



FERRAMENTA DE MODELAGEM DE PROPAGAÇÃO PARA AUXILIAR NO PROJETO DE REDES DE COMUNICAÇÕES SEM FIO

Diego Carneiro Pinheiro – diego.cpinheiro@outlook.com

Universidade Federal do Pará

Rua Augusto Corrêa, 01

66075-110 – Belém - Pará

Allan Barbosa Costa – allancosta@ufpa.br

Universidade Federal do Pará

Rua Augusto Corrêa, 01

66075-110 – Belém - Pará

Bruno Souza Lyra Castro – bruno@ufpa.br

Universidade Federal do Pará

Rua Augusto Corrêa, 01

66075-110 – Belém – Pará

Charllene de Sousa Guerreiro – roberta.sousa.guerreiro@gmail.com

Universidade Federal do Pará

Rua Augusto Corrêa, 01

66075-110 – Belém – Pará

Jefferson Luis Oliveira Ribeiro – jeffersonluiseng@gmail.com

Universidade Federal do Pará

Rua Augusto Corrêa, 01

66075-110 – Belém – Pará

Gervásio Protásio dos Santos Cavalcante – gervasio@ufpa.br

Universidade Federal do Pará

Rua Augusto Corrêa, 01

66075-110 – Belém - Pará

Manoel Ribeiro Filho – mrf@ufpa.br

Universidade Federal do Pará

Rua Augusto Corrêa, 01

66075-110 – Belém - Pará

Resumo: *Este artigo apresenta um simulador para planejamento de Redes de Comunicações sem Fio para auxílio no ensino de disciplinas de Redes Móveis em sistemas de Telecomunicações. Usando as técnicas de realidade virtual são criados os cenários arbitrários como cidades, ambientes rurais e arborizados que associados as equações matemáticas de modelos de propagação simulam o comportamento do sinal no cenário que pode conter ainda prédios, casas, carros, árvores, etc. São considerados no simulador o tipo de antenas com seus ganhos respectivos, sua polarização e diferentes alturas, a frequência de operação do sistema, a potência do transmissor e os equivalentes parâmetros na unidade móvel. Foram criados dois cenários para execução da simulação utilizando alguns dos modelos de propagação definidos na literatura. Desta forma, tem-se a visualização tridimensional da área de cobertura, intensidade do sinal recebido em determinada região do cenário, área de sombra, entre outros, no ambiente de realidade virtual.*



Palavras-chave: Radiopropagação, Antenas, Simulador tridimensional, Realidade virtual

1. INTRODUÇÃO

O Simulador para Planejamento de Redes de Comunicação Móveis (SIMPLARCOM) é um sistema que utiliza técnicas de Realidade Virtual (RV) para proporcionar a análise do rádio enlace em sistemas de comunicações móveis em um cenário pré-definido ou criado pelo usuário.

Esta simulação tem como base os modelos empíricos de propagação de ondas de rádio. As equações desses modelos descrevem o decaimento da potência do sinal, ao longo do seu percurso no espaço considerando os parâmetros de rádio e o cenário envolvido. Alguns dos modelos clássicos de propagação do sinal como o Okumura-Hata e COST 231-Hata utilizados nesse trabalho podem ser encontrados em (CASTRO, 2010), assim como outros modelos elaborados mais recentemente em (MACHADO *et al.*, 2011) e também outros específicos para a região amazônica (NASCIMENTO *et al.*, 2012).

Alguns dos modelos de propagação clássicos citados anteriormente, como o Okumura-Hata, apresentam equações específicas para ambientes distintos como: urbano, suburbano e aberto (CASTRO, 2010).

Considerando o fato do ambiente influenciar diretamente na propagação do sinal (e indiretamente na seleção do modelo de propagação mais adequado), o sistema apresenta dois modos de operação: criação do cenário e simulação. No modo de criação é permitido ao usuário a edição de um ambiente que pode conter diversos objetos como árvores, prédios, casas, carros, asfalto, grama, além de torres de diferentes alturas (em metros) onde ficarão as antenas setoriais. Estes objetos podem ser adicionados, removidos, transladados e rotacionados no ambiente virtual conforme a necessidade do usuário para criação do cenário.

No modo de simulação é possível a configuração dos parâmetros do transmissor: potência (em W), frequência (em MHz), tipo de antenas com seus ganhos (em dBi) e polarização. Pode-se também selecionar o modelo de propagação a ser empregado durante a execução da simulação, as potências máxima e mínima (em dBm) aceitáveis para o receptor e a opção de clima ensolarado ou chuvoso.

