



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**SIMPLARCOM**  
**SIMULADOR PARA PLANEJAMENTO DE REDES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO**  
**UTILIZANDO REALIDADE VIRTUAL E MODELOS DE PROPAGAÇÃO**

DIEGO CARNEIRO PINHEIRO

DM: 09/2014

UFPA / ITEC / PPGEE

CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ

BELÉM – PA

2014

**SIMPLARCOM**

**SIMULADOR PARA PLANEJAMENTO DE REDES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO  
UTILIZANDO REALIDADE VIRTUAL E MODELOS DE PROPAGAÇÃO**

**DIEGO CARNEIRO PINHEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica na área de Computação Aplicada.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Ribeiro Filho.

DM: 09/2014

UFPA / ITEC / PPGEE

CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ

BELÉM – PA

2014



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

**SIMPLARCOM**  
**SIMULADOR PARA PLANEJAMENTO DE REDES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO**  
**UTILIZANDO REALIDADE VIRTUAL E MODELOS DE PROPAGAÇÃO**

**AUTOR: DIEGO CARNEIRO PINHEIRO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, SENDO JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE COMPUTAÇÃO APLICADA.

APROVADA EM:

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Prof. Dr. Manoel Ribeiro Filho**  
(Orientador – PPGEE/UFPA)

---

**Prof. Dr. Bianchi Serique Meiguins**  
(Membro – PPGCC/UFPA)

---

**Prof. Dr. Gervásio P.S. Cavalcante**  
(Membro – PPGEE/UFPA)

---

**Prof. Dra. Jasmine P.L. Araújo**  
(Membro externo)

**VISTO:**

---

**Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes**  
(Coordenador do PPGEE/ITEC/UFPA)

*Aos meus pais, meus irmãos, meus sobrinhos, a todos os meus parentes e amigos que sempre estiveram do meu lado me apoiando, confiando e me chamando atenção quando necessário.*

## AGRADECIMENTOS

*Agradeço primeiramente a Deus por ter me fornecido o dom da vida, e estar sempre comigo em todos os momentos, sejam eles bons ou ruins, pois sem Ele nada eu seria.*

*A meus pais Maria das Graças e Ildo, por sempre terem cuidado muito bem de mim, me ensinando vários princípios que levarei por toda a minha existência, principalmente os princípios de amor ao próximo, auxílio e perseverança.*

*Aos meus irmãos Brenno e Bruna, por serem mais velhos e me guiarem em determinados momentos de minha vida.*

*Ao meu sobrinho e afilhado Luiz Guilherme, que sempre alegrou muito minha família com as suas peraltices, em quem deposito grande confiança e desejo um grande futuro.*

*Aos meus padrinhos e tios Socorro e Eduardo, que sempre me ajudaram, me apoiaram e alegraram.*

*A meus tios, tias, primos, primas, avôs, avós etc., que me alegra muito fazer parte de suas vidas e que façam parte da minha também.*

*Aos meus amigos, professores e colegas de trabalho que compartilharam vários momentos comigo na vida, alguns deles hilários e inesquecíveis. Apesar de não citar nomes, mas todos estão e estarão no meu coração.*

*Ao Professor Manoel Ribeiro pela confiança nos trabalhos que desenvolvi no Laboratório de Realidade Virtual que ele coordena, pela paciência comigo e conhecimento compartilhado.*

*A todos sou muito grato.*

## RESUMO

Este simulador é formado pela junção de técnicas de Realidade Virtual com modelos de propagação, desenvolvidos através dos estudos de rádio enlace, que descrevem a perda que o sinal transmitido sofre ao longo do percurso no ambiente. O simulador possui dois módulos. O primeiro permite a criação do ambiente virtual com o posicionamento, sobre um terreno, de prédios, árvores, carros, antenas e outras primitivas que permitem a construção de um ambiente tridimensional customizável. O segundo módulo permite a configuração dos parâmetros relacionados a propagação de sinal de antenas como a potência, a frequência, o ganho, etc., e também selecionar o modelo de propagação para a execução da simulação. Dentro deste segundo módulo, existe um submódulo responsável pelo estudo do planejamento da área de cobertura composta pelas antenas, em outras palavras, este submódulo simula a distância que cada antena no cenário consegue atingir e gera a respectiva área de cobertura.

Para demonstrar a eficiência do simulador foram criados dois ambientes virtuais para testes. Um cenário representando um ambiente urbano onde empregou-se um modelo de propagação clássico, Okumura-Hata para cidades pequenas e médias, e um ambiente tridimensional arborizado utilizando um modelo específico para simulação de propagação para regiões densamente arborizadas, desenvolvido na Universidade Federal do Pará chamado de Lyra-Castro-UFGPA.

**PALAVRAS CHAVES:** Realidade Virtual, Simulador Tridimensional, Radiopropagação, Antenas.

## ABSTRACT

This simulator is formed by the junction of Virtual Reality techniques with propagation models, developed through the studies of radio enlace, describing the loss that the transmitted signal suffers along the way in the environment. The Simulator has two modules. The first allows the creation of virtual environment with the placement, on a ground, buildings, trees, cars, antennas and other primitives that allow the construction of a customizable three-dimensional environment. The second module allows the configuration of the parameters related to antenna signal propagation as power, frequency, gain, etc., and also selects the propagation model for the simulation execution. Within this second module, there is a submodule responsible for coverage area planning study composed by antennas, in other words, this submodule simulates the distance that each antenna in the scenario can reach and generates its coverage area.

To demonstrate the Simulator efficiency was created two virtual environments for testing. A scenario representing an urban environment where employed a classic propagation model, Okumura-Hata to small and medium-sized cities, and a wooded three-dimensional environment using a specific model for propagation simulation of densely wooded regions, developed at the Federal University of Pará called Lyra-Castro-UFGPA.

**KEYWORDS:** Virtual Reality, Three-dimensional Simulator, Radio Propagation, Antennas.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1(a) – Exibição dos dados coletados do modelo Lyra-Castro-UFPA.....	6
Figura 2.1(b) – Comparação entre dados coletados e dados calculados no modelo Lyra-Castro-UFPA.....	6
Figura 2.2 – Exemplo da interface do simulador Swlmax.....	7
Figura 2.3 – Interface do simulador virtual de matemática.....	8
Figura 2.4 – Interface GUI do LVR.....	9
Figura 2.5 – Exemplos do laboratório virtual de pontes.....	10
Figura 3.1(a) – Jogo Torchlight.....	13
Figura 3.1(b) – <i>Software</i> para simulação medica de anatomia.....	13
Figura 3.2 – Componentes do Ogre3D.....	13
Figura 3.3 – Exemplos de aplicativos criados com o Qt.....	15
Figura 3.4 – Sistema de coordenadas do Ogre3D.....	16
Figura 4.1 – Arquitetura do SIMPLARCOM.....	23
Figura 4.2 – Caso de Uso do SIMPLARCOM.....	25
Figura 4.3 – Caso de Uso do Criar cenário.....	26
Figura 4.4 – Caso de Uso do Realizar simulação.....	27
Figura 4.5 – Caso de Uso do Plotar gráficos.....	28
Figura 4.6 – Caso de Uso do Planejar área de cobertura.....	29
Figura 4.7 – Ativação do Modo de Criação do SIMPLARCOM.....	30
Figura 4.8 – Exemplo de criação do cenário.....	31
Figura 4.9 – Ativação do Modo de Simulação do SIMPLARCOM.....	31
Figura 4.10 – Seleção do modelo de propagação.....	32
Figura 4.11 – Parâmetros da configuração da antena transmissora.....	33
Figura 4.12 – Parâmetros de configuração da antena receptora.....	33
Figura 4.13 – Área de cobertura para uma abertura horizontal e vertical de 30°...	34
Figura 4.14 – Área de cobertura para uma abertura horizontal e vertical de 50°...	34
Figura 4.15 – Exemplo do Modo de Planejamento com duas ERB's.....	35
Figura 4.16 – Exemplo do Modo de Planejamento com uma ERB.....	36
Figura 5.1 – Cenário de propagação inapropriado.....	38
Figura 5.2 – Cenário de propagação apropriado.....	39
Figura 5.3 – Início da simulação e informações no receptor.....	40
Figura 5.4 – Receptor sem a intensidade mínima de potência de sinal.....	41

Figura 5.5 – Notificação de que o usuário entrou na área de cobertura.....	41
Figura 5.6 – Notificação de <i>handoff</i> .....	42
Figura 5.7 – Cenário de ambiente arborizado.....	43
Figura 5.8 – Simulação do modelo Lyra-Castro-UFPA.....	43
Figura 5.9 – Obstrução na simulação do modelo Lyra-Castro-UFPA.....	44
Figura 5.10 – Plotagem dos gráficos.....	44
Figura 5.11 – Resultado da avaliação didática do SIMPLARCOM.....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS DE SIGLAS

**2D** – Bidimensional

**3D** – Tridimensional

**ERB** – Estação Rádio Base

**GUI** – *Graphics User Interface*

**IESAM** – Instituto de Estudos Superiores da Amazônia

**MATLAB** – *Matrix Laboratory*

**Ogre** – *Object-Oriented Graphics Rendering Engine*

**OO** – Orientação a Objetos

**RV** – Realidade Virtual

**UFPA** – Universidade Federal do Pará

**XML** – *eXtensible Markup Language*

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1 – Conversão da unidade virtual para a unidade metros.....	16
Equação 3.2 – Conversão da potência em W para dB.....	17
Equação 3.3 – Conversão da potência em dB para dBm.....	17
Equação 3.4 – Cálculo da intensidade de sinal recebido.....	17
Equação 3.5 – Okumura-Hata para área urbana em cidade pequena ou média...	19
Equação 3.6 – Okumura-Hata para área urbana em cidade grande com frequência de transmissão menor que 300 MHz.....	19
Equação 3.7 – Okumura-Hata para área urbana em cidade grande com frequência de transmissão igual ou maior que 300 MHz.....	19
Equação 3.8 – Okumura-Hata para área suburbana.....	19
Equação 3.9 – Okumura-Hata para área rural.....	19
Equação 3.10 – Lyra-Castro-UFPA para região amazônica.....	20
Equação 3.11 – Cálculo do raio de cobertura para o Okumura-Hata para área urbana de cidade pequena ou média.....	20
Equação 3.12 – Cálculo do raio de cobertura para o Okumura-Hata para área urbana em cidade grande com frequência de transmissão menor que 300 MHz..	20
Equação 3.13 – Cálculo do raio de cobertura para o Okumura-Hata para área urbana em cidade grande com frequência de transmissão igual ou maior que 300 MHz.....	20
Equação 3.14 – Cálculo do raio de cobertura para o Okumura-Hata para área suburbana.....	20
Equação 3.15 – Cálculo do raio de cobertura para o Okumura-Hata para área rural.....	21
Equação 3.16 – Cálculo do raio de cobertura para o Lyra-Castro-UFPA para região amazônica.....	21
Equação 4.1 – Cálculo do enlace <i>Link Power Budget</i> .....	36
Equação 4.2 – Potência efetivamente irradiada.....	36
Equação 4.3 – Nível do sinal recebido.....	36
Equação 4.4 – Potência mínima recebida.....	36
Equação 4.5 – Perda máxima admissível.....	36

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
1.1.1. OBJETIVO GERAL.....	2
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.2. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	3
<b>2. TRABALHOS RELACIONADOS.....</b>	<b>5</b>
2.1. TRABALHOS EM RADIOPROPAGAÇÃO SEM A UTILIZAÇÃO DE REALIDADE VIRTUAL.....	5
2.2. TRABALHOS EM RADIOPROPAGAÇÃO COM A UTILIZAÇÃO DE REALIDADE VIRTUAL.....	6
2.3. LABORATÓRIOS COM REALIDADE VIRTUAL.....	7
2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	10
<b>3. FERRAMENTAS.....</b>	<b>11</b>
3.1. LINGUAGEM C++.....	11
3.2. Ogre3D.....	12
3.3. Qt.....	14
3.4. INTEGRAÇÃO ENTRE REALIDADE VIRTUAL E EQUAÇÕES DE PROPAGAÇÃO.....	15
3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	21
<b>4. PROJETO DO SISTEMA.....</b>	<b>22</b>
4.1. ARQUITETURA DO SIMPLARCOM.....	22
4.2. CASOS DE USO A NÍVEL DE USUÁRIO.....	25
4.3. MODOS DE OPERAÇÃO.....	29
4.3.1. MODO DE CRIAÇÃO.....	29
4.3.2. MODO DE SIMULAÇÃO.....	31
4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>38</b>
5.1. EXECUÇÃO DO SIMULADOR.....	38
5.1.1. CENÁRIO EXEMPLO DO MODELO OKUMURA-HATA PARA CIDADES PEQUENAS E MÉDIAS.....	38
5.1.2. CENÁRIO EXEMPLO DO MODELO Lyra-Castro-UFPA.....	42

<b>5.2. AVALIAÇÃO DIDÁTICA.....</b>	<b>44</b>
<b>5.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>46</b>
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>
<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO.....</b>	<b>53</b>

## 1. INTRODUÇÃO

---

Atualmente o uso de dispositivos móveis de comunicação, em geral, torna-se cada vez mais presente no cotidiano das pessoas. Nesse contexto, sistemas de comunicação, a mobilidade e a qualidade do serviço entra em destaque. Um aparelho de celular mesmo sendo deslocado no espaço pelo seu usuário, deveria permanecer o máximo possível de tempo dentro da área de cobertura da operadora do sistema de comunicação móvel, ou seja, deve existir uma garantia de conexão aos usuários.

Com isso, estudos são desenvolvidos para analisar a atenuação do sinal considerando as obstruções e o meio físico no ambiente em estudo, que no caso deste trabalho será considerado a propagação do sinal na transmissão sem fio. Os dados obtidos nos estudos no ambiente real são analisados, geralmente de forma numérica, com uso de ferramentas computacionais.

Contudo, os dados obtidos nesses estudos poderiam apresentar uma melhor visualização do efeito correspondente no mundo real, e essa carência pode afetar tanto usuários iniciantes nessa área de pesquisa quando estudiosos mais familiarizados com o assunto.

Desta forma, a Realidade Virtual sendo uma reprodução do mundo real em ambientes virtuais permitindo que as pessoas interajam com os ambientes conceituais a partir do mundo real (KIRNER e TORI, 2004), pode contribuir para melhorar estas pesquisas envolvendo comunicação sem fio. Ambiente e técnicas de RV têm sido empregados em diversas áreas como no tratamento de fobias, entretenimento, demonstração de ambientes, capacitação de pessoas, simulação e outros (TORI, KIRNER e SISCOUTO, 2006).

Neste contexto, o Simulador para Planejamento de Redes de Comunicações Móveis (SIMPLARCOM) é um *software* que utiliza técnicas de Realidade Virtual para proporcionar a análise e estudo do rádio enlace em sistemas de comunicações móveis dentro de um cenário tridimensional pré-definido ou criado pelo usuário. E este simulador, que tem o propósito de ser uma ferramenta educacional, apresenta a importante contribuição da representação visual os efeitos correspondentes no mundo real.

Neste simulador o usuário tem liberdade para criar cenários utilizando diversas primitivas (modelos 3D) como árvores, casas, prédios, carros, antenas

setoriais, etc., adicionando e removendo esses objetos, além de poder realizar manipulações de translação, rotação e em alguns casos a escala dentro do ambiente virtual. Este modo de operação do simulador com estas características é classificado como Modo de Criação.

Outra forma de operar o SIMPLARCOM é realizando a configuração dos parâmetros das antenas transmissoras e receptoras de sinal de rádio, selecionar o modelo de propagação que rege o comportamento da perda do sinal ao longo do percurso no cenário e realizar a coleta e observação dos dados através da simulação realizada em tempo real. Nesta forma de operação é dito que o simulador está no Modo de Simulação.

Essas características da possibilidade da criação, configuração, simulação e análise dos resultados incorporados em um ambiente de RV torna a dinâmica e a didática mais atrativa, permitindo a imersão e a visualização das simulações em tempo de execução, tal qual aconteceria em um ambiente de propagação real. Ou seja, a utilização da Realidade Virtual adicionou mais recursos e possibilidades no estudo de sistemas de propagação de sinal sem fio.

Os resultados da simulação são exibidos de forma numérica como no valor da potência recebida, perda de sinal, informações de distancia, área, frequência, etc. Também são apresentados por elementos tridimensionais, como a área de cobertura do sinal, ou elementos bidimensionais representados pelas caixas de textos com informações da antena, notificações de entrada na região de cobertura de sinal da antena, e o indicador de nível de sinal recebido no medidor de potência. Além dessas formas de exibição dos resultados, o SIMPLARCOM permite a geração da área de cobertura do sinal, plotagem de gráficos de Potência x Distancia e Perda x Distancia e exportação desses dados, e também realizar o planejamento da região de cobertura da(s) antena(s).

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste projeto é o desenvolvimento de uma ferramenta computacional, que integra técnicas de RV, para ajudar no processo de ensino, aprendizagem e estudo do comportamento da comunicação sem fio via rádio. Para isso, a aplicação deve oferecer um modo de utilização acessível, imersão do usuário

no ambiente tridimensional, além de resultados em tempo real e confiáveis durante a simulação da propagação.

Foram criados modelos 3D para a execução da simulação, utilização de interfaces gráficas 2D para configuração de parâmetros e o emprego de alguns modelos de propagação clássicos que podem ser encontrados na literatura (SAUNDERS e ZAVALA, 2007), além de um modelo específico para regiões densamente arborizadas (CASTRO, 2010), oferecendo uma aproximação do que seria obtido em um ambiente real comparando ao gerado no ambiente virtual para a propagação do sinal.

### 1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Tornar o SIMPLARCOM um *software* didático para estudantes e pesquisadores;
- Permitir uma boa imersão dos usuários no ambiente de simulação;
- Possibilitar a inserção e utilização de diferentes modelos de propagação;
- Coletar e exibir as informações de forma eficiente e atraente aos usuários;

### 1.2. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Além deste capítulo introdutório onde o trabalho desenvolvido é contextualizado, apresentado uma descrição dos objetivos e sintetizado seus mecanismos e resultados, o texto é composto por outros 5 capítulos.

No capítulo 2 estão contidos os trabalhos relacionados ao simulador construído, destacando itens relevantes sobre o projeto e comparando-os com o SIMPLARCOM.

O capítulo 3 apresenta as ferramentas computacionais utilizadas para a produção do simulador. Também é descrito como ocorre a interação entre o ambiente virtual e os conceitos de propagação de ondas de rádio, mostrando as equações empregadas que regem esses efeitos.

