo de ensino e aprendizagem. Vale ressaltar que o projeto do Swlmax apresentou alguns desafios em seu processo de desenvolvimento. Um destes desafios foi com relação às dimensões do ambiente virtual, em que o ideal seria que cada célula tivesse uma área próxima ao valor máximo coberto pelo sinal WiMAX, 20 km. Porém, modelar um ambiente virtual 3D contendo 7 células de 20 km de raio seria inviável em termos de tempo. Além disso, o tempo seria igualmente extenso para que o usuário se deslocasse de uma célula a outra, se mantida a velocidade atual de navegação. Assim, optou-se por diminuir as dimensões do ambiente virtual, porém mantendo a atenuação proporcional do sinal com relação ao raio da célula.

Outro desafio encontrado durante o desenvolvimento do Swlmax foi relacionado às mensagens de texto, visto que o painel textual da GUI é capaz de exibir apenas 192 caracteres, limitando, assim, o tamanho dos textos. Nesse sentido, foi necessário um cuidado redobrado com a redação das mensagens, com objetivo de criar textos concisos, sem comprometer a informação passada ao usuário. Apesar disso, alguns avaliadores ainda afirmaram encontrar problemas de clareza no texto. O que também pode ser explicado, devido a algumas mensagens serem substituídas rapidamente quando o usuário ativa eventos em curtos espaços de tempo.

Contudo, acredita-se que Swlmax está pronto para a utilização em sala de aula, com objetivo não somente de auxiliar o ensino do WiMAX como também estimular os alunos a buscar seus conhecimentos para além da sala de aula tradicionalmente conhecida.

Além disso, espera-se que o projeto do Swlmax estimule os alunos a desenvolverem softwares que os auxiliem no ensino de outras disciplinas do curso de engenharia da computação, como é o caso do já citado SOsim (MAIA, 2001), que trata-se de um simulador para auxílio do ensino de sistemas operacionais. Assim como redes de computadores, diversas disciplinas do curso de engenharia da computação ainda carecem de ferramentas de apoio ao ensino prático, quais sejam: arquitetura e organização de computadores, sistemas de controle, projetos de hardware, entre outras.

Ademais, como trabalhos futuros sugere-se a expansão do Swlmax para outras tecnologias sem fio como HSPA, LTE e WiFi. Além da inclusão de outras características do WiMAX não abordadas no simulador atualmente, como as áreas de sombra ou interferências de outros equipamentos. Para tal, seria necessário também incluir mais modelos 3D no ambiente virtual como árvores e casas, postes, entre outros.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADOBE SYSTEMS. **Editor de imagem Adobe Photoshop CS4**. Disponível em: <[www.adobe.com/br/products/photoshop/photoshop](http://www.adobe.com/br/products/photoshop/photoshop)>. Acessado em: julho, 2012.
- BORIN, J. F; FONSECA, N, L, S. **Um módulo para simulação de redes WiMAX no simulador ns-2**. In: XXVIII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação - CSBC. Belém, 2008.
- BRASIL. Agência Nacional de Telecomunicações - ANATEL. Resolução nº 554, de 2010. **Modificar a Destinação de Radiofrequências nas Faixas de 2.170 MHz a 2.182 MHz e de 2.500 MHz a 2.690 MHz e republicar, com alterações, o 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**. Brasil, Brasília, DF, Diário Oficial da União nº 156, p. 67, agosto. 2010.
- BRASIL. Agência Nacional de Telecomunicações - ANATEL. Resolução nº 537, de 2010. **Republica, com alterações, o Regulamento sobre Condições de Uso da Faixa de Radiofrequências de 3,5 GHz**. Brasil, Brasília, DF. Fevereiro. 2010.
- BRASIL. Agência Nacional de Telecomunicações - ANATEL. Resolução nº 506, de 2010. **Republica o Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita**. Brasil, Brasília, DF. Julho. 2008.
- CAMERASIM. **CameraSim simulates a digital SLR camera - SLR Photography Demystified**. Disponível em: <<http://camerasim.com/camera-simulator>>. Acesso em: junho, 2012.
- CANTÚ, E. **Elementos para o fortalecimento da mediação docente na educação tecnológica aplicação no ensino-aprendizagem de redes de computadores**. 2005. 176 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Catarina. 2005.
- CARVALHO, T. C. **Arquitetura de Pré-Authenticação Segura com Suporte a QoE para Aplicações Móveis Multimídia em Redes WiMAX**. 2009. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Pará. 2009.
- DAMIANI, E. S. **WiMax IEEE 802.16 como Suporte para Acesso de Banda Larga**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Especialização em Tecnologias, Gerência e Segurança em Redes de Computadores). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2008.
- GOLDSTONE, W. **Unity Game Development Essentials**. Packt Publishing. 2009.