Com os parâmetros editados, e caso todos estes estejam de acordo com as definições do modelo de propagação selecionado, o aplicativo permite que o usuário execute a simulação da propagação do sinal no ambiente considerado. Como resultado da simulação são mostrados os principais parâmetros de interesse no planejamento do sistema como, por exemplo: a área de cobertura do enlace; a intensidade do sinal recebido em determinado ponto do cenário; notificações de *handoff* quando ocorrerem e também a plotagem de gráficos de Potência x Distancia e Perda x Distancia considerando uma Estação Rádio Base de referencia.

O restante deste trabalho está dividido da seguinte forma: na seção 2 são descritos os trabalhos correlatos comparados ao SIMPLARCOM. Na seção 3 está descrito todo o desenvolvimento do projeto do simulador. A seção 4 contém os resultados obtidos no projeto e na seção 5 são discutidas as conclusões e propostas de trabalhos futuros.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

Os estudos em desenvolvimento que tratam da radiopropagação em sistemas móveis e seus respectivos modelos matemáticos basicamente são gerados e analisados (após a coleta



dos dados em um ambiente real) através da ferramenta (MATLAB, 2013). Esta é uma ferramenta que tem se mostrado útil para processamento, exibição e análise dos dados, onde todas as operações realizadas são de forma matricial. Os resultados podem ser exibidos na forma numérica ou gráfica.

As referências (CASTRO, 2010), (MACHADO *et al.*, 2011a) e (MACHADO *et al.*, 2011) tem seus resultados obtidos e avaliados com o software (MATLAB, 2013b), e em (VIBERG *et al.*, 2008) é abordado o emprego de um dos componentes do (MATLAB, 2013), o (SIMULINK, 2013), exibindo de forma melhor ao usuário os recursos disponíveis da ferramenta computacional, do cenário em trabalho e das antenas, gerando resultados gráficos após simulação. Contudo, apesar de todos os recursos oferecidos pelo (MATLAB, 2013), é necessário que seu interpretador esteja instalado nos computadores onde se pretende realizar a simulação, além de não se ter uma visualização tridimensional (3D) contendo propagação e cenário. O SIMPLARCOM é um executável compilado, ou seja, não necessita de um interpretador e seus resultados incorporam a visualização 3D de propagação de sinal no cenário.

Tendo como um dos objetivos a junção de simulação de propagação e ambiente 3D, foi desenvolvido o trabalho intitulado SWIMAX (NEGRÃO, 2012). Este foi desenvolvido na ferramenta (UNITY3D, 2013) gerando um ambiente virtual e interativo disponível na Internet (GUEST3D-SWIMAX, 2013), que tem o propósito de auxiliar no ensino do padrão de comunicação sem fio WiMAX.

Analisando o aspecto principal deste trabalho proposto, 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, 2013), necessita-se somente de uma conexão com a Internet e um *browser* para sua execução. Porém os resultados deste aplicativo não são totalmente fiéis a um ambiente de simulação, e também não trabalham com modelos de propagação para geração da simulação, o que influencia negativamente no ensino/aprendizagem. Estes são alguns pontos que o SIMPLARCOM se propõe a reavaliar.

Ainda se tratando de simuladores de antenas, existe o trabalho proposto em (RAYESS *et al.*, 2006) que realiza uma simulação de rede sem fio utilizando antenas direcionais. O simulador foi desenvolvido na linguagem de programação (JAVA, 2013), portanto é multiplataforma, e tem um tratamento de mais baixo nível do processo de comunicação na simulação, desta forma trabalha com conceitos de camada de rede, detecção de colisões, retransmissão de pacotes, dentre outros assuntos para geração de resultados em forma de gráficos bidimensionais.

O SIMPLARCOM oferece, no caso, um ambiente 3D para um estudo em alto nível do processo de comunicação, através da criação (ou carregamento) de um cenário e da exibição da forma do sinal propagado neste ambiente de acordo com o modelo de propagação escolhido.

3. PROJETO DO SIMULADOR

O SIMPLARCOM foi desenvolvido em linguagem C++ utilizando a versão de código aberto do framework (QT, 2013) para o gerenciamento da interface gráfica com o usuário e a *engine* gráfica, também de código aberto, (OGRE3D, 2013) para o gerenciamento do ambiente virtual.

Como mencionado, o SIMPLARCOM apresenta dois modos de operação que podem ser alternados a qualquer momento, estes são: modo de criação de cenário e modo de simulação da propagação.

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 denominado modo de criação.