No capítulo 4 é detalhado o projeto do sistema, ou seja, como está organizado o aplicativo, apresentando a arquitetura do simulador, diagramas de classes e seus relacionamentos.

O capítulo 5 detalha o processo de utilização do SIMPLARCOM com criação de cenários, configurações dos parâmetros das antenas e da propagação, a simulação propriamente dita e coleta dos resultados. Também neste capítulo é

exibido o resultado da avaliação didática do SIMPLARCOM, após a execução de demonstrações e funcionalidades.

Por fim, o capítulo 6 realiza uma discussão do desenvolvimento e resultados deste projeto, além da apresentação de propostas de trabalhos futuros.

## 2. TRABALHOS RELACIONADOS

---

Muitos estudos já foram e estão sendo desenvolvidos nas áreas de realidade virtual e também de radiopropagação. No campo da RV, o avanço do processamento gráfico, através de melhorias em *hardware* e *software*, tem proporcionado uma sensação mais intensa de imersão e interatividade com o ambiente virtual. Também nos estudos de comunicação sem fio via ondas de rádios, a melhoria no processamento computacional possibilitou uma redução do tempo gasto para obtenção da resposta de testes, mesmo em processos que podem apresentar etapas consideradas complexas, aumentando a eficiência nas pesquisas desenvolvidas.

Os estudos em comunicação sem fio podem ser incrementados quando estes apresentam o recurso de ser simulado em um ambiente que representa o mundo real. E estes estudos podem ser ainda mais acrescidos em conteúdo quando o ambiente de simulação incorpora um cenário tridimensional, obtido empregando a Realidade Virtual, tornando a pesquisa desenvolvida mais atrativa, ou seja, mais familiar para os usuários.

Neste capítulo serão descritos e comparados trabalhos relacionados ao projeto SIMPLARCOM, considerando exemplos sem a utilização de RV, com a utilização de RV e além disso alguns laboratórios virtuais de outras áreas.

### 2.1. TRABALHOS EM RADIOPROPAGAÇÃO SEM A UTILIZAÇÃO DE REALIDADE VIRTUAL

Estudos em desenvolvimento que tratam da radiopropagação em sistemas móveis e seus respectivos modelos matemáticos normalmente são gerados e analisados (após a coleta dos dados em um ambiente real) através da ferramenta MATLAB (MATLAB, 2013). Esta é uma ferramenta muito útil que realiza operações matriciais para processar os dados e exibir os resultados de forma numérica ou graficamente.

O trabalho de (CASTRO, 2010) descreve as etapas de criação e validação de um modelo de propagação para regiões densamente arborizadas, característica das cidades amazônicas, trabalhando em uma frequência de transmissão na faixa de 5.8 GHz (Gigahertz). Este estudo além de ter uma boa aplicação prática e gerar outras

publicações como (MACHADO *et al.*, 2011), tem seu modelo de propagação adicionado ao SIMPLARCOM.

Ambos os estudos tem seus resultados obtidos e avaliados através do MATLAB gerando respostas numéricas e gráficos bidimensionais, como observado na Figura 2.1(a) e Figura 2.1(b). Contudo, apesar de todos os recursos oferecidos pelo MATLAB, é necessário que seu interpretador (componente binário responsável pela execução) esteja instalado no computador onde pretende-se realizar a simulação, e também não é possível ter uma visualização 3D contendo propagação e cenário. No caso do SIMPLARCOM, este oferece a exibição de cenário e propagação em tempo real, além de seu executável não necessitar de um interpretador para funcionar.

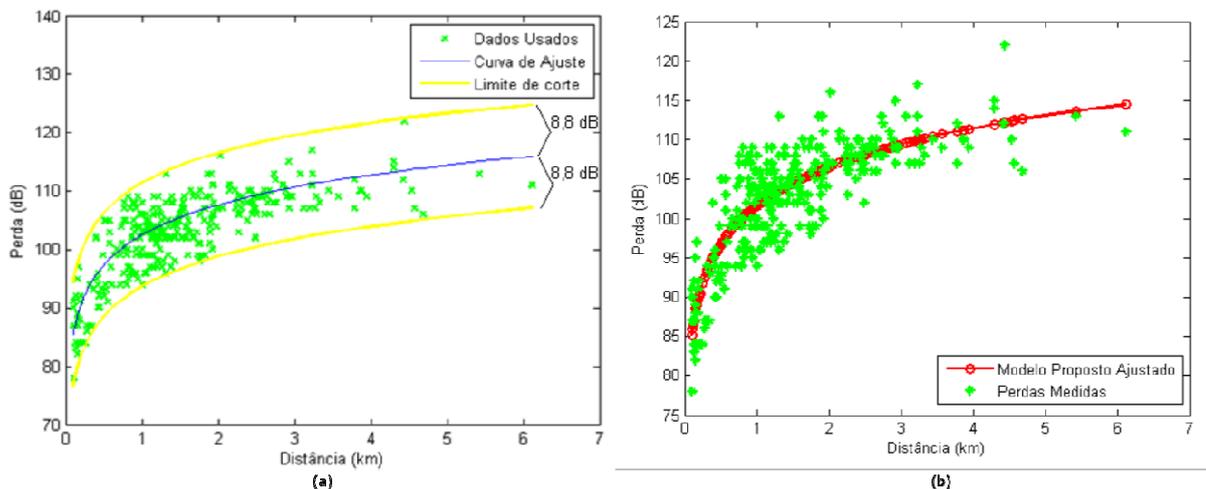


Figura 2.1 (a) – Exibição dos dados coletados do modelo Lyra-Castro-UFGA  
Fonte: (CASTRO, 2010)

Figura 2.1 (b) – Comparação entre dados coletados e dados calculados no modelo Lyra-Castro-UFGA  
Fonte: (CASTRO, 2010)

## 2.2. TRABALHOS EM RADIOPROPAÇÃO COM A UTILIZAÇÃO DE REALIDADE VIRTUAL

Tendo como um dos objetivos a junção de simulação de propagação e ambiente 3D, foi desenvolvido o trabalho intitulado Swlmax (NEGRÃO, 2012). Este foi criado utilizando a ferramenta Unity3D (UNITY3D, 2013), gerando um ambiente virtual e interativo, disponibilizado na Internet em (SWIMAX, 2013). O seu propósito é auxiliar no ensino do padrão de comunicação sem fio WiMAX através de um ambiente 3D, ajuste de frequência de transmissão, indicação do sinal recebido,

influência do clima, etc. Na Figura 2.2 é mostrado um exemplo da interface do simulador Swlmax.



Figura 2.2 – Exemplo da interface do simulador Swlmax  
Fonte: (NEGRÃO, 2012)

Analisando o aspecto principal deste trabalho, o auxílio no ensino do padrão WiMAX, o aplicativo produzido tem bons resultados, além de ser independente de plataforma computacional, pois após ser instalado uma extensão do Unity3D necessita-se somente de uma conexão com a Internet e um *browser* para sua execução.

Porém os resultados deste aplicativo não são totalmente fiéis para um ambiente de simulação, não é possível configurar potência, altura de transmissão e recepção, e nem trabalha com modelos de propagação para a simulação, considerando basicamente a variável “distância” entre as antenas para determinar a potência recebida. Estes pontos, além de outros, o SMIPLARCOM oferece aos usuários mantendo os aspectos de imersão no ambiente virtual e interação em tempo real.

### 2.3. LABORATÓRIOS COM REALIDADE VIRTUAL

Analisando o contexto de laboratórios virtuais é possível perceber como a integração de realidade virtual com outras áreas de pesquisa oferece considerável acréscimo no estudo e análise de diversos assuntos, pois as técnicas de RV ao simularem um ambiente real em um mundo virtual, tornam o ambiente mais familiar

tanto para usuários leigos como para usuários mais avançados em determinado processo.

Um exemplo de aplicação de um laboratório virtual pode ser encontrado no trabalho intitulado: “Implementação de um laboratório de realidade virtual de baixo custo: estudo de caso de montagem de um laboratório para o ensino de matemática” (MACHADO, OLIVEIRA e GUIMARÃES, 2013). Neste é detalhado todo o processo de planejamento, instalação e testes de uma aplicação com RV para auxiliar no ensino de disciplina de matemática em escolas do ensino médio da cidade de São Paulo, considerando principalmente o aspecto de baixo custo do sistema.

Sendo uma aplicação RV do tipo não imersiva (o usuário não está totalmente inserido no ambiente virtual), este projeto mostrou-se bem avaliado pelos alunos e professores da instituição onde foi realizado o estudo de caso, e por isso planejam expandir este sistema para ser utilizado em outras disciplinas. Na Figura 2.3 é exibida uma parte da interface desta aplicação. É possível notar que o ambiente não apresenta um alto grau de realismo, isso deve-se ao fato de que o ele visa ser acessível e de baixo custo, por isso não gerou resultados gráficos bem relevantes.

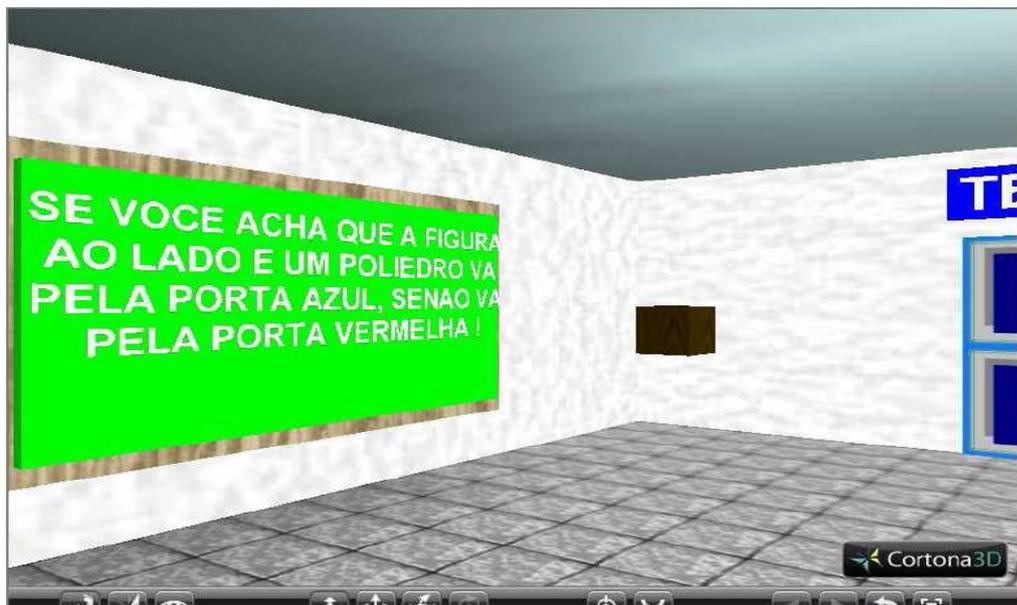


Figura 2.3 – Interface do simulador virtual de matemática  
Fonte: (MARTINS, OLIVEIRA e GUIMARÃES, 2013)

Outra aplicação de laboratório virtual é o trabalho Laboratório Virtual de Redes (LVR, 2013). Este sistema em desenvolvimento é escrito em linguagem de programação Java, sendo assim multiplataforma, e busca dar suporte aos estudantes de redes de computadores sobre as etapas e ações ocorridas em uma

conexão de dados do tipo TCP/IP, empregando também os conceitos do modelo de camadas de rede como, por exemplo, enlace, rede, etc.

O ambiente do LVR foi usado em um dos laboratórios da UFPA, no campus de Santarém, do curso de Sistemas de Informação. O LVR foi bem avaliado pelos estudantes desse curso, proporcionando mais conteúdo e um melhor aprendizado, pois o ambiente virtual pode ser enriquecido com detalhes do protocolo TCP/IP, além de permitir a execução pelos alunos em suas residências. Na Figura 2.4 tem-se um exemplo da interface GUI do LVR.

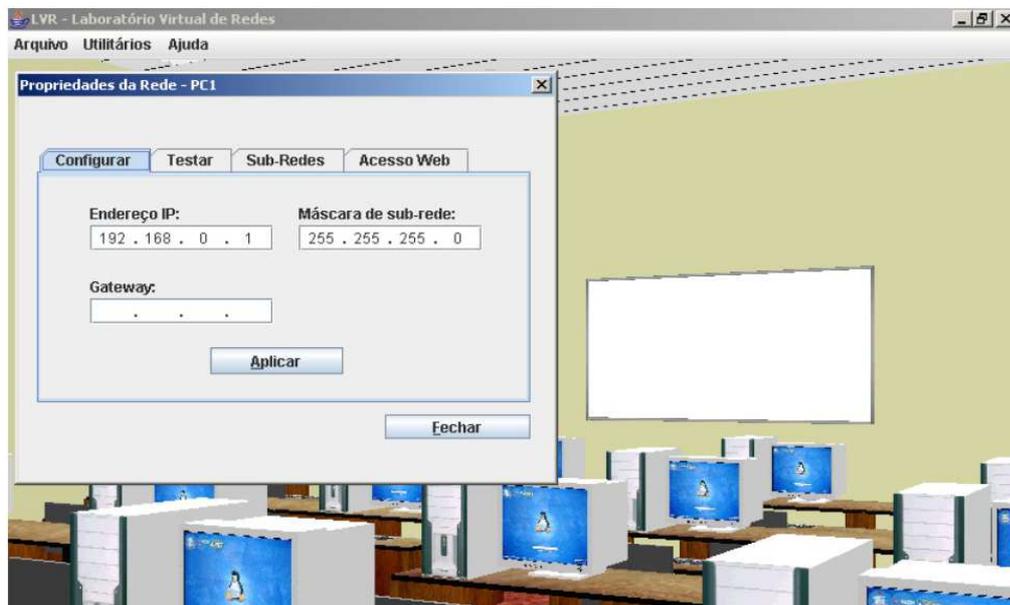


Figura 2.4 – Interface GUI do LVR  
Fonte: (LVR, 2013)

Outro ambiente de laboratório virtual que está sendo empregado em estudos de nível superior é o trabalho apresentado em (SAMPAIO e MARTINS, 2013). Este projeto é um ambiente de realidade virtual não imersivo onde estudante de engenharia civil realizam os procedimentos envolvidos na criação de pontes, considerando aspectos do terreno, materiais utilizados nas pontes, *design* da ponte, etc., no cenário tridimensional do laboratório.

Neste ambiente é possível visualizar e interagir em toda a sequência de evolução física da constituição da ponte virtual. O projeto deste laboratório conta com a participação de especialistas em processos de construção e *designers* de pontes, e está sendo testado e avaliado na Universidade Técnica de Lisboa, no Departamento de Engenharia Civil, onde se tem um bom retorno avaliativo tanto de

alunos como de professores. A Figura 2.5 contém exemplos da execução deste laboratório virtual.



Figura 2.5 – Exemplos do laboratório virtual de pontes  
Fonte: (SAMPAIO e MARTINS, 2013)

Estes exemplos citados envolvendo o emprego de laboratórios virtuais ajudam a concretizar a eficiência da utilização das técnicas de realidade virtual no auxílio do estudo, treinamento, tratamento e análise em diversas áreas de pesquisas através de adição de detalhes explicativos, imersão no ambiente 3D e interação em tempo real. Todas essas vantagens estão presentes no SIMPLARCOM, objetivando fornecer aos seus usuários uma ferramenta útil no estudo de radiopropagação em um ambiente virtual.

#### 2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram apresentados alguns trabalhos desenvolvidos e em desenvolvimento que apresentam relação com o SIMPLARCOM. No caso dos projetos envolvendo radiopropagação não empregando e empregando a Realidade Virtual, além de suas características serem citadas, eles foram comparados ao SIMPLARCOM onde os diferenciais deste simulador são destacadas. O tópico sobre Laboratórios Virtuais apresenta sistemas bem conceituados e empregados, demonstrando alguns dos potenciais incrementos que a utilização da RV oferecer ao projeto.

O próximo capítulo irá apresentar e descrever as ferramentas empregadas no desenvolvimento do SIMPLARCOM, assim como as etapas para integração dos modelos de propagação no ambiente de RV, e o formato das equações utilizadas neste simulador.

### 3. FERRAMENTAS

---

O desenvolvimento do SIMPLARCOM utilizou a linguagem de programação C++ para implementação das classes e dos modelos de propagação, e realiza também a integração com outras duas ferramentas computacionais descritas na sequência, que são: o Ogre3D e o Qt. Essas ferramentas são de código aberto ou utilizado sob a licença não comercial (licença livre, mas que possibilita a distribuição). Na evolução deste capítulo será exibido a descrição e importância dessas ferramentas para o projeto do simulador.

#### 3.1. LINGUAGEM C++

A linguagem de programação C++ é uma das mais utilizadas no desenvolvimento de aplicativos robustos e que necessitem de alto desempenho de processamento. Sendo a evolução da linguagem C, C++ expandiu a arquitetura estruturada fazendo uso de todos os conceitos do paradigma de Orientação a Objetos como herança, polimorfismo, sobrecarga, etc. (DEITEL, 2006).

Uma de suas principais características é a possibilidade de utilização tanto em alto como baixo nível na máquina. Uma das vantagens do alto nível é de uma melhor organização do trabalho geral, onde é possível dividi-lo em componentes que também podem ser subdivididos em novos componentes, permitindo melhorar a visualização e planejamento do projeto, enquanto que uma das vantagens do baixo nível (que alguns consideram uma desvantagem) é de aproveitar melhor os recursos físicos e de processamento da máquina através de alocação e liberação de memória dinamicamente, passagem de parâmetros em métodos por cópia, referência ou ponteiro, dependendo do conhecimento do desenvolvedor uma solução gerada pode ser considerada “leve” (em termos de ocupação do espaço em disco rígido) e de desempenho elevado, entre outras características.