- NEGRÃO, N.M; DAMASCENO, R. R; FILHO, M.R; **Swlmax: Uma ferramenta web utilizando Realidade Virtual para o ensino do protocolo WiMAX**. In: XIII Symposium on Virtual Reality. Uberlândia, 2011.
- HASSAN, E. B. **Laboratório Virtual 3D para ensino de Redes de Computadores**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. Rio de Janeiro, 2003.
- IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers. **IEEE Standard for Information technology. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications**. IEEE Std 802.11™-2007. Junho, 2007
- IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers. **IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks. Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems**. IEEE Std 802.16™-2009. Maio, 2009.
- INTEL CORPORATION. **IEEE 802.16 and WiMAX – Broadband Wireless Access for Everyone**. White Paper. 2003
- JUNIOR, A. P. **Hidrogeradora Virtual: Utilizando Técnicas de Realidade Virtual Desktop para o Estudo de uma unidade Hidrelétrica de Energia**. 2006. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Pará. Belém, 2006.
- MAIA, L. P. **SOsim: Simulador Para O Ensino De Sistemas Operacionais**. 2001. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Informática) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2001.
- MICROSOFT. **Microsoft Flight** Disponível em: <[www.microsoft.com/games/flight](http://www.microsoft.com/games/flight)>. Acesso em: junho, 2012.
- MOURA, A. M.; AZEVEDO, A. M. P.; MEHLECKE, Q. **As teorias de aprendizagem e os recursos da internet auxiliando o professor na construção do conhecimento**. Disponível em: <[www2.abed.org.br/visualizaDocumento.asp?Documento\\_ID=17](http://www2.abed.org.br/visualizaDocumento.asp?Documento_ID=17)>. Acesso em: junho, 2012.
- MURDOCK, K. L. **3DS Max 9 Bible**. Wiley Publishing. 2007.
- NETWORK SIMULATOR 3. **NS-3**. Disponível em: <<http://www.nsnam.org>>. Acesso em: junho, 2012.
- NVIDIA CORPORATION. **PhysX | GeForce**. Disponível em: <[www.geforce.com/hardware/technology/physx](http://www.geforce.com/hardware/technology/physx)>. Acessado em: julho, 2012.

- PIAGET, J. **Epistemologia Genética**. Coleção Universidade Hoje. Martins Fontes, São Paulo, 1990.
- PINHEIRO, C. D. B.; FILHO, M. R. **LVR – Laboratório Virtual de Redes. Protótipo para Auxílio ao Aprendizado em Disciplinas de Redes de Computadores**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. Juiz de Fora, 2005.
- PORTNOI, M.; ARAÚJO, R. G. B. Network Simulator – Visão Geral da Ferramenta de Simulação de Redes. **Seminário Estudantil de Produção Acadêmica – SEPA**. Salvador, 2007. 11 p. Disponível em: <[www.cis.udel.edu/portnoi/publications/networksimulator-sepa.pdf](http://www.cis.udel.edu/portnoi/publications/networksimulator-sepa.pdf)>. Acesso em: junho, 2012.
- RAPPAPORT, T. S. **Wireless Communications Principles and Practice** Prentice Hall, New Jersey, 1996.
- ROCHA, L. B. R. **WiMAX- Aplicações E Futuro**. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Elétrica em Telecomunicações). Centro Universitário Salesiano de São Paulo. 2006.
- RODRIGUES, M. E. C. **Redes WiMAX – Aspectos de Arquitetura e Planejamento**. PUC - Rio. Disponível em: <[www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/marcio\\_rodrigues/WiMax/WiMax\\_08.html](http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/marcio_rodrigues/WiMax/WiMax_08.html)>. Acesso em: julho, 2012.
- SUN MICROSYSTEMS. **Java 3D API Tutorial**. Disponível em: <<http://developer.java.sun.com/developer/onlineTraining/java3d/>>. Acessado em: junho, 2012.
- TANENBAUM, A. S. **Computer Networks**. Prentice Hall, third edition, 1996.
- TURBOSQUID. **Free max model buildings polys**. Disponível em: <<http://www.turbosquid.com/FullPreview/Index.cfm/ID/606057>>. Acessado em: agosto, 2012.
- UNITY TECHNOLOGIES. **Unity - Game Engine**. Disponível em: <[www.unity3d.com](http://www.unity3d.com)>. Acessado em: julho, 2012.
- VILAS BOAS, L. A. S. **WiMAX a Nova Tecnologia de Redes sem Fio**. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Ciência da Computação). Faculdade de Jaguariuna. 2007.
- XIAO, Y. **WiMAX/MobileFi: Advanced Research and Technology**. 423 p. New York, Auerbach Publications. 2008.