Nesse perfil o usuário tem a capacidade de inserir diversas primitivas como árvores, prédios, casas, carros, dentre outros, no local que ele preferir dentro do ambiente virtual, e também adicionar novos modelos tridimensionais ao sistema sem ser necessário alteração em código-fonte. É permitida a translação e rotação de todos os objetos 3D, e para os modelos que representam pisos é liberado para o usuário a opção de escala para facilitar a criação dos cenários.

Pode-se renomear o objeto inserido, assim como removê-lo do cenário em questão. E a qualquer momento o usuário pode salvar o ambiente que está criando para uma utilização futura. A Figura 1 mostra um exemplo do modo de criação com alguns objetos 3D inseridos.



Figura 1 – Exemplo de cenário criado

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 das antenas.

As configurações do ambiente de simulação do SIMPLARCOM utilizam as unidades comumente usadas no estudo de propagação de sinal de rádio, que são:

- Potência das antenas transmissoras e receptoras medidas em watts (W), sendo realizada a conversão para decibel com potência de referencia a um miliwatt (dBm).
- Ganho das antenas transmissoras e receptoras medidas em decibel isotrópico (dBi).
- As perdas dadas pelos modelos de propagação utilizados em decibel (dB).
- Frequência das antenas transmissoras em mega-hertz (MHz).
- Altura das antenas transmissoras e receptoras e obstruções em metros (m).
- Distancia entre antena transmissora e receptora em quilômetros (km).

Os modelos de propagação empregados até o momento no SIMPLARCOM são os do Okumuta-Hata descritos em (SAUNDERS & ZAVALA, 2007) e também o modelo Lyra-Castro-UFFA (CASTRO, 2010), desenvolvido na frequência de 5,8 GHz, que descreve a



atenuação do sinal em ambientes amazônicos caracterizados por serem densamente arborizados.

Considerando hr a altura da antena receptora, f a frequência de transmissão, ht a altura da antena transmissora, d a distância entre o receptor e o transmissor, o operador \log a função logarítmica na base 10 (dez) e ho a média das alturas das obstruções entre receptor e transmissor, o modelo Lyra-Castro-UFPA está definido na Equação (1).

$$L = 42,5 - 22784,226808(ht + hr)/(hof) + 14,2\log(f) 16,5\log(d) \quad (1)$$

Como exemplo de seleção do modelo de propagação tem-se a Figura 2, onde são exibidas também as definições de intervalo de frequência, intervalo de altura do rádio transmissor e intervalo de altura do rádio receptor.

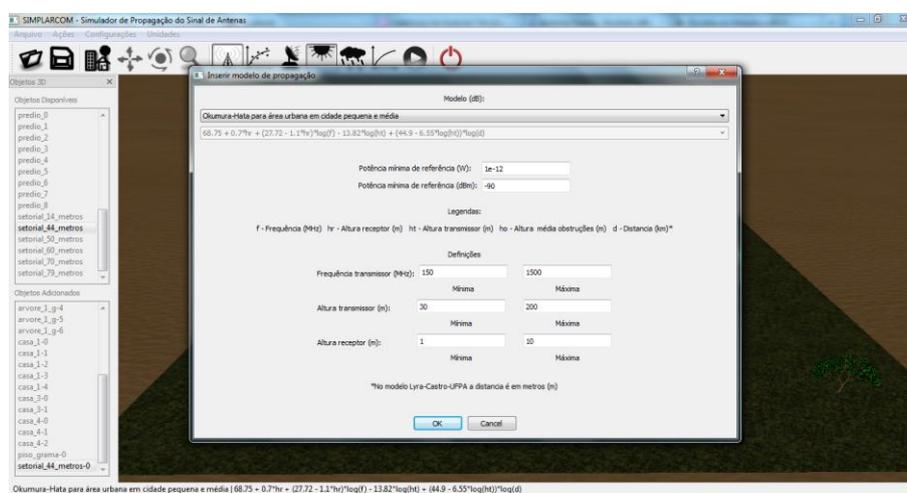


Figura 2 – Seleção do modelo de propagação

Para editar as configurações da antena é necessário efetuar um clique duplo sobre ela para ser exibida uma janela com os parâmetros desta antena, que são: potência (em W), ganho (em dBi), frequência (em MHz), número de setores, abertura horizontal (em graus) e abertura vertical (em graus). Na Figura 3 é exibida a janela de configuração dos parâmetros da antena.