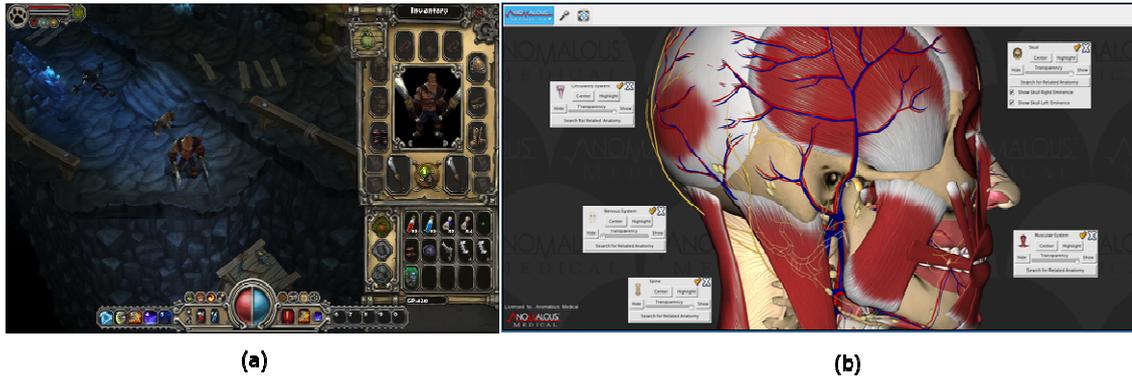
No caso de operações ou algoritmos que necessitem de um médio ou elevado processamento, a manipulação dos dados entre objetos utilizando ponteiros ou referência torna-se uma opção atrativa, pois evita cópias desnecessárias de dados. Isso tornou esta linguagem muito respeitada na área de programação, contudo também provoca repúdio para outros. Características como essas, tornam a linguagem robusta e de alto desempenho, e como citado por (DEGOES, 1999) em

(BARATA, 2010), é a linguagem preferida na programação de jogos e aplicações gráficas 3D. Como mencionado o SIMPLARCOM tem seus componentes, incluindo os modelos de propagação, implementados na linguagem de programação C++.

### 3.2. Ogre3D

O Ogre3D é uma *engine* gráfica que objetiva agilizar e auxiliar o desenvolvimento de aplicações tridimensionais com o emprego de suas classes definidas e escritas em linguagem C++ (OGRE, 2013). É uma das bibliotecas gráficas mais utilizadas para renderização de ambientes virtuais (JUNKER, 2006), por ser gratuita e de código aberto está em constante atualização por centenas de desenvolvedores (BARATA, 2010).

É uma biblioteca multiplataforma (JUNKER, 2006), funcionando em Windows, Linux, Mac e em alguns sistemas operacionais para dispositivos móveis, o que elimina o problema de portabilidade do código criado entre as plataformas suportadas. Com a *engine* abstraímos os detalhes da utilização de bibliotecas gráficas de baixo nível como Direct3D (para ambientes Windows) e OpenGL (para ambientes Windows, Linux e Mac). Contudo, por ser somente uma *engine* gráfica, esta é responsável apenas pela renderização da cena 3D, ou seja, ela não incorpora outras funcionalidades como, por exemplo, manipulação de áudio e gerenciamento de física, porém existem várias adições à biblioteca que contornam estes problemas. Na Figura 3.1(a) está mostrado um jogo desenvolvido usando o Ogre3D e na Figura 3.1(b) temos um exemplo de um simulador de anatomia que também utiliza esta *engine*.



(a)

(b)

Figura 3.1(a) – Jogo Torchlight

Fonte: (TORCHLIGHT, 2013)

Figura 3.1(b) – *Software* para simulação médica de anatomia

Fonte: (ANOMALOUS, 2013)

Uma visualização simplificada da organização dos componentes contidos na biblioteca Ogre3D pode ser observada na Figura 3.2 com uma breve descrição de seus componentes na sequência.

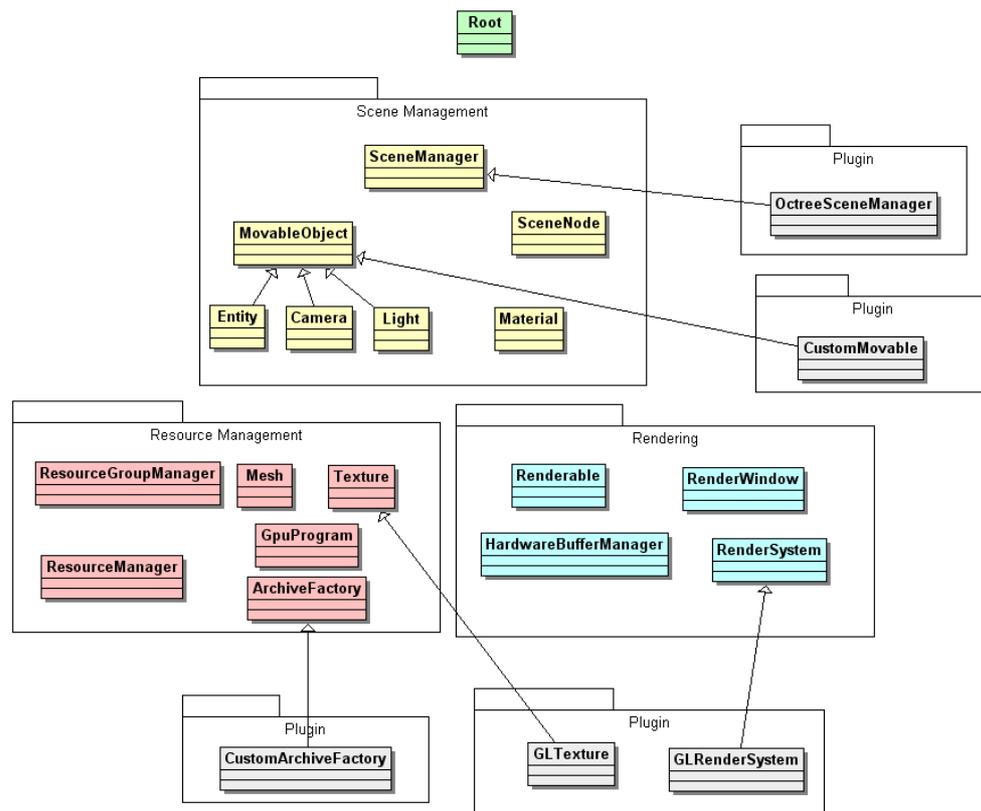


Figura 3.2 – Componentes do Ogre3D

Fonte: Documentação do Ogre3D (OGRE, 2013)

- **Root:** É o ponto inicial do sistema do Ogre3D, esta estrutura é responsável pela criação de todos os outros objetos fundamentais para a aplicação, deve ser o primeiro e último objeto a ser criado e destruído no aplicativo.
- **Scene Management:** As classes contidas neste pacote promovem uma interface intuitiva para criação do ambiente 3D desejado.
- **Resource Management:** As classes desta seção estão responsáveis por gerenciar a utilização de geometrias, texturas, fontes, etc., ou seja, qualquer arquivo de recurso que o aplicativo usará.
- **Rendering:** Pacote que contém as definições para utilizar uma API específica para gerar as imagens renderizadas.

Com estas características de boa estruturação, alto desempenho e grande leque de recursos e possibilidades oferecidos pela biblioteca Ogre3D, o SIMPLARCOM utiliza esta *engine* gráfica para gerenciamento do ambiente de RV.

### 3.3. Qt

Qt é um conjunto completo de aplicativos e bibliotecas desenvolvido pela empresa Nokia com o intuito de facilitar o desenvolvimento de aplicações com GUI's, assim como é possível trabalhar com redes de computadores, processamento de imagens, banco de dados, etc. (QT, 2013). É constituído em mais de 400 classes escritas na linguagem C++, totalmente documentado, incluindo demonstrações, exemplos e tutoriais, além de que todo o seu código é multiplataforma e sua licença pode ser encontrada tanto na forma livre (a qual foi usada) como na forma comercial (BARATA, 2010). A Figura 3.3 mostra alguns exemplos de aplicativos criados utilizando o Qt.

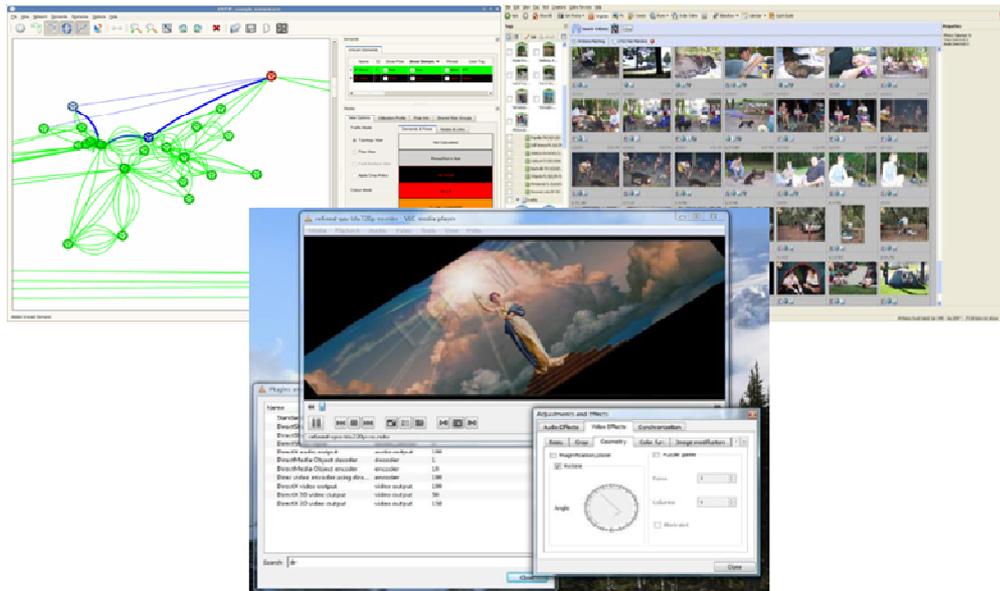


Figura 3.3 – Exemplos de aplicativos criados com o Qt  
Fonte: (BARATA, 2010)

Desta forma, o Qt apresenta diversas possibilidades de ser empregado, considerando também sua boa documentação e o suporte da comunidade de desenvolvedores torna esta *framework* muito robusta, além de ser de rápido aprendizado e de fácil utilização como diz (BLANCHETTE e SUMMERFIELD, 2008) citado em (BARATA, 2010). Para este projeto o Qt foi selecionado como ferramenta de criação e gerenciamento das GUI's do aplicativo.

#### 3.4. INTEGRAÇÃO ENTRE REALIDADE VIRTUAL E EQUAÇÕES DE PROPAGAÇÃO

Todos os ambientes de RV apresentam um sistema de coordenadas espaciais que descreve o local de cada objeto virtual no cenário em questão. A *engine* Ogre3D utiliza os conhecidos eixos cartesianos, representado pelo ponto no espaço virtual ( $x, y, z$ ) para a localização de qualquer corpo. A Figura 3.4 apresenta comportamento do sistema de coordenadas do Ogre3D tendo como referência uma tela de televisor.

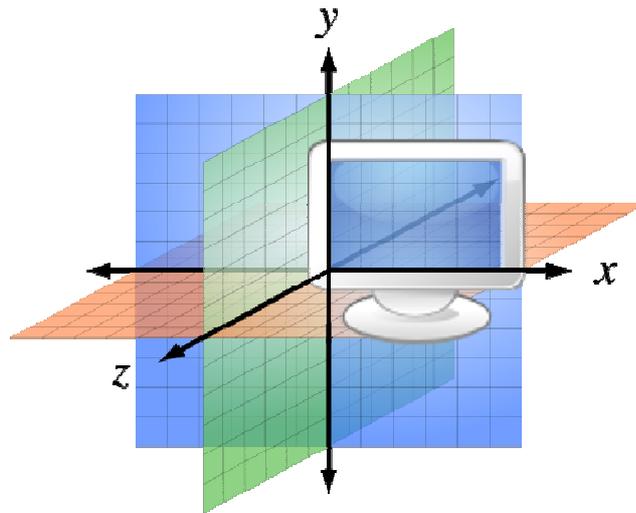


Figura 3.4 – Sistema de coordenadas do Ogre3D  
 Fonte: Documentação do Ogre3D (OGRE, 2013)

Analisando a Figura 3.4 e considerando um ponto genérico  $(x, y, z)$  nesse sistema, é possível observar que o valor no eixo  $x$  cresce da esquerda para a direita, o valor de  $y$  cresce de baixo para cima e, o valor de  $z$  cresce de dentro para fora desse referencial da tela.

Estas informações são muito importantes para a correta integração do ambiente virtual do SIMPLARCOM com as equações dos modelos de propagação que são utilizadas. Devido o Ogre3D não trabalhar com um valor de unidade de distância como o metro (m) ou quilômetros (km) (isso é justificado porque o valor de unidade de distância deve ser definido durante a etapa de modelagem 3D dos objetos), tornou-se necessário uma conversão de unidades entre o ambiente virtual e seu equivalente em metros.

Para realização dessa conversão foi utilizado como referência o tamanho virtual (altura) da antena setorial de 70 metros de altura. O modelo 3D desta antena apresenta o valor de altura 1473.99 no ambiente virtual, e como esta antena equivale a uma antena real de 70 metros de altura, foram utilizados esses parâmetros de altura para determinar uma equação que converte um valor de distância na unidade virtual do SIMPLARCOM para uma quantia em metros, como mostra a Equação 3.1.

$$d_{\text{metros}} = d_{\text{virtual}} * \frac{70}{1473.99}$$

Equação 3.1 – Conversão da unidade virtual para a unidade metros

Onde  $d_{virtual}$  é o valor fornecido pelo Ogre3D a ser convertido em metros e  $d_{metros}$  é a quantidade convertida. Os outros parâmetros que o SIMPLARCOM utiliza para a simulação da propagação emprega as unidades comumente usadas no estudo de radio enlace, que são:

- Potência de transmissão e recepção medidas em watts (W), sendo realizada a conversão para decibel com potência de referência a um miliwatt (dBm);
- Ganho de transmissão e recepção medido em decibel isotrópico (dBi);
- Perdas de alimentação de transmissão e recepção em decibel (dB);
- Altura de transmissão e recepção em metros (m);
- Frequência de transmissão em mega hertz (MHz);
- Distância entre antena transmissora e receptora medido em metros (m);
- Modelos de propagação utilizados medidos em decibel (dB);

Nos sistemas de radiopropagação o nível de potência (transmitida ou recebida) é apresentado em escala dBm pois facilita os estudos através de uma representação linear. A Equação 3.2 mostra como ocorre a transformação da unidade W para dB, e a Equação 3.3 realiza a conversão da unidade dB para dBm.

$$P_{dB} = 10 * \log_{10}(P_W)$$

Equação 3.2 – Conversão da potência em W para dB

$$P_{dBm} = P_{dB} + 30$$

Equação 3.3 – Conversão da potência em dB para dBm

Trabalhando nesta escala logarítmica (dB e dBm), a equação que representa o nível de potência recebida em determinado ponto do cenário pode ser expressa na Equação 3.4, onde  $P_t$  é a potência transmitida em dBm,  $G_t$  é o ganho de transmissão em dBi,  $G_r$  é o ganho de recepção em dBi,  $L_t$  são as perdas de alimentação do transmissor em dB,  $L_r$  são as perdas de alimentação do receptor em dB,  $L$  é a perda devido ao modelo de propagação, no ambiente, em dB e,  $P_r$  é a potência recebida em dBm.

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_t - L_r - L$$

Equação 3.4 – Cálculo da intensidade de sinal recebido

Tendo o conhecimento da potência transmitida, dos ganhos de transmissão e recepção e das perdas de alimentações, torna-se necessário somente determinar a expressão que representa o modelo de propagação, representado pelo  $L$ , para determinação da potência recebida.

Os diversos modelos de propagações desenvolvidos podem considerar configurações diferentes de ambientes como o meio de propagação no espaço livre (sem obstruções), cidades pequenas, cidades grandes, ambientes rurais, ambientes densamente arborizados, cenários *indoor*, efeitos físicos como a reflexão e refração de sinal, dentre outros. Essas diferenciações ocorrem porque as características do ambiente influenciam diretamente na forma que o sinal de rádio irá se propagar.

Estes modelos de propagação são classificados em dois tipos básicos:

- 1) Modelos físicos: determinam o comportamento da perda do sinal de acordo com fenômenos físicos de reflexão, refração e absorção de sinal ao entrarem em contato com obstruções.
- 2) Modelos empíricos: Nas suas equações não consideram a influência dos fenômenos físicos ao longo da propagação do sinal, mas são expressões que respondem eficientemente para a perda do sinal através da análise de parâmetros como, por exemplo, distância entre as antenas e frequência de transmissão.

É possível notar que os modelos físicos fornecem resultados bastante fiéis para a perda de intensidade de sinal, porém são regidos por expressões consideravelmente complexas. Enquanto que os modelos empíricos são capazes de apresentar ótimos resultados e não tendo equações tão complexas de utilização, contudo, para atingirem essa eficiência, os modelos empíricos normalmente são empregados dentro de um intervalo de confiança que pode ser referente a faixa de frequência de transmissão, intervalo de altura do receptor, etc.

Até o momento o SIMPLARCOM tem implementado seis modelos de propagações, todos empíricos, que são denominados: Okumura-Hata para área urbana em cidade pequena ou média, expresso na Equação 3.5; Okumura-Hata para área urbana de cidades grandes com frequência de transmissão menor que 300 MHz, expresso na Equação 3.6; Okumura-Hata para área urbana de cidades

grandes com frequência de transmissão igual ou maior que 300 MHz, expresso na Equação 3.7; Okumura-Hata para área suburbana, representado na Equação 3.8; Okumura-Hata para área rural, contido na Equação 3.9; e um modelo de propagação desenvolvido na UFPA para regiões densamente arborizadas que foi classificado como Lyra-Castro-UFPA para região amazônica, que está na equação 3.10.

$$L = 68.75 + 0.7 * h_r + (27.72 - 1.1 * h_r) * \log(f) - 13.82 * \log(h_t) \\ + [44.9 - 6.55 * \log(h_t)] * \log(d)$$

Equação 3.5 – Okumura-Hata para área urbana em cidade pequena ou média

$$L = 70.65 + 8.29 * [\log(1.54 * h_r)]^2 + 26.16 * \log(f) - 13.82 * \log(h_t) \\ + [44.9 - 6.55 * \log(h_t)] * \log(d)$$

Equação 3.6 – Okumura-Hata para área urbana em cidade grande com frequência de transmissão menor que 300 MHz

$$L = 74.52 - 3.2 * [\log(11.75 * h_r)]^2 + 26.16 * \log(f) - 13.82 * \log(h_t) \\ + [44.9 - 6.55 * \log(h_t)] * \log(d)$$

Equação 3.7 – Okumura-Hata para área urbana em cidade grande com frequência de transmissão igual ou maior que 300 MHz

$$L = 64.15 + 26.16 * \log(f) - 2 * [\log(f/28)]^2 - 13.82 * \log(h_t) \\ + [44.9 - 6.55 * \log(h_t)] * \log(d)$$

Equação 3.8 – Okumura-Hata para área suburbana

$$L = 28.61 + [44.49 - 4.78 * \log(f)] * \log(f) - 13.82 * \log(h_t) \\ + [44.9 - 6.55 * \log(h_t)] * \log(d)$$

Equação 3.9 – Okumura-Hata para área rural

$$L = 42.5 - 22784.226808 * \frac{h_t + h_r}{h_o * f} + 14.2 * \log(f) + 16.5 * \log(d)$$

Equação 3.10 – Lyra-Castro-UFPA para região amazônica

Onde  $h_r$  é a altura do receptor em relação ao solo (em m),  $h_t$  é a altura do transmissor em relação ao solo (em m),  $f$  é a frequência de operação (em MHz),  $d$  é a distância de separação entre receptor e transmissor (para os modelos do Okumura-Hata é medido em km e para o modelo Lyra-Castro-UFPA é em m),  $h_o$  é a média das alturas das obstruções entre receptor e transmissor e, o operador  $\log$  é a função logarítmica na base 10.

Para a parte do planejamento de cobertura móvel, assim como a potência de transmissão, os ganhos e as perdas de alimentação, o modelo de propagação selecionado irá interferir no raio de cobertura das antenas. O SIMPLARCOM realiza o cálculo desse raio de cobertura, representando essa medida em metros, através das expressões da Equação 3.11 até Equação 3.16 para cada modelo de propagação implementado no simulador.

$$R = 10^{\frac{P_t + G_t - L_t + G_r - L_r - P_{rmin} - 68.75 - 0.7 * h_r - (27.72 - 1.1 * h_r) * \log(f) + 13.82 * \log(h_t)}{44.9 - 6.55 * \log(h_t)} + 3}$$

Equação 3.11 – Cálculo do raio de cobertura para o Okumura-Hata para área urbana de cidade pequena ou média

$$R = 10^{\frac{P_t + G_t - L_t + G_r - L_r - P_{rmin} - 70.65 - 8.29 * [\log(1.54 * h_r)]^2 - 26.16 * \log(f) + 13.82 * \log(h_t)}{44.9 - 6.55 * \log(h_t)} + 3}$$

Equação 3.12 – Cálculo do raio de cobertura para o Okumura-Hata para área urbana em cidade grande com frequência de transmissão menor que 300 MHz

$$R = 10^{\frac{P_t + G_t - L_t + G_r - L_r - P_{rmin} - 74.52 + 3.2 * [\log(11.75 * h_r)]^2 - 26.16 * \log(f) + 13.82 * \log(ht)}{44.9 - 6.55 * \log(h_t)} + 3}$$

Equação 3.13 – Cálculo do raio de cobertura para o Okumura-Hata para área urbana em cidade grande com frequência de transmissão igual ou maior que 300 MHz

$$R = 10^{\frac{P_t + G_t - L_t + G_r - L_r - P_{rmin} - 64.15 - 26.16 * \log(f) + 2 * [\log(\frac{f}{28})]^2 + 13.82 * \log(ht)}{44.9 - 6.55 * \log(h_t)} + 3}$$

Equação 3.14 – Cálculo do raio de cobertura para o Okumura-Hata para área suburbana

$$R = 10^{\frac{P_t + G_t - L_t + G_r - L_r - P_{rmin} - 28.61 - [44.49 - 4.78 * \log(f)] * \log(f) + 13.82 * \log(h_t)}{44.9 - 6.55 * \log(h_t)}} + 3$$

Equação 3.15 – Cálculo do raio de cobertura para o Okumura-Hata para área rural

$$R = 10^{\frac{P_t + G_t - L_t + G_r - L_r - P_{rmin} - 42.5 + 22784.226808 * \frac{h_t + h_r}{h_o * f} - 14.2 * \log(f)}{16.5}}$$

Equação 3.16 – Cálculo do raio de cobertura para o Lyra-Castro-UFPA para região amazônica

Considerando que  $P_{rmin}$  é a potência mínima de recepção aceitável em dBm e  $R$  é a distância do raio, em metros, que a área de cobertura pode atingir. Através dessas equações de potência recebida, modelos de propagação, raio de cobertura da antena e da Equação 3.1 que realiza a equivalência entre a escala de distância no mundo virtual e escala de distância no mundo real, tornou-se possível representar o efeito da propagação do sinal no ambiente de RV com as simulações.

### 3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram apresentadas as ferramentas empregadas para a construção do SIMPLARCOM, com citação de suas características, descrição parcial do objetivo do desenvolvimento de cada ferramenta e onde elas serão inseridas no projeto do SIMPLARCOM.

Como é necessário realizar a integração dos modelos de propagação com o ambiente de Realidade Virtual, este capítulo também apresentou as etapas para a realização dessa integração. Cada equação utilizada no simulador possui características de formatação e parâmetros, e estes parâmetros apresentam unidades específicas no estudo da radiopropagação. Para isso, fez-se necessário uma descrição de cada parâmetro e equação empregada no SIMPLARCOM, mostrando que eles são equivalentes quando comparados aos usados nos estudos em um ambiente real de emissão e captação de sinal de rádio.

O próximo capítulo uma documentação do SIMPLARCOM, descrevendo como ocorre a integração das ferramentas, a forma de relação entre os componentes deste simulador e suas funcionalidades, Casos de Uso e modos de operação da aplicação.

## 4. PROJETO DO SISTEMA

---

Como descrito no capítulo anterior, o SIMPLARCOM utiliza basicamente três ferramentas para seu funcionamento: o Ogre3D responsável pelo ambiente virtual, o Qt destinado ao gerenciamento da GUI, e a linguagem de programação C++ para integração entre o Ogre3D e o Qt, para a implementação das equações dos modelos de propagação, e etc.

Vale resaltar que a licença utilizada do Qt é a não comercial (conhecida também como de código aberto), porém como não é garantido que esta *framework* sempre disponibilize este tipo de licença, optou-se por utilizar funcionalidades não muito avançadas do Qt como Multithread, Banco de Dados, Processamento de Imagens, etc., sendo empregado, na maior parte, no gerenciamento das janelas e formulários, pois caso seja necessário trocar esta ferramenta o projeto não sofrerá grandes modificações. No caso da *engine* Ogre3D, este tipo de preocupação não é necessário, pois é uma ferramenta livre para distribuição e de código aberto.

Com isso, neste capítulo será descrito e detalhado a estrutura do projeto deste simulador, mostrando a relação entre seus componentes e os Casos de Usos a nível de usuário em relação as funcionalidades do SIMPLARCOM.

### 4.1. ARQUITETURA DO SIMPLARCOM

A arquitetura do SIMPLARCOM pode ser vista, de uma forma generalizada, como consta na Figura 4.1, onde é possível visualizar seus principais componentes, as relações entre estes e as ferramentas que gerenciam estes blocos.

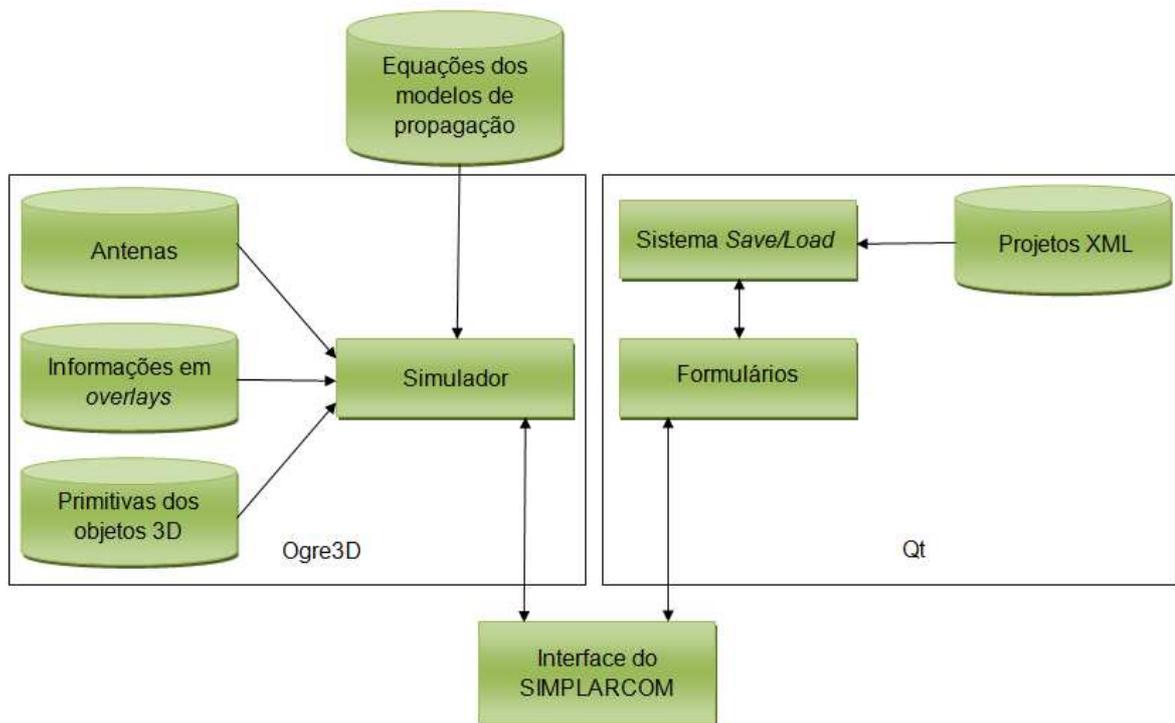


Figura 4.1 – Arquitetura do SIMPLARCOM

Cada um desses componentes, no escopo do SIMPLARCOM, podem ser descritos da seguinte forma:

- **Ogre3D:** *engine* responsável por todo o processamento da renderização do ambiente de Realidade Virtual;
- **Antenas:** armazena e manipula os parâmetros de antenas relativas ao processo de transmissão de sinal via rádio como a altura (m), potência (W e dBm), frequência (MHz), etc.;
- **Informações em overlays:** notificações 2D no cenário 3D aos usuários, referentes a dados do sinal recebido, parâmetros da(s) antena(s) transmissora(s), entrada na região de cobertura de sinal e o efeito da troca de conexão entre antenas transmissoras (*handoff*);
- **Primitivas dos objetos 3D:** objetos tridimensionais que podem ser adicionados, manipulados (através de translação, rotação e escala) e removidos do cenário. Essas primitivas ficam localizadas na pasta denominada “media” dentro da estrutura hierárquica de diretórios do SIMPLARCOM, contendo os objetos “.mesh”, “.material”, texturas, etc.;
- **Equações dos modelos de propagação:** contém o nome e a expressão matemática (em dB) dos modelos de propagação disponíveis no simulador,

incluindo suas respectivas características de validade como intervalo para altura do transmissor e receptor e frequência de atuação do transmissor;

- **Simulador:** componente que contém as informações dos objetos tridimensionais contidos na cena, gerencia a navegação pelo ambiente 3D, realiza o processo de propagação do sinal no ambiente virtual considerando os parâmetros de cada antena, o cenário (caso o modelo de propagação sofra influência da configuração do cenário), e o modelo de propagação selecionado (e suas características) para que o usuário realize a coleta dos dados, em tempo real, de intensidade de sinal recebido, notificações de entrada na região de cobertura e *handoff*, dentre outras informações;
- **Qt:** fornece a criação e gerenciamento das interfaces gráficas (GUI's) 2D do SIMPLARCOM;
- **Projetos XML:** arquivos de projetos do SIMPLARCOM, manipuláveis para leitura e escrita dos dados dos objetos de um projeto, onde esses dados são estruturados no formato de um arquivo XML (extensão “.xml”);
- **Sistema *Save/Load*:** realiza o gerenciamento de um projeto criado no SIMPLARCOM através do carregamento e salvamento das informações dos objetos 3D com sua translação, rotação e escala, e as configurações das antenas contidas no ambiente, fornecendo essas informações para os **Projetos XML**;
- **Formulários:** componentes GUI's referentes a edição de parâmetros da simulação como nome do objeto 3D, dados da antena, seleção do modelo de propagação a ser empregado, etc., assim como a coleta de dados nos gráficos de Perda x Distância e Potência x Distância, por exemplo;
- **Interface do SIMPLARCOM:** gerencia todas as janelas (interfaces gráficas 2D) utilizadas no SIMPLARCOM e a forma de contato do usuário com o mundo do ambiente virtual, servindo como o coletor de dados do usuário para o ambiente 3D (e a simulação) e o local onde as informações da renderização deste ambiente serão exibidas;

Desta forma está configurada a arquitetura do SIMPLARCOM, realizando a junção das características de cada componente contido na Figura 4.1. Estes pacotes realizam todas as funcionalidades, contidas até o momento, deste simulador.

É possível notar que o suporte a áudio ou fenômenos físicos como a detecção de colisões entre objetos 3D, por exemplo, não estão sendo consideradas no SIMPLARCOM, pois a adição destas características não foram necessárias, ou seja, estas funcionalidades, até o momento, não se configuram como requisitos para este simulador. Contudo estas inclusões podem ocorrer com um custo de desenvolvimento baixo, caso se torne uma requisição do simulador, devido a estruturação da arquitetura.

#### 4.2. CASOS DE USO A NÍVEL DE USUÁRIO

Por se tratar de um *software* para auxiliar no ensino/estudo de propagação de sinal sem fio, o SIMPLARCOM apresenta o propósito de ser de fácil utilização, tanto para estudiosos dessa área de pesquisa quanto para pessoas leigas neste assunto.

Desta forma, é possível generalizar todas as funcionalidades oferecidas pelo SIMPLARCOM através do Caso de Uso apresentado na Figura 4.2, onde é possível perceber suas formas de operação através de cinco funções básicas.

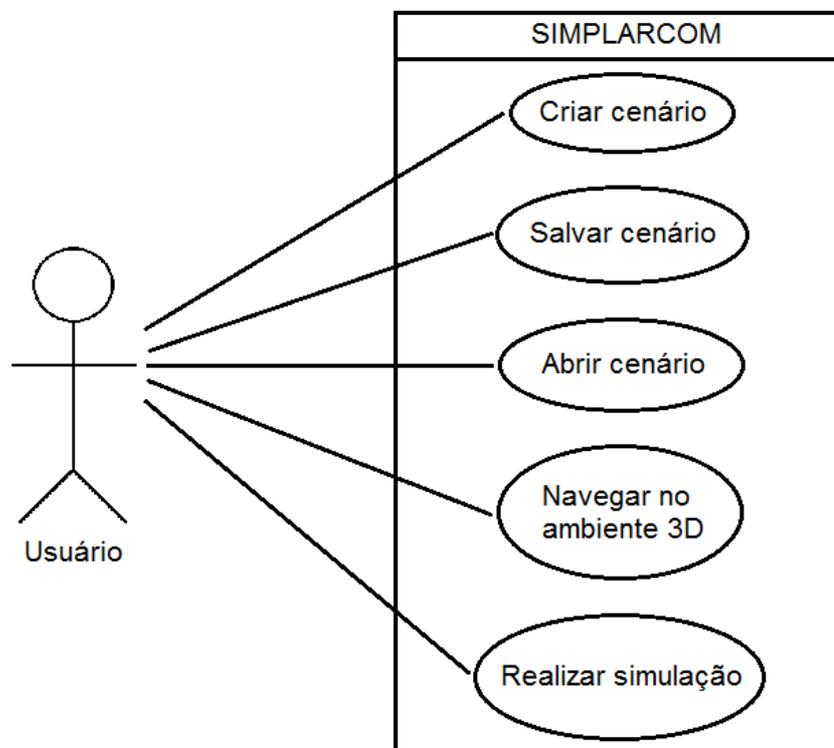


Figura 4.2 – Caso de Uso do SIMPLARCOM

As funcionalidades de “Salvar cenário” e “Abrir cenário” pertencem ao componente do “Sistema de *Save/Load*” de projetos, enquanto que a funcionalidade “Navegar no ambiente 3D” é um dos requisitos básicos de aplicações em RV.

É possível expandir a função “Criar cenário” do Caso de Uso do SIMPLARCOM mostrando seus detalhes, como consta no Caso de Uso desta funcionalidade apresentando na Figura 4.3.

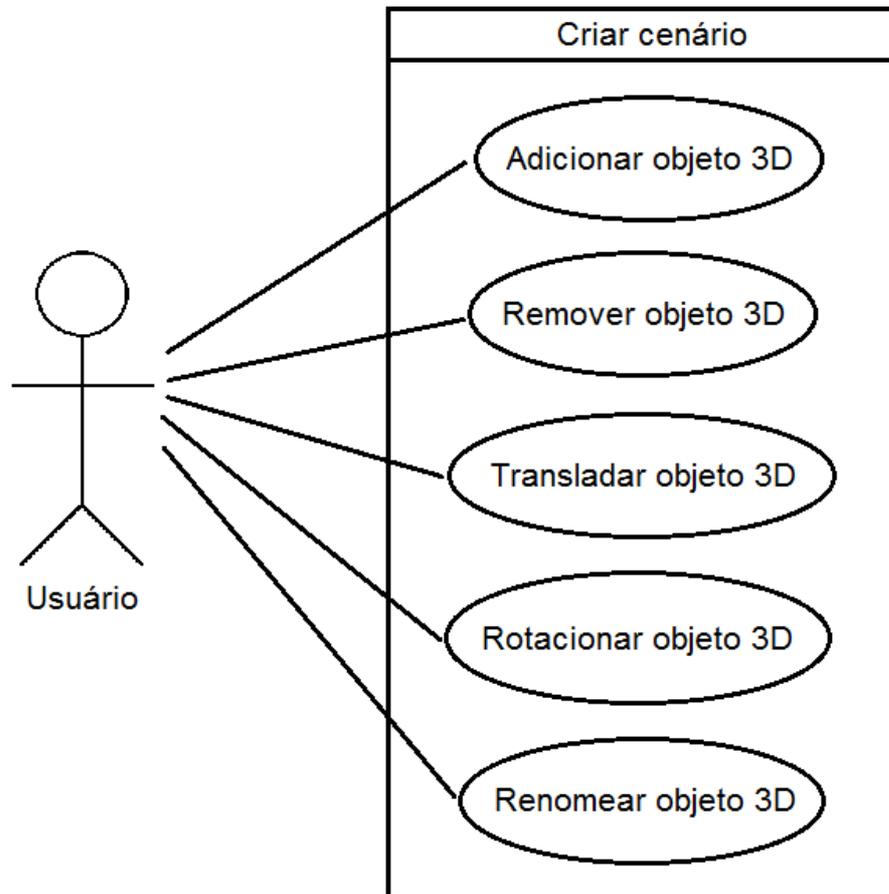


Figura 4.3 – Caso de Uso do Criar cenário

Neste Caso de Uso é possível identificar, também, as operações básicas que uma aplicação de Realidade Virtual deve apresentar, e estas funcionalidades são pertencentes ao componente da arquitetura “Primitivas dos objetos 3D”, que disponibiliza um conjunto de objetos para criação de cenários.