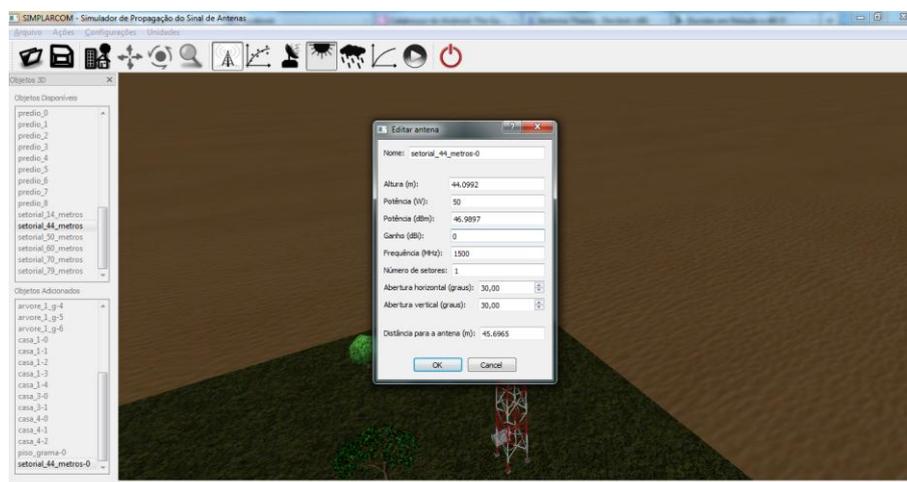
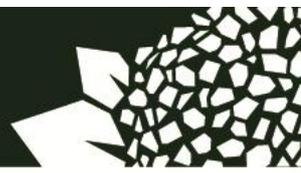


Figura 3 – Configuração dos parâmetros da antena transmissora



Prosseguindo, pode-se também editar atributos da antena receptora de sinal. Atributos estes que são: potência mínima de recepção (em W), potência máxima de recepção (em W) e ganho do receptor (em dBi). A configuração desses atributos está exemplificada na Figura 4. Desta forma, pode-se calcular a intensidade do sinal recebido, em dBm, de acordo com a Equação (2).

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L \quad (2)$$

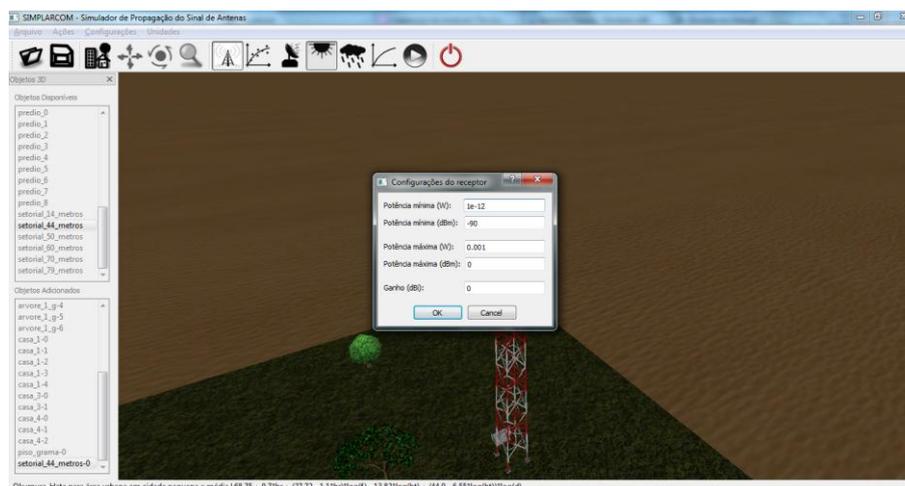


Figura 4 – Configuração dos parâmetros da antena receptora

Com: P_r representando a potência recebida em dBm, P_t a potência de transmissão da antena em dBm, G_t o ganho da antena transmissora em dBi, G_r o ganho do receptor em dBi, e L representando a perda de acordo com o modelo de propagação selecionado.

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 e coleta dos dados.

4. RESULTADOS

Os resultados foram obtidos através de dois cenários. O primeiro contendo três antenas setoriais de 60 metros de altura e duas antenas setoriais de 70 metros de altura para simulação da propagação. Este cenário está apresentado na Figura 5.

Sobre cada antena contida no ambiente virtual está sendo exibido em uma caixa de texto as informações de suas configurações. Essa caixa de texto apresenta: nome da antena, altura em metros, potência de transmissão em Watt e dBm, ganho em dBi e frequência em MHz, e possui cor representativa: azul significa que as configurações da antena que está representando está de acordo com as definições do modelo de propagação utilizado, enquanto que as de cor vermelha significa que algumas das configurações da antena não estão de acordo. Enquanto houver caixas de texto com a cor vermelha, o sistema não permite a execução da simulação da propagação.