Continuando a análise no Caso de Uso do SIMPLARCOM, a utilidade “Realizar simulação” pode ser apresentada em um nível mais discretizado como está exibido na Figura 4.4 para o Caso de Uso desta função.

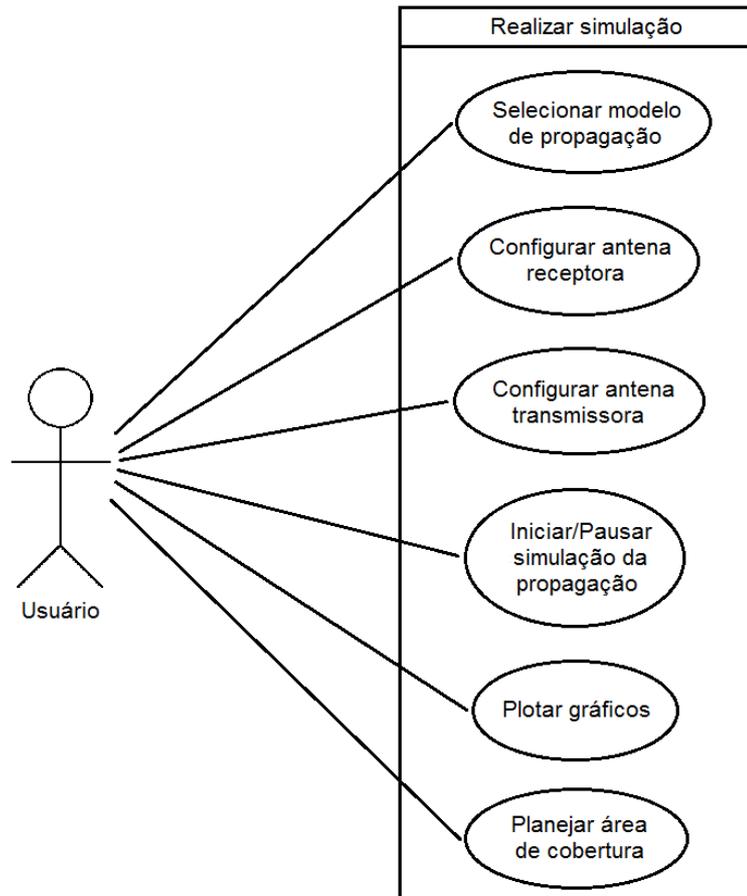


Figura 4.4 – Caso de Uso do Realizar simulação

Este Caso de Uso apresenta todas as operações que o simulador pode realizar quando o usuário está no chamado “Modo de Simulação” do SIMPLARCOM (este modo de operação será explicado nos tópicos seguintes). O componente “Simulador” da arquitetura do SIMPLARCOM contém as funcionalidades desse Caso de Uso.

A opção “Plotar gráficos” pode ser detalhada em um novo Caso de Uso apresentado na Figura 4.5. A função de plotagem de gráficos do simulador é destinada a fazer uma análise bidimensional do comportamento da perda de sinal e da potência recebida em relação a distância, no ambiente analisado no mundo virtual.

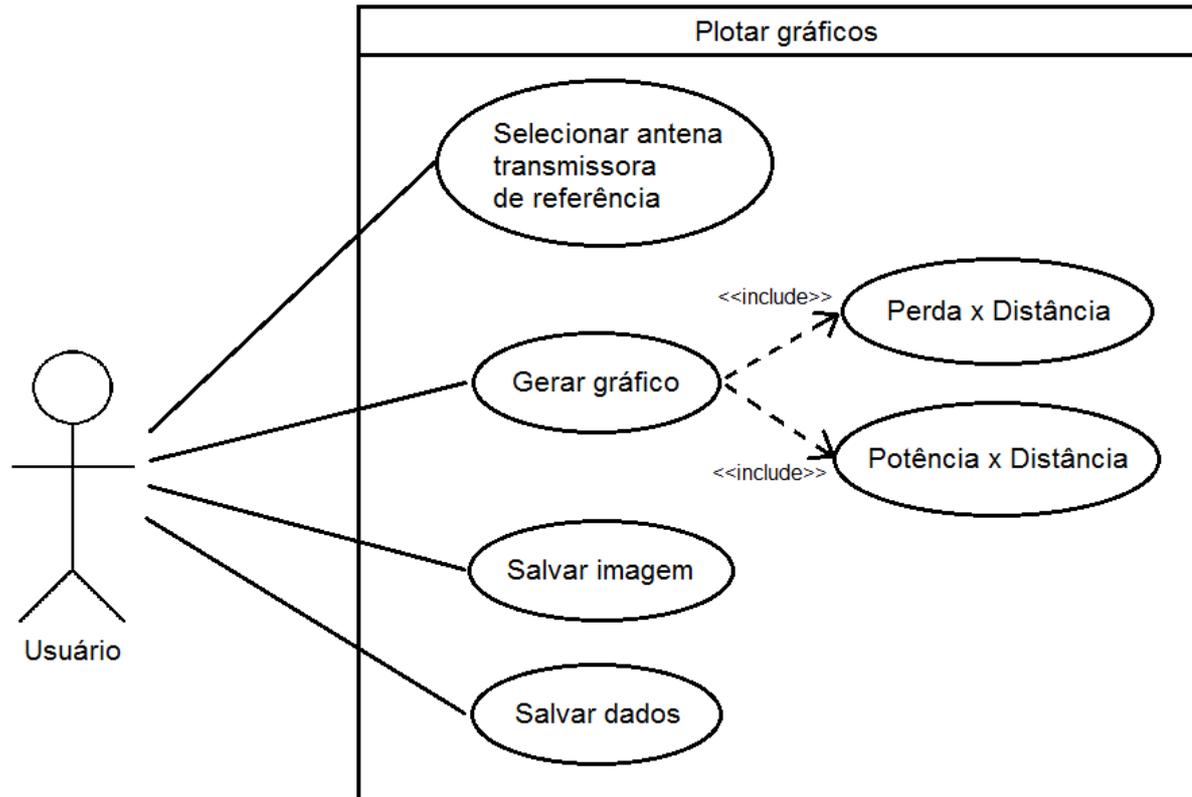


Figura 4.5 – Caso de Uso do Plotar gráficos

Finalizando este tópico de Casos de Uso, tem-se o Caso de Uso da opção “Planejar área de cobertura” que está contido na Figura 4.6. Esta funcionalidade é importante para realizar a otimização da cobertura de sinal oferecido pelas antenas em uma determinada no cenário.



Figura 4.6 – Caso de Uso do Planejar área de cobertura

### 4.3. MODOS DE OPERAÇÃO

Como mencionado, o SIMPLARCOM apresenta dois modos de operação que podem ser alternados a qualquer momento, que são: Modo de Criação e Modo de Simulação. Cada um destes é descrito com mais detalhes na sequência do tópico.

#### 4.3.1. MODO DE CRIAÇÃO

O SIMPLARCOM torna possível aos usuários a liberdade de criação de diferentes cenários para a realização de suas simulações de propagação, através do modo de criação. A ativação deste modo pode ser visualizada na Figura 4.7 com um retângulo destacado em contorno vermelho, assim como as opções de utilização deste modo.

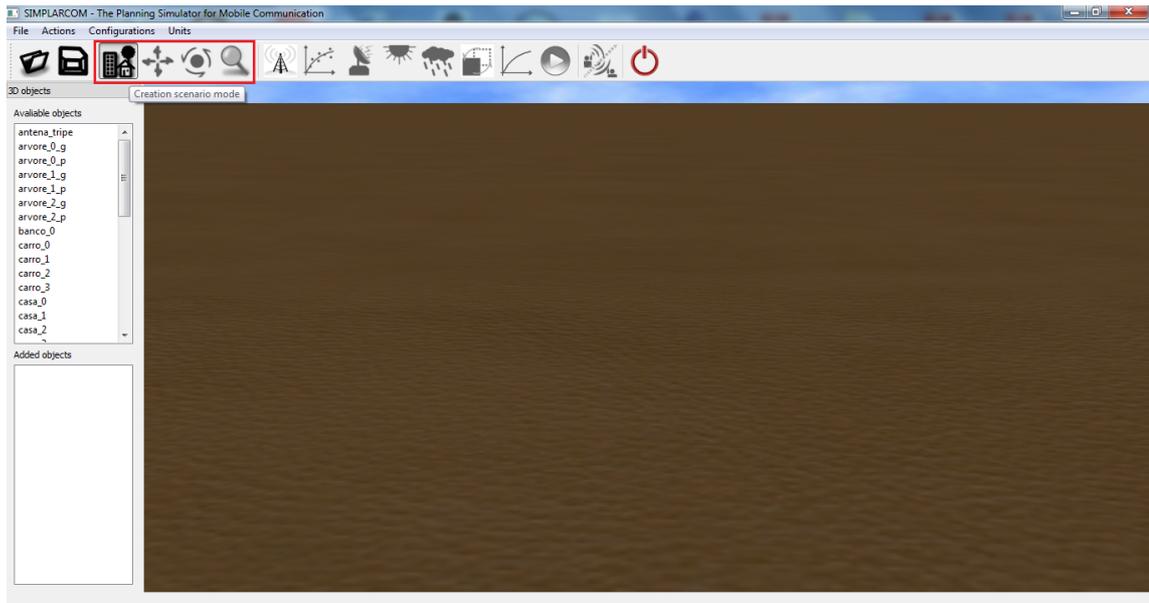


Figura 4.7 – Ativação do Modo de Criação do SIMPLARCOM

Neste perfil o usuário tem a capacidade de inserir diversas primitivas como árvores, casas, prédios, carros, dentre outros, no local que ele preferir dentro do ambiente virtual. Também é possível inserir novos modelos tridimensionais ao sistema sem ser necessária alteração em código fonte, simplesmente adicionando os recursos requeridos pela *engine* Ogre3D referentes à modelos 3D (arquivos “.mesh”, texturas e “.material”) no diretório “media” do SIMPLARCOM.

Como apresentado no Caso de Uso do Criar cenário na Figura 4.3, é permitido a translação e rotação de todos os objetos 3D, e para os modelos que representam pisos (grama, asfalto, concreto, etc.) é liberada para o usuário a opção de escala para facilitar a criação do cenário.

Pode-se renomear o objeto inserido, assim como removê-lo do cenário em questão, e a qualquer momento pode-se salvar o ambiente que está sendo criado para utilização futura. A Figura 4.8 mostra um exemplo do Modo de Criação com alguns objetos 3D inseridos.

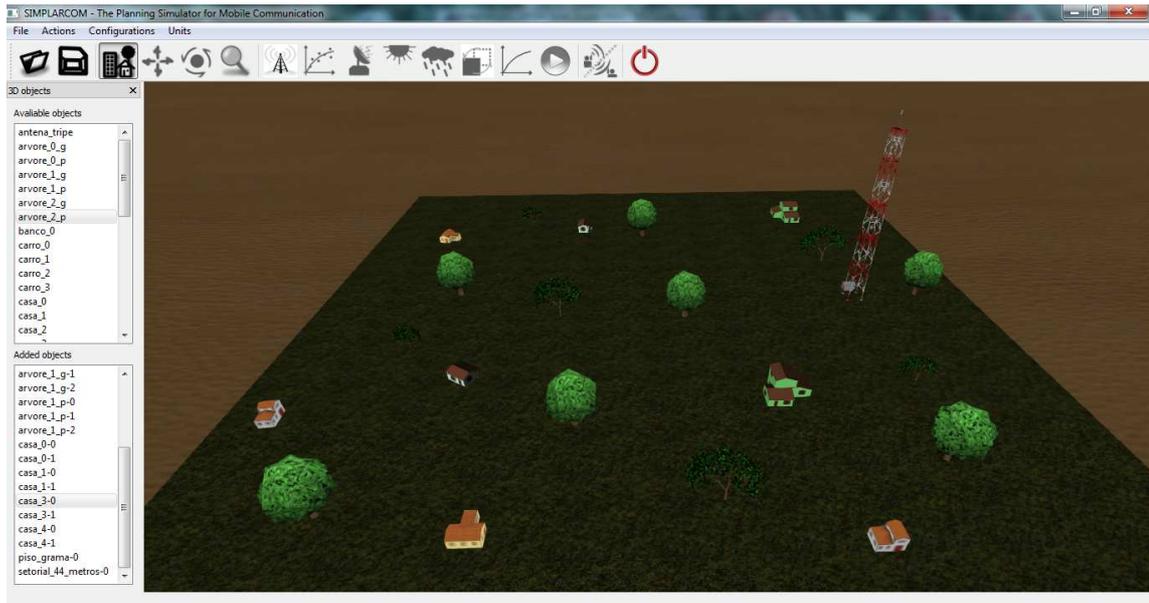


Figura 4.8 – Exemplo de criação do cenário

#### 4.3.2. MODO DE SIMULAÇÃO

Acionando este perfil as características do Modo de Criação serão desativadas, de forma que o usuário foque somente nas configurações da simulação e na própria simulação da propagação do sinal de antenas. A ativação deste modo pode ser visualizada na Figura 4.9 com destaque em contorno vermelho, assim como suas opções de utilização.

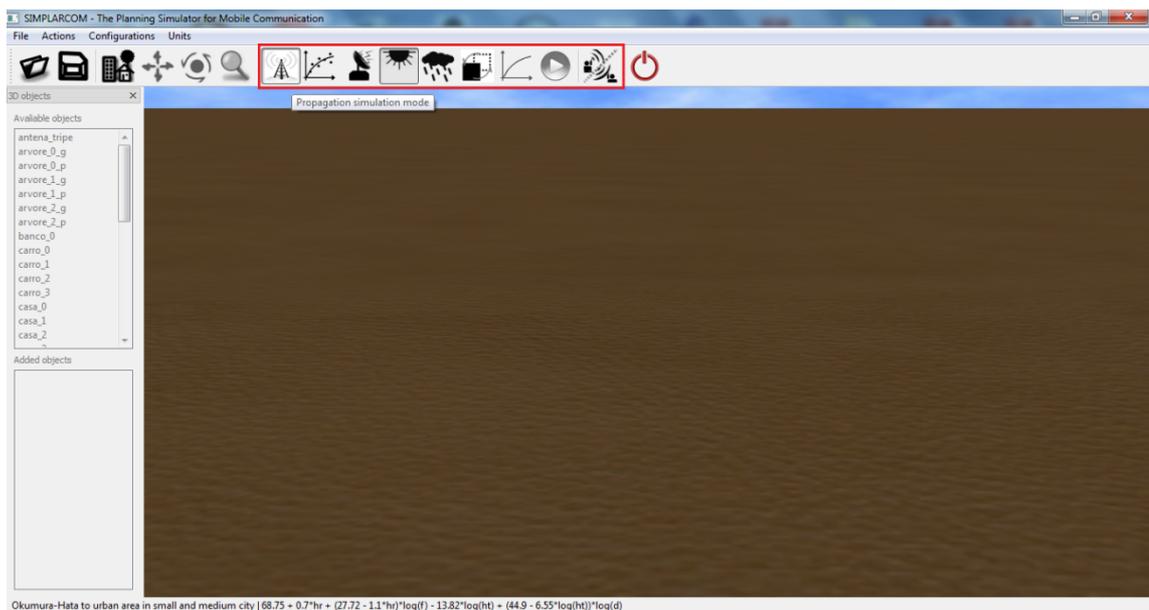


Figura 4.9 – Ativação do Modo de Simulação do SIMPLARCOM

Os modelos de propagação empregados até o momento no SIMPLARCOM são os do Okumura-Hata descritos em (SAUNDERS e ZAVALA, 2007) e também o modelo Lyra-Castro-UFPA (CASTRO, 2010), desenvolvido para a frequência de 5.8 GHz, que descreve a atenuação do sinal em ambientes amazônicos caracterizados por serem densamente arborizados.

Como exemplo de seleção do modelo de propagação no Modo de Simulação, tem-se a Figura 4.10, onde são exibidas também as definições do intervalo de aceitação da frequência, de altura do rádio transmissor e altura do rádio receptor.

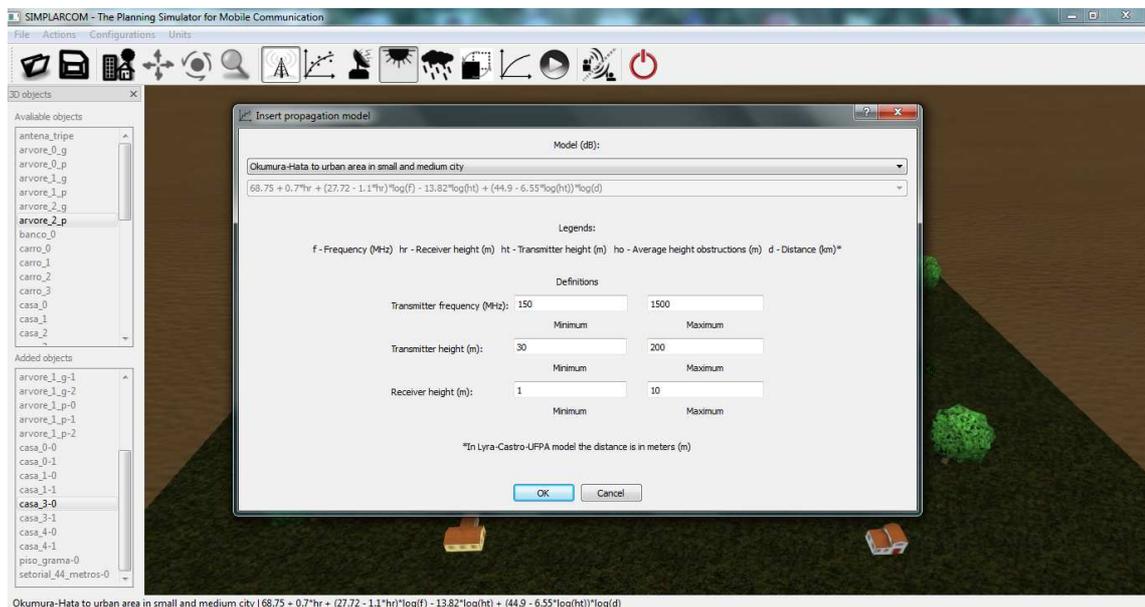


Figura 4.10 – Seleção do modelo de propagação

Para editar as configurações da antena transmissora é necessário efetuar um clique duplo sobre esta para ser exibida uma janela com os parâmetros referentes, que são: potência (em W), ganho (em dBi), perda nos cabos e conectores (em dB), frequência (em MHz), número de setores, abertura horizontal (em graus) e abertura vertical (em graus). Na Figura 4.11 é mostrada a janela de configuração dos parâmetros da antena.

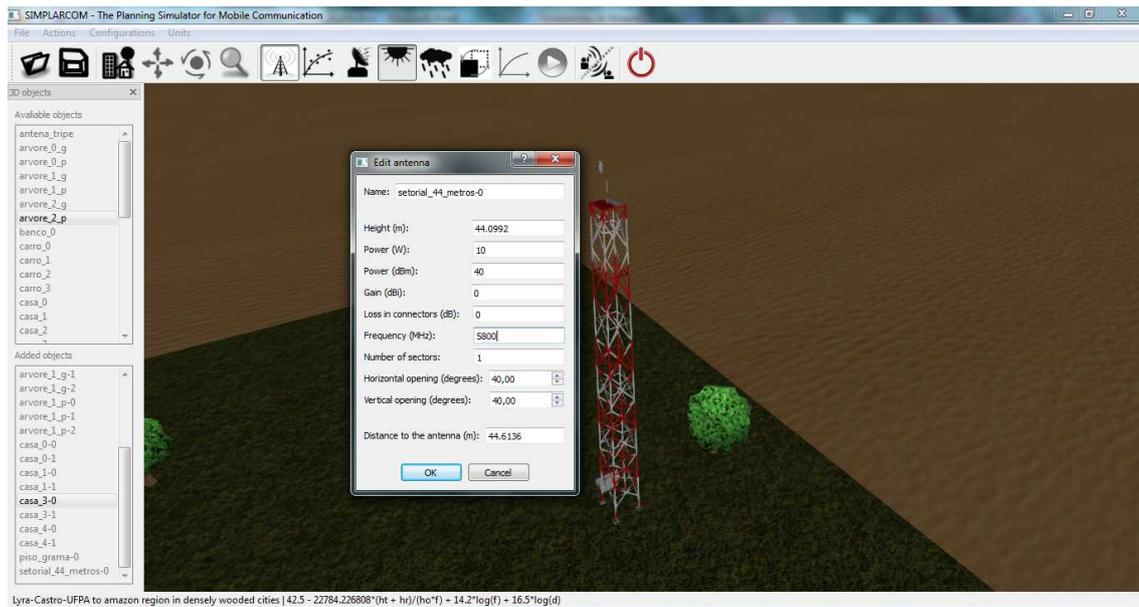


Figura 4.11 – Parâmetros da configuração da antena transmissora

Prosseguindo, pode-se também editar os atributos da antena receptora de sinal. Atributos estes que são: sensibilidade do receptor (em dBm), margem para desvanecimento (em dB), potência máxima (em W), ganho (em dBi), perda nos cabos e conectores (em dB). A configuração desses atributos é exemplificada na Figura 4.12.

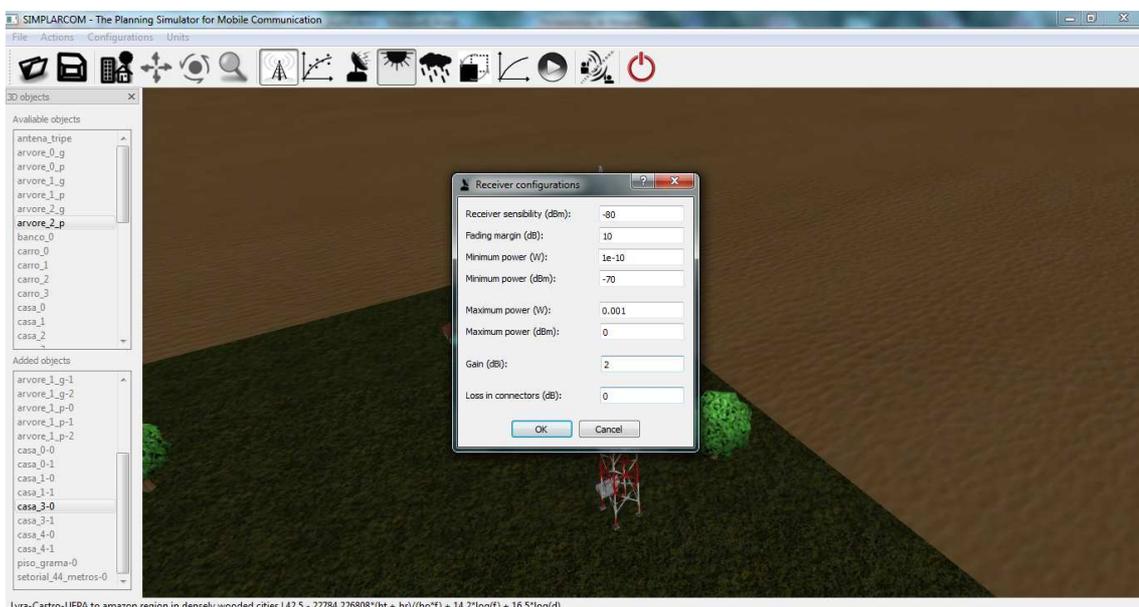


Figura 4.12 – Parâmetros de configuração da antena receptora

Tendo estes parâmetros configurados e caso todas as antenas contidas no cenário estejam de acordo com as definições do modelo de propagação utilizado, o SIMPLARCOM libera a opção para efetuar o processo de simulação da propagação

do sinal das antenas, coleta de dados e exibição em 3D da área de cobertura. A Figura 4.13 e Figura 4.14 ilustram a área de cobertura em 3D, com aberturas horizontais e verticais das antenas setoriais de  $30^\circ$  e  $50^\circ$ , respectivamente.

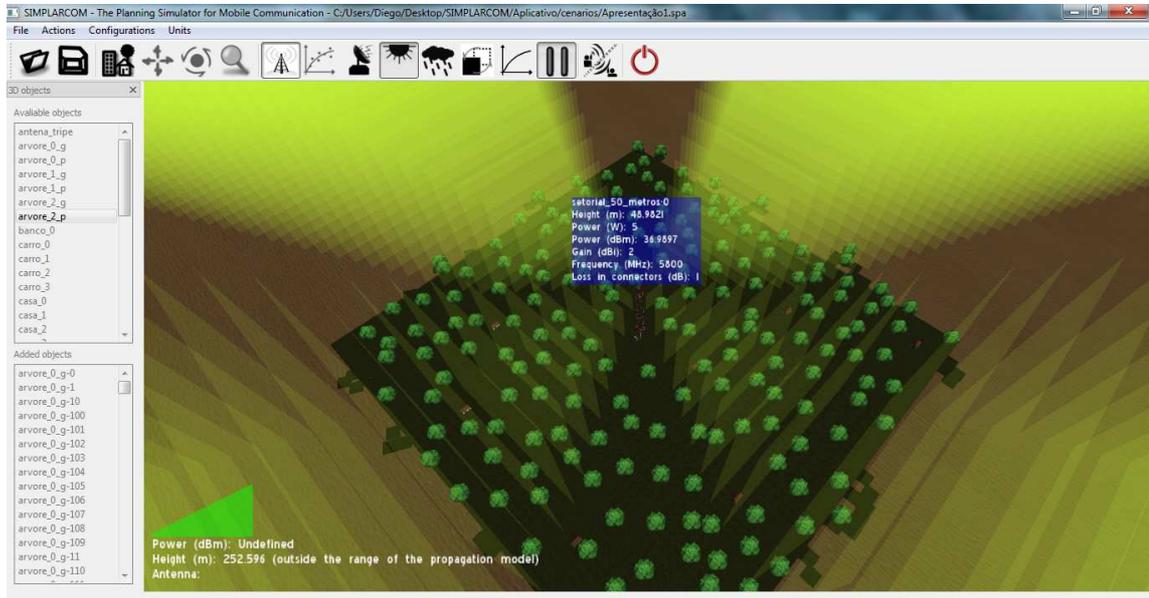


Figura 4.13 – Área de cobertura para uma abertura horizontal e vertical de  $30^\circ$

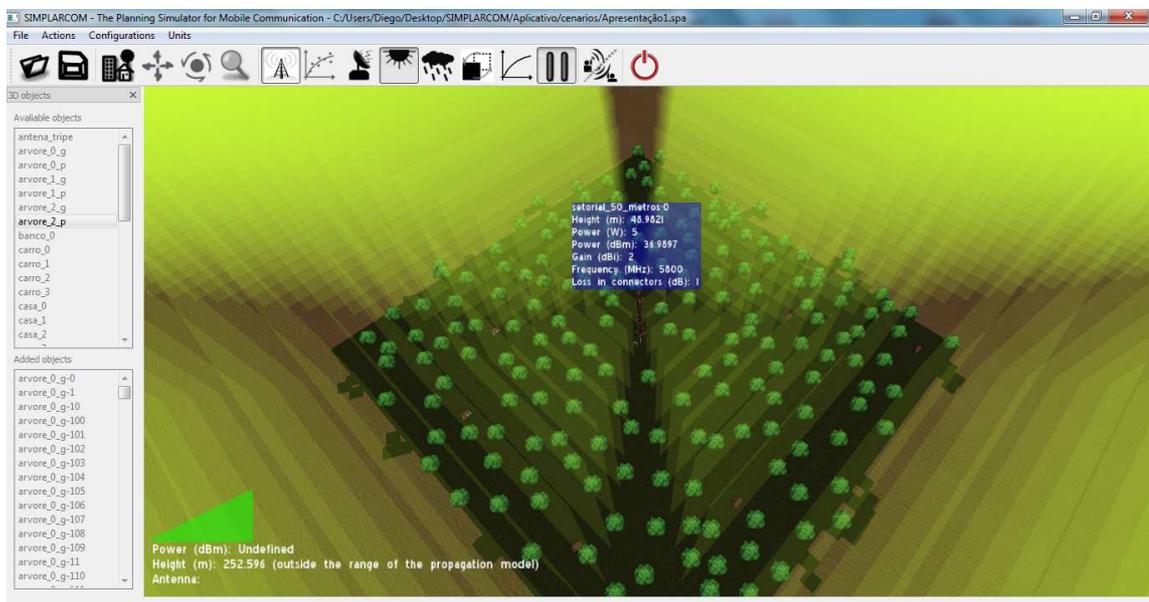


Figura 4.14 – Área de cobertura para uma abertura horizontal e vertical de  $50^\circ$

Dentro do Modo de Simulação existe um submodo integrado denominado de Modo de Planejamento. Neste modo o usuário poderá ter a visibilidade do sistema móvel celular dividido em células hexagonais contendo uma estação rádio base (ERB) em cada uma.

O simulador mostra uma visão *topdown* (ou 2D) do cenário estudado, no qual é possível identificar a posição de cada ERB com sua respectiva região de cobertura e a distância de máxima radiação desta antena.

É permitido ao usuário configurar as antenas transmissoras e receptoras, alterar o modelo de propagação, adicionar ou remover antenas, assim como reposicionar as antenas ao longo do ambiente para obter a melhor área de cobertura possível.

Como exemplo, foi criado um cenário para simbolizar o processo de planejamento da região de cobertura no SIMPLARCOM mostrado nas figuras Figura 4.15 e Figura 4.16, onde a primeira representa um cenário contendo duas ERB's com suas respectivas áreas de cobertura, e a segunda figura apresenta o mesmo cenário porém com uma única ERB realizando a cobertura.

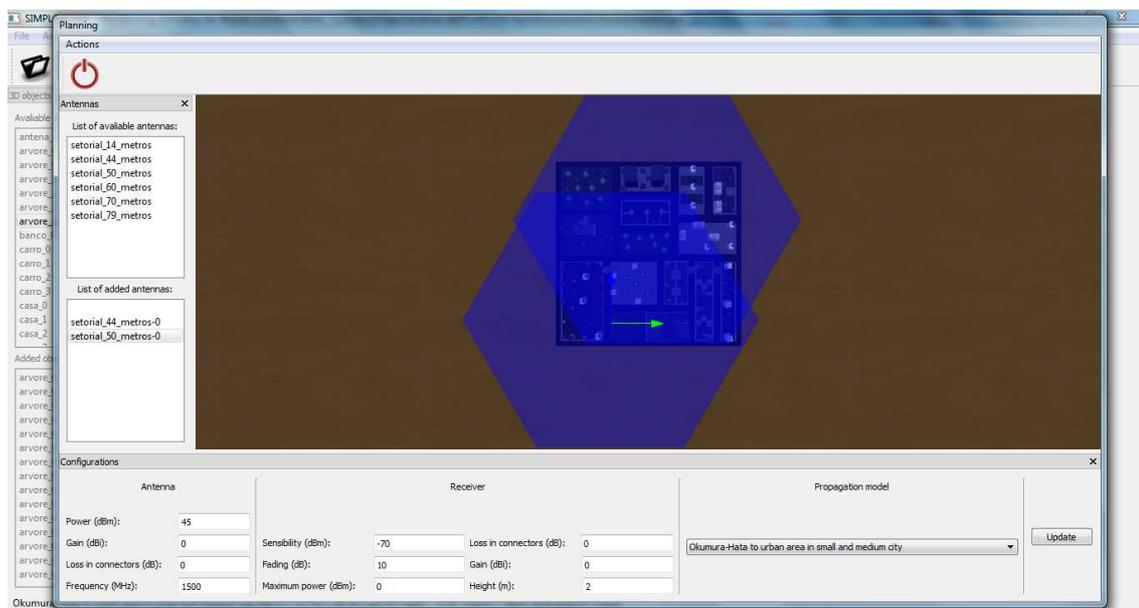


Figura 4.15 – Exemplo do Modo de Planejamento com duas ERB's

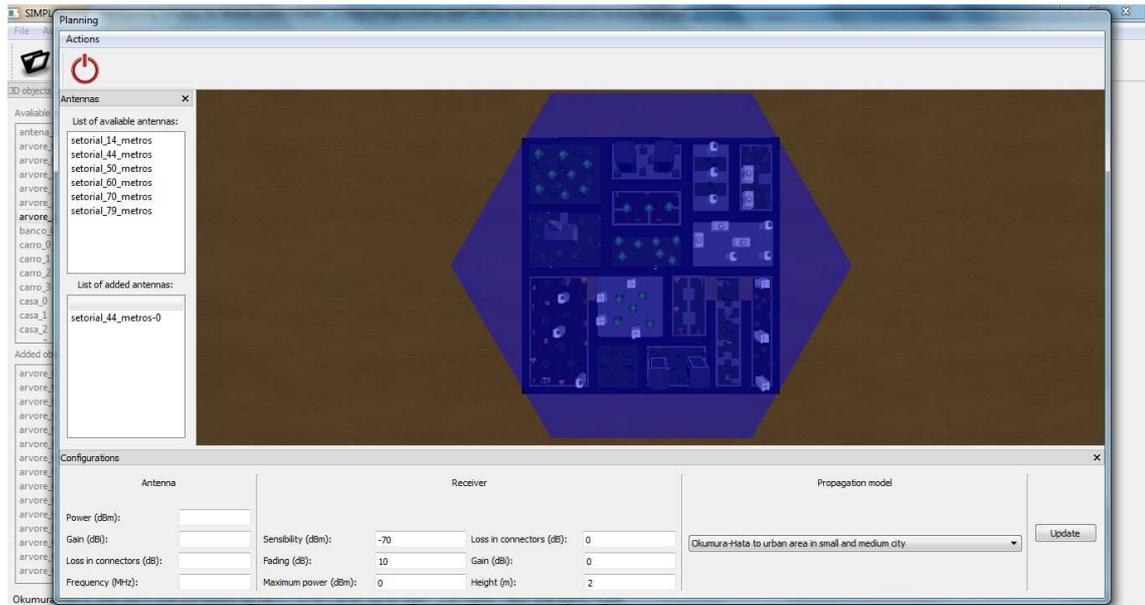


Figura 4.16 – Exemplo do Modo de Planejamento com uma ERB

Neste modo é realizado o cálculo do enlace *Link Power Budget*, nível de sinal recebido, potência efetivamente irradiada, potência mínima recebida e da perda máxima admissível, equações estas exibidas em Equação 4.1, Equação 4.2, Equação 4.3, Equação 4.4 e Equação 4.5, respectivamente.

$$RSL = ERP - L$$

Equação 4.1 – Cálculo do enlace *Link Power Budget*

$$ERP = P_t - L_t + G_t$$

Equação 4.2 – Potência efetivamente irradiada

$$RSL = P_r + L_r - G_r$$

Equação 4.3 – Nível do sinal recebido

$$P_{r_{min}} = RS + M_D$$

Equação 4.4 – Potência mínima recebida

$$L_{max} = P_t + G_t + G_r - L_t - L_r - P_{r_{min}}$$

Equação 4.5 – Perda máxima admissível

Onde:

- *RSL*: Nível de sinal recebido, em dBm;
- *ERP*: Potência efetivamente irradiada, em dBm;

- $L$ : Perda de propagação, em dB;
- $P_r$ : Potência recebida por canal, em dBm;
- $L_r$ : Perda nos cabos e conectores na recepção, em dB;
- $G_r$ : Ganho da antena receptora, em dBi;
- $P_t$ : Potência transmitida por canal, em dBm;
- $L_t$ : Perda nos cabos e conectores na transmissão, em dB;
- $G_t$ : Ganho da antena transmissora, em dBi;
- $P_{r_{min}}$ : Potência mínima recebida, dBm;
- $RS$ : Sensibilidade do receptor, em dBm;
- $M_D$ : Margem de desvanecimento, em dB;
- $L_{max}$ : Perda máxima admissível, em dB;

A região de cobertura é exibida na forma de uma célula hexagonal, com o raio equivalente medido em quilômetros (km) para os modelos do Okumura-Hata e em metros (m) para o modelo Lyra-Castro-UFGA. Estes raios são calculados, para cada modelo e convertidos para metros, segundo as equações: Equação 3.11, Equação 3.12, Equação 3.13, Equação 3.14, Equação 3.15 e Equação 3.16.

#### 4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou algumas documentações do SIMPLARCOM a nível de *software*. Primeiramente foi exibido a arquitetura do SIMPLARCOM, contendo a forma de relação entre seus componentes e os descrevendo. Na sequência foram definidos os Casos de Uso para o usuário visualizar quais ações ele pode realizar no simulador. Ao final, os modos de operação do SIMPLARCOM foram apresentados, onde suas funcionalidades foram empregadas e exemplificadas.

Desta forma, é possível verificar a simplicidade da configuração dos componentes do SIMPLARCOM e a eficiência no que ele se propõe a fazer e em como o usuário pode operá-lo. Com isso, foram criados cenários para demonstração dos resultados e também mostrando outras funcionalidades deste simulador, estes estão apresentados no próximo capítulo.

## 5. RESULTADOS

Foram criados dois cenários para a coleta e exibição dos resultados oferecidos pelo SIMPLARCOM, utilizando modelos de propagação diferentes e exibindo as formas de obtenção de respostas deste simulador. Também, a nível de avaliação de uso, foi elaborado um questionário sobre a eficiência/utilização do SIMPLARCOM como ferramenta de estudo e ensino.

### 5.1. EXECUÇÃO DO SIMULADOR

#### 5.1.1. CENÁRIO EXEMPLO DO MODELO OKUMURA-HATA PARA CIDADES PEQUENAS E MÉDIAS

Para o primeiro cenário de testes, uma usuária e auxiliadora no desenvolvimento do SIMPLARCOM construiu um projeto com duas antenas setoriais de 50 metros de altura e uma antena setorial de 44 metros de altura para a simulação da propagação. Este cenário está apresentado na Figura 5.1.

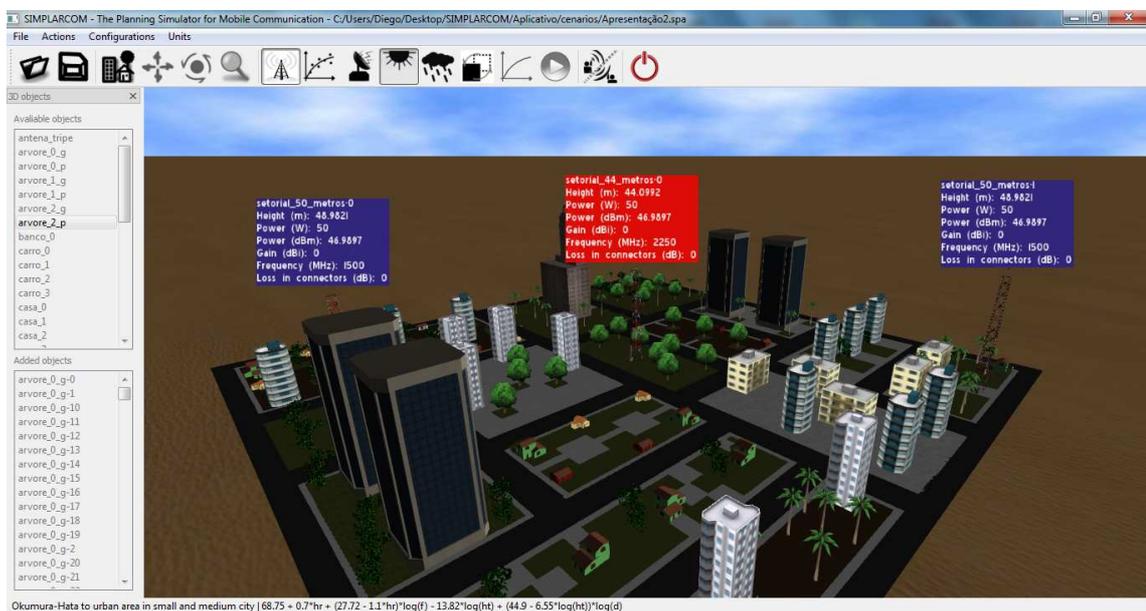


Figura 5.1 – Cenário de propagação inapropriado

Sobre cada antena contida no ambiente virtual é exibido uma caixa de texto com as informações de suas configurações. Essa caixa de texto apresenta: nome da antena, altura em metros, potência de transmissão em W e dBm, ganho em dBi, frequência em MHz e perda nos cabos e conectores em dB.

Essa caixa de texto com as informações da antena tem uma cor representativa. As caixas com a cor azul significam que as configurações da antena que está representando estão de acordo com as definições do modelo de propagação utilizado, enquanto que as de cor vermelha significam que algumas das configurações da antena não estão de acordo com as definições do modelo de propagação. Enquanto houverem caixas de texto na cor vermelha, o aplicativo não permite a execução da simulação da propagação.

Para solucionar este problema é necessário alterar as configurações da antena, como é mostrado na Figura 4.11. O modelo de propagação empregado para este cenário é o Okumura-Hata para cidades pequenas e médias, definido na Equação 3.5. Neste caso, a antena que apresenta uma configuração inadequada é a “setorial\_44\_metros\_0”. Analisando as configurações da antena e as definições do modelo de propagação, observa-se o problema está no valor da frequência da antena “setorial\_44\_metros\_0”. Corrigindo o valor antigo de 2250 MHz para o novo valor de 1500 MHz (dentro do intervalo de frequência aceitável deste modelo de propagação) o problema é solucionado, como mostra a Figura 5.2.

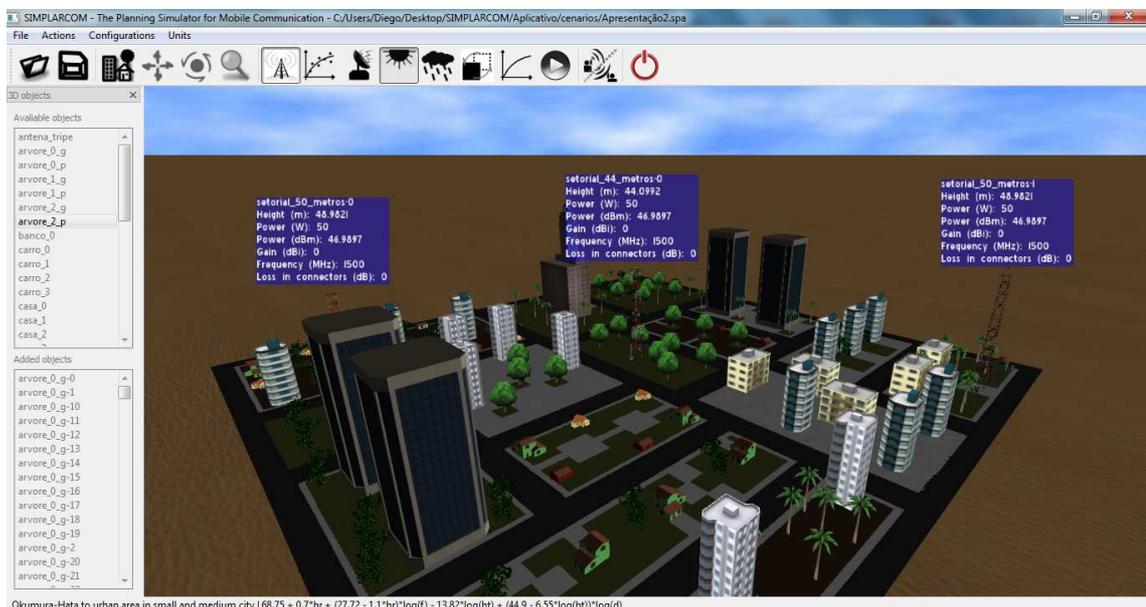


Figura 5.2 – Cenário de propagação apropriado

Para a simulação e coleta das informações, a antena receptora foi configurada com os seguintes valores para os testes:

- Potência mínima de -90 dBm (Sensibilidade do receptor de -100 dBm e Margem para desvanecimento de 10 dB);

- Potência máxima de 0 dBm;
- Ganho de 2 dBi;
- Perda nos cabos e conectores de 0 dB;

Ao ativar a execução da simulação será exibido na tela do monitor do computador um medidor de intensidade de sinal recebido. Esse medidor apresenta uma área triangular para indicar a intensidade do sinal, a da potência recebida em dBm naquele ponto do observador, altura atual em metros em relação ao solo, e a antena na qual está conectado, como pode ser observado na Figura 5.3.

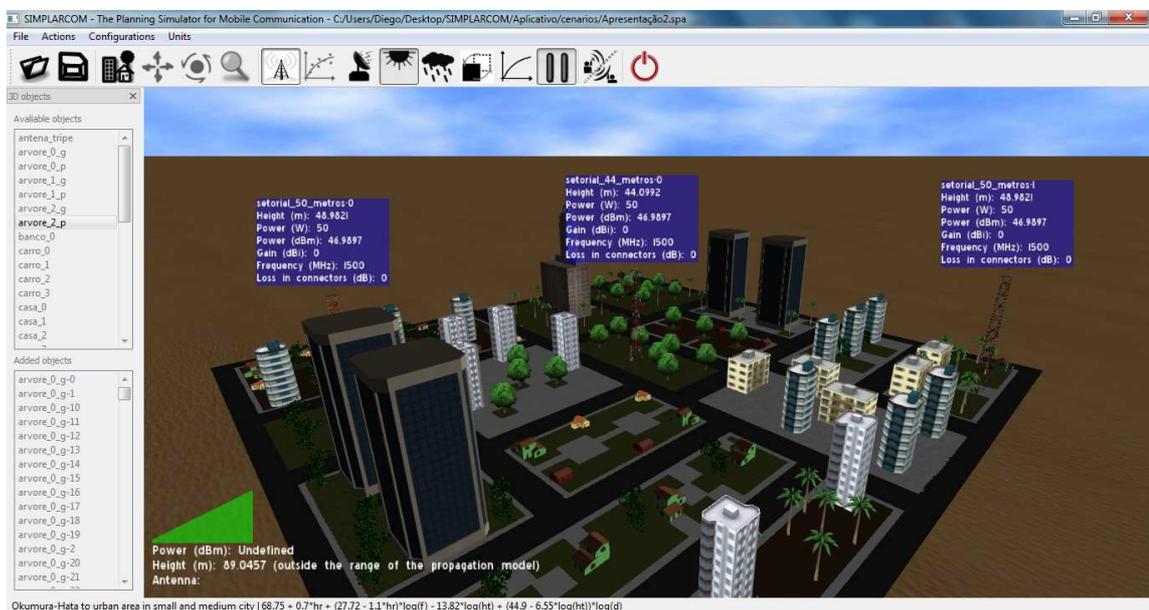


Figura 5.3 – Início da simulação e informações no receptor

Se a altura do receptor não estiver dentro da definida no modelo de propagação, as informações indicam que a potência recebida é indefinida, a altura atual é exibida e é mostrado que o receptor não está recebendo sinal da(s) antena(s).

Se o receptor estiver dentro da faixa de altura definida pelo modelo de propagação, é verificada a potência recebida naquele ponto. Como mostrado na Figura 5.4, é possível que a intensidade de sinal recebido esteja abaixo do mínimo definido nas configurações do receptor.

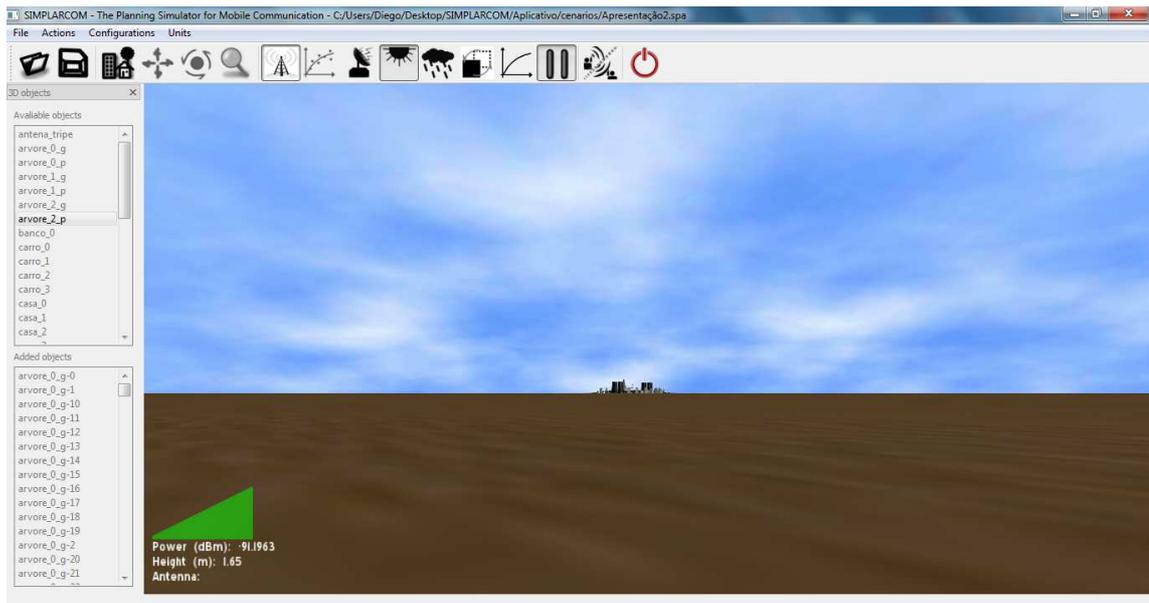


Figura 5.4 – Receptor sem a intensidade mínima de potência de sinal

Estando o receptor dentro da faixa de altura definida pelo modelo de propagação e tendo uma intensidade de sinal recebido maior ou igual a mínima estabelecida nas configurações do receptor, o medidor de intensidade de sinal será ajustando e serão exibidos a potência em dBm, a altura em m, a antena na qual o receptor está conectado e uma notificação de que o receptor entrou na área de cobertura de uma antena. Isso pode ser observado na Figura 5.5.



Figura 5.5 – Notificação de que o usuário entrou na área de cobertura

Também é considerado a ocorrência do efeito de *handoff*, ou seja, quando o receptor que está em deslocamento acaba saindo da área de cobertura de uma

estação rádio base (ERB) e acaba entrando na área de cobertura de uma estação adjacente. Essa notificação de *handoff* é mostrada na Figura 5.6.



Figura 5.6 – Notificação de *handoff*

### 5.1.2. CENÁRIO EXEMPLO DO MODELO Lyra-Castro-UFPA

O segundo cenário de teste criado representa um ambiente arborizado, característicos da região amazônica, onde utilizou-se o modelo de propagação Lyra-Castro-UFPA, definido na Equação 3.10, definido pela seguinte expressão.

$$L = 42.5 - 22784.226808 * \frac{h_t + h_r}{h_o * f} + 14.2 * \log(f) + 16.5 * \log(d)$$

Para a simulação foi selecionado a opção de clima chuvoso, porém o efeito da chuva, até o momento no SIMPLARCOM, influencia somente no aspecto visual, pois ainda não está inserida a equação representativa da atenuação do sinal para este efeito climático. Os resultados são apresentados na Figura 5.7, Figura 5.8, Figura 5.9, e um exemplo da plotagem de gráficos de Perda x Distância e Potência x Distância está na Figura 5.10.

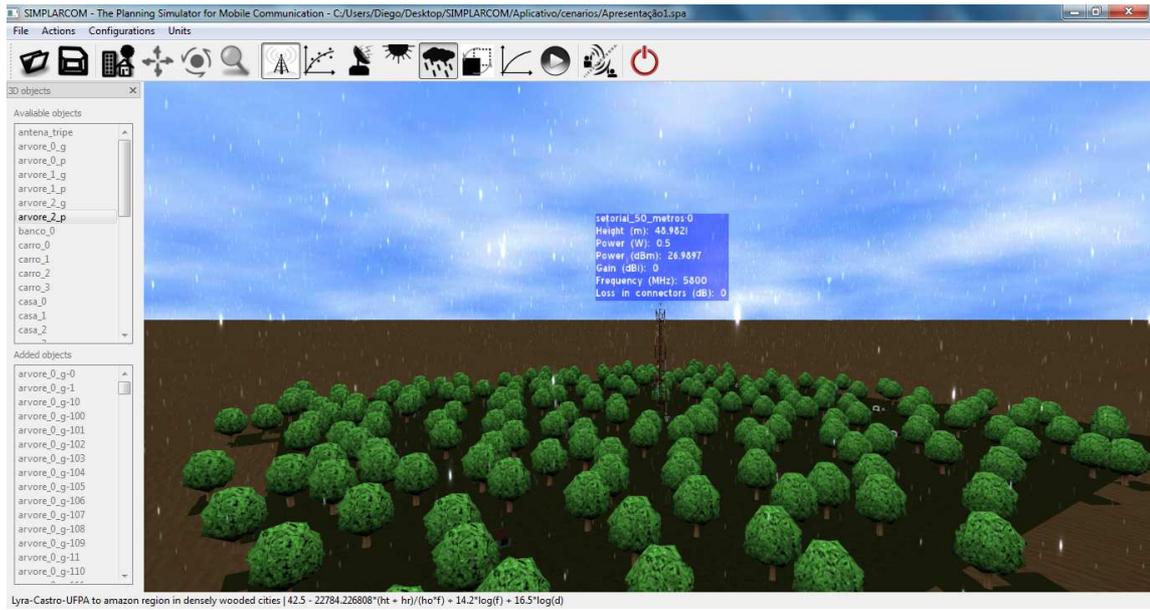


Figura 5.7 – Cenário de ambiente arborizado



Figura 5.8 – Simulação do modelo Lyra-Castro-UFPA

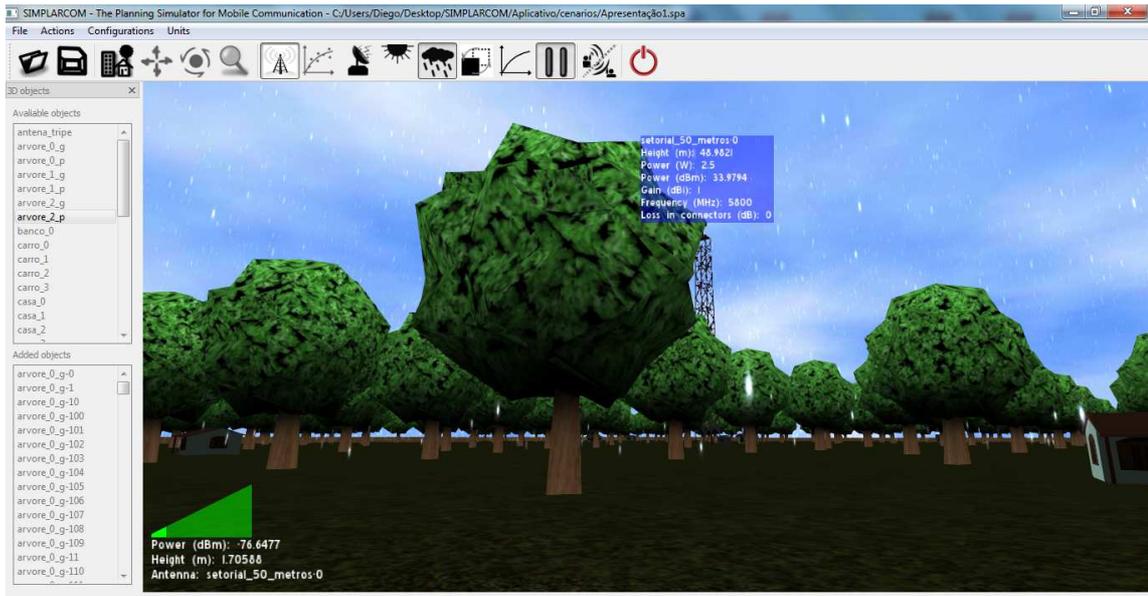


Figura 5.9 – Obstrução na simulação do modelo Lyra-Castro-UFPA

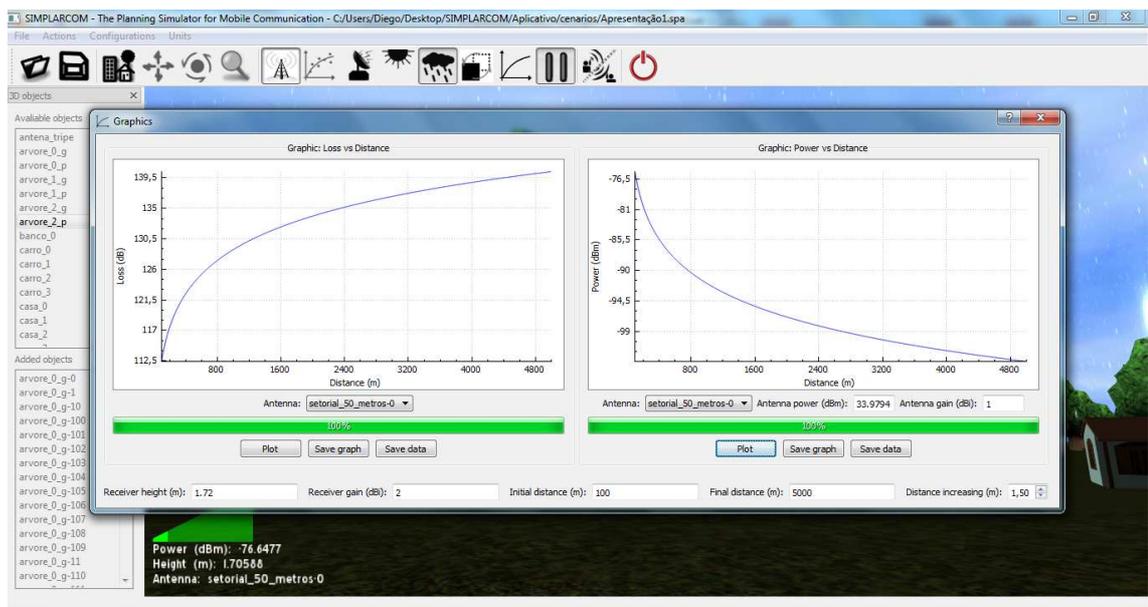


Figura 5.10 – Plotagem dos gráficos

## 5.2. AVALIAÇÃO DIDÁTICA

Para validação da ferramenta enquanto *software* didático para auxílio no ensino em engenharias (computação, elétrica, telecomunicações, etc.) e áreas afins, foram realizadas duas apresentações para demonstração/ensino do manuseio da ferramenta. Essas avaliações tiveram como foco principal uma demonstração visual da teoria estudada, utilizando este simulador, pelos alunos.

A primeira apresentação foi realizada no Instituto de Estudos Superiores da Amazônia (IESAM) para a turma do 10º semestre, ou 5º ano, do curso de Engenharia de Telecomunicações, e a segunda apresentação ocorreu na

Universidade Federal do Pará (UFPA) para a turma do 3º semestre, ou 2º ano, do curso de Engenharia de Telecomunicações. No total, 23 alunos participaram desta avaliação, sendo 15 alunos do IESAM e 8 da UFPA. Na Figura 5.11 está o gráfico contendo os resultados das avaliações que os alunos responderam.

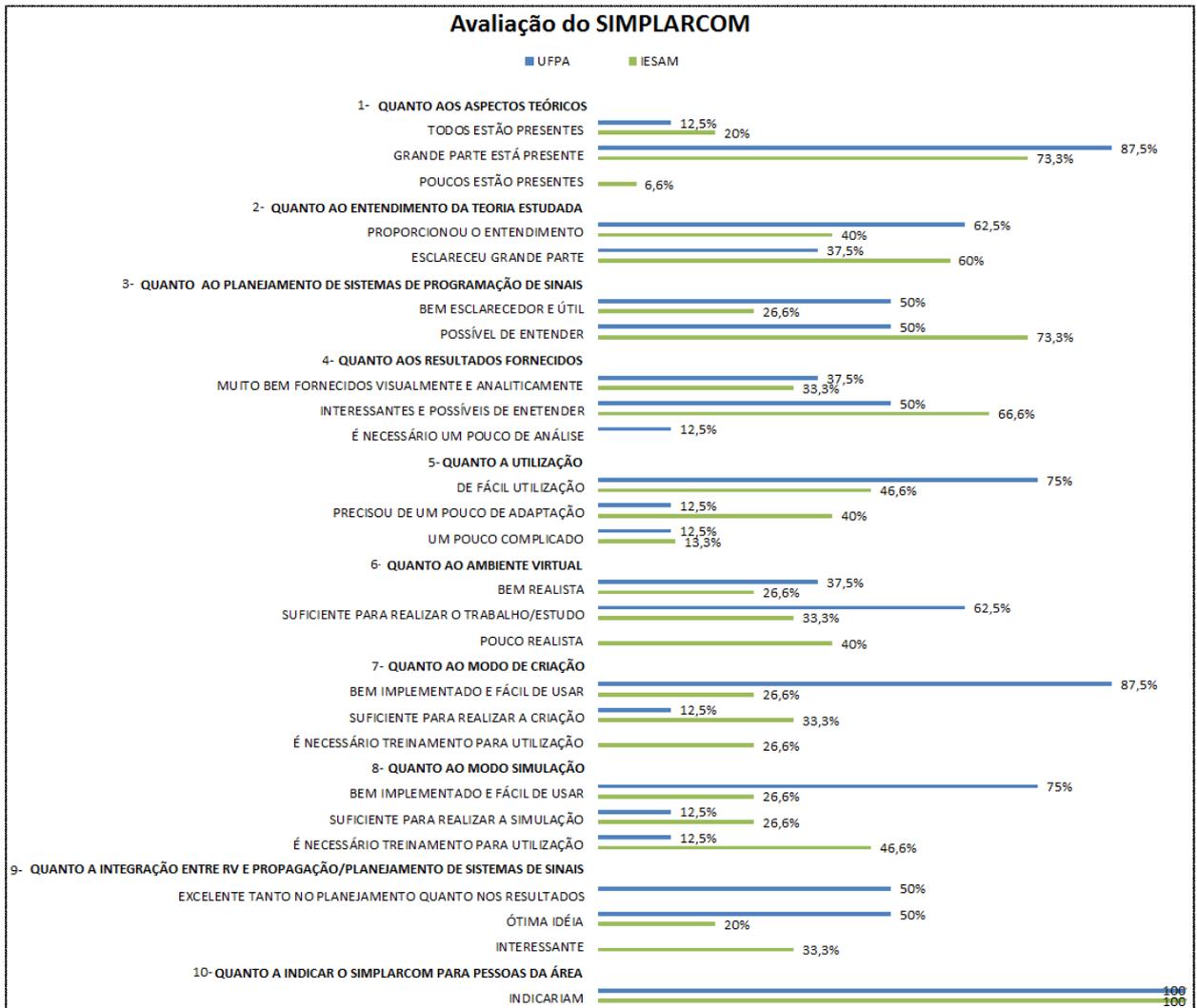


Figura 5.11 – Resultado da avaliação didática do SIMPLARCOM

O questionário respondido pelos alunos (Anexo I) era composto por dez perguntas referentes ao ambiente de RV, a teoria estudada, a junção destas duas áreas e ao emprego do SIMPLARCOM. Ficou bastante destacado o interesse despertado pelos usuários durante as demonstrações do simulador, o que tornou bastante produtivo o processo de avaliação, pois além de serem feitas sugestões de forma verbal e escrita apontando possíveis melhorias e expansões para o sistema, houveram vários elogios e ótimas respostas para os quesitos avaliados no trabalho

desenvolvido, gerando grande expectativa para nas novas versões do SIMPLARCOM.

É importante resaltar que durante estas demonstrações, o Modo de Planejamento ainda não estava funcional, portanto este modo de operação não foi avaliado pelos alunos do IESAM e nem pelos alunos da UFPA.

### 5.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A demonstração da utilização do SIMPLARCOM foi apresentada neste capítulo através de dois projetos criados neste simulador, onde dados do processo da simulação são coletados e exibidos de diversas formas. Cada uma das simulações dos projetos de testes do SIMPLARCOM foi executada com dois modelos de propagação distintos, sendo que é possível selecionar o modelo mais adequado para realizar a simulação em um determinado cenário. Também é possível configurar parâmetros das antenas, navegar pelo cenário na perspectiva de um receptor de sinal, além de outras funcionalidades, tudo em tempo real e mantendo a interatividade.

Todas essas características se mostraram bem interessantes aos usuários presentes nas demonstrações/ensino da utilização do SIMPLARCOM, onde, através de um questionário avaliativo, os usuários forneceram ótimas respostas (além do interesse) ao contato com o aplicativo, e a partir do resultado da avaliação apresentado neste capítulo, é possível identificar a versatilidade e boas perspectivas de emprego deste simulador.

## 6. CONCLUSÃO

---

O Simulador para Planejamento de Comunicações Móveis (SIMPLARCOM) está se mostrando eficiente e possivelmente de grande utilidade para o estudo e planejamento de sistemas de rádio propagação, pois permite aos usuários a criação de cenários, configuração de parâmetros de radiopropagação, simulação de propagação, coleta de dados e planejamento de sistemas móveis, com todas estas características acopladas a um ambiente de Realidade Virtual.

Os resultados fornecidos pelos SIMPLARCOM estão como o esperado e dentro dos intervalos de valores aceitáveis para planejamento de sistemas de redes sem fio, ou seja, os resultados são considerados fiéis ao seu equivalente em um ambiente real. Por essas razões, os avaliadores que testaram o SIMPLARCOM, tanto usuários com algum nível de experiência quanto usuários iniciantes em sistemas de comunicação via rádio, forneceram ótimas classificações para as características do simulador e o que este se propõe a fazer, como pode ser observado no questionário respondido pelos alunos, onde o SIMPLARCOM teve uma avaliação bastante positiva, quanto *software* didático, para os quesitos avaliados, mostrando grande interesse pelos usuários no seu emprego e criando expectativas para as novas versões.

O SIMPLARCOM encontra-se na versão 0.999 com os dois modos de operação funcionais, já foi publicado no XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (PINHEIRO *et al.*, 2013), foi submetido para avaliação na revista de cunho educacional IEEE Education (IEEE Education, 2014) onde os revisores solicitaram ajustes para ser novamente avaliado, e também um artigo sobre este simulador foi enviado para o jornal JCN (JCN, 2014) cujo foco são trabalhos que envolvem sistemas de comunicação, redes, etc.

Para a versão 1.1 planeja-se melhorar o realismo do ambiente virtual, conforme está solicitado no resultado das avaliações, aprimorar o Modo de Planejamento para que sejam desenvolvidos artigos focados nesse modo de operação e submeter para avaliação em jornais e revistas, como o JMO (JMO, 2014), e otimizar a geração da área de cobertura 3D no ambiente virtual que será criada em tempo de execução da simulação, apresentar forma elíptica como descrito na literatura e inclusão de escala de cores de acordo com a intensidade do sinal.

Além dessas inclusões citadas anteriormente, estuda-se adicionar para novas versões outros modelos de propagação *outdoor* (regiões abertas) e *indoor* (regiões fechadas), implementação de uma técnica mais sofisticada em radioenlace chamada *Ray Tracing*, além de outras adições, para tornar o SIMPLARCOM cada vez mais completo e útil de ser empregado tanto para estudo, quanto para planejamento, quanto para o aprendizado.

## REFERÊNCIAS

---

ANOMALOUS, Anomalous. Disponível em: <http://www.anomalousmedical.com/>. Acesso em 12 de Dezembro de 2013.

BARATA, P. N. A. **Projeto e implementação de um Sistema de Autoria para animações, simulações e treinamento em Realidade Virtual**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, PA, 2010.

CASTRO, B. S. L. **Modelo de propagação para redes sem fio fixas na banda de 5.8 GHz em cidades típicas da região amazônica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, PA, 2010.

DEITEL, H. M. **C++ Como Programar**. 6ª edição, ed. [S.1.]: Prentice Hall, 2006.

IEEE Education, IEEE Education Society. Disponível em: <http://www.ewh.ieee.org/soc/es/>. Acesso em 12 de Março de 2014.

JCN, Journal of Communications and Networks. Disponível em: <http://www.jcn.or.kr/home/journal/>. Acesso em 12 de Março de 2014.

JMO, Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications. Disponível em: <http://www.jmoe.org/site-home>. Acesso em 12 de Março de 2014.

JUNKER, G. **Pro OGRE 3D Programming**. New York, USA: Apress, 2006.

LVR, Laboratório Virtual de Redes. Disponível em: <http://cassio.orgfree.com/lvr/>. Acesso em 13 de Dezembro de 2013.

KIRNER, C.; TORI, R. **Realidade Virtual: Conceitos e Tendências**. VII Symposium on Virtual Reality (SVR 2004), São Paulo, SP, 2004.

MACHADO, V. F.; OLIVEIRA, A. J. G.; GUIMARÃES, M. P. **Implementação de um laboratório de realidade virtual de baixo custo: estudo de caso de montagem de um laboratório para o ensino de matemática.** Revista Brasileira de Computação Aplicada, Passo Fundo, RS, 2013.

MACHADO, V. A.; SILVA, C. N.; SILVA, R. J. M.; CASTRO, B. S. L.; GOMES, I. R.; FRANCÊS, C. R. L.; CAVALCANTE, G. P. S.; COSTA, J. C. W. A. **Cross Layer Model to Predict Performance Parameters on OFDM-Based Wireless Networks.** Microwave & Optoelectronics Conference (IMOC). Natal, 2011.

MATLAB, MATLAB – Matrix Laboratory. Disponível em: <http://www.mathworks.com/>. Acesso em 13 de Dezembro de 2013.

NEGRÃO, N. M. **Swlmax: Um simulador em Realidade Virtual para auxiliar o ensino do padrão WiMAX.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, PA, 2012.

OGRE, Ogre3D - Object-Oriented Graphics Rendering Engine. Disponível em: <http://www.ogre3d.org/>. Acesso em 12 de Dezembro de 2013.

PINHEIRO, D. C.; COSTA, A. B.; CASTRO, B. S. L.; GUERREIRO, C. S.; RIBEIRO, J. L. O.; CAVALCANTE, G. P. S.; FILHO, M. R.; **Ferramenta de Modelagem de Propagação para Auxiliar no Projeto de Redes de Comunicações Sem Fio.** COBENGE, Gramado, RS, 2013.

QT, Qt. Disponível em: <http://qt-project.org/>. Acesso em 12 de Dezembro 2013.

SAMPAIO, A. Z.; MARTINS, O. P. **The application of virtual reality technology in the construction of the bridge: The cantilever and incremental launching methods.** ELSIVIER, 2013.

SAUNDERS, S. R.; ZAVALA, A. A. **Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems.** 2ª edição, John & Sons, 2007.

SWIMAX, Swlmax. Disponível em: <http://www.guest3d.com.br/swimax/>. Acesso em 5 de Fevereiro de 2013.

TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOUTO, R. **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. VIII Symposium on Virtual Reality (SVR 2006), Belém, PA, 2006.

TORCHLIGHT, Torchlight. Disponível em <http://www.torchlightgame.com/>. Acesso em 12 de Dezembro de 2013.

UNITY3D, Unity3D. Disponível em: <http://unity3d.com/>. Acesso em 13 de Dezembro de 2013.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO

---

1. Os aspectos teóricos de propagação do sinal de antenas estão presentes no SIMPLARCOM?
  - a) Sim, todos
  - b) Grande parte
  - c) Poucos
  - d) Nenhum
  
2. O SIMPLARCOM proporcionou um maior entendimento da teoria estudada em uma aplicação prática dentro de um ambiente de simulação virtual?
  - a) Sim, proporciona o entendimento
  - b) Esclareceu grande parte
  - c) Poucas coisas foram entendidas
  - d) Nenhum entendimento
  
3. O planejamento de sistemas de propagação de sinais com o SIMPLARCOM foi?
  - a) Bem esclarecedor e útil
  - b) Possível de entender
  - c) Um pouco complicado
  - d) Difícil de entender
  
4. Os resultados fornecidos pelos SIMPLARCOM foram?
  - a) Muito bem fornecidos tanto visualmente quanto analiticamente
  - b) Interessantes e possíveis de entender
  - c) É necessário um pouco de análise
  - d) Complicados de entender
  
5. A utilização do SIMPLARCOM foi?
  - a) De fácil utilização
  - b) Necessitou de pouca adaptação
  - c) Um pouco complicado
  - d) Difícil

6. O realismo do ambiente virtual do SIMPLARCOM para o que este se propõe a fazer está?
- a) Bem realista
  - b) Suficientemente realista
  - c) Pouco realista
  - d) Nada realista
7. O modo de criação de cenário do SIMPLARCOM está?
- a) Bem implementado e fácil de usar
  - b) Suficiente para criação do cenário
  - c) É necessário algum treinamento para utilizar
  - d) Ruim
8. O modo de simulação do SIMPLARCOM está?
- a) Bem implementado e fácil de usar
  - b) Suficiente para a simulação
  - c) É necessário algum treinamento para utilizar
  - d) Ruim
9. A integração entre Realidade Virtual e Propagação/Planejamento de sistemas de sinais de rádio foi?
- a) Excelente tanto no planejamento quanto nos resultados
  - b) Ótima ideia
  - c) Interessante
  - d) Boa
10. Você indicaria o SIMPLARCOM para algum interessado da área utilizar?
- a) Sim
  - b) Não