Para solucionar este problema é necessário alterar as configurações da antena como mostrado na Figura 3. O modelo de propagação empregado é o Okumura-Hata para cidades pequenas e médias. Analisando as configurações da antena e as definições do modelo de



propagação, observa-se que apenas ajustando o valor da frequência da antena o problema é solucionado, como mostra a Figura 6.

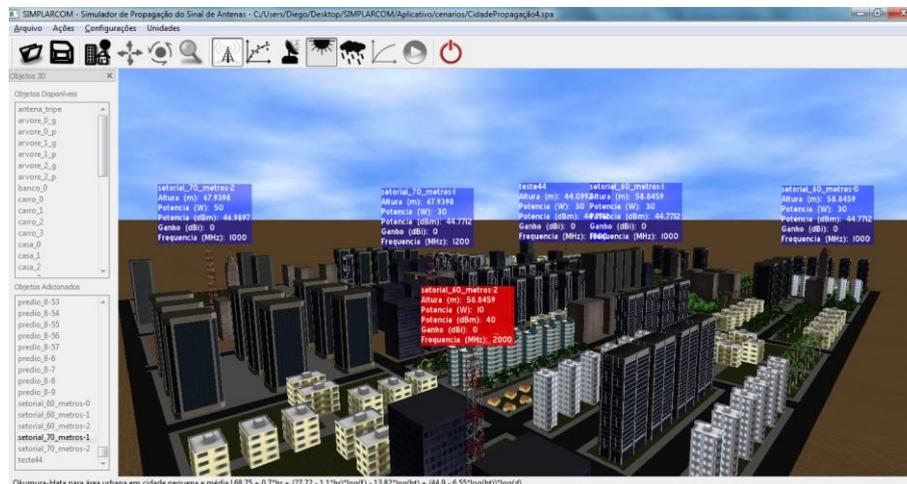


Figura 5 – Cenário de propagação inapropriado

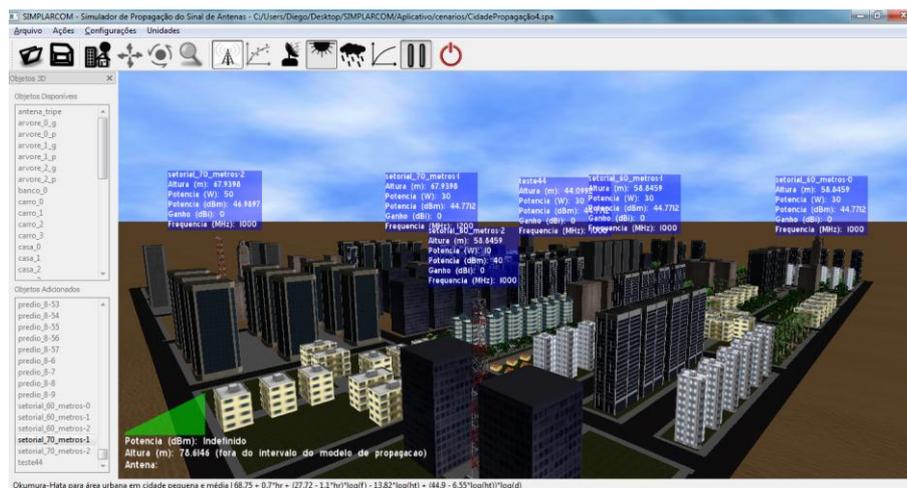


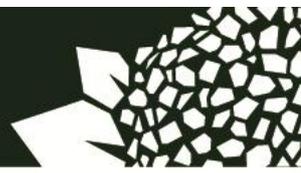
Figura 6 – Cenário de propagação apropriado e início da simulação

Para a simulação, o receptor foi configurado com os seguintes valores:

- Potência mínima de -90 dBm.
- Potência máxima de 0 dBm.
- Ganho de 2 dBi.

Ativando a execução da simulação será exibido na tela do monitor do computador um medidor de intensidade do sinal recebido. Esse medidor apresenta uma área triangular para indicar a intensidade do sinal recebido, a indicação da potência recebida em dBm naquele ponto do observador, altura atual em metros em relação ao solo, e a antena na qual está conectada, como pode ser observado na Figura 6.

Se a altura do observador não estiver dentro do definido no modelo de propagação, as informações do receptor indicam que a potência recebida é indefinida, a altura atual continua sendo exibida e é mostrado que está conectado a nenhuma antena.



Se o receptor estiver dentro da faixa de altura definido pelo modelo de propagação, é verificada a potência recebida naquele ponto. Como mostrado na Figura 7, é possível que a intensidade do sinal recebido seja abaixo do mínimo definido nas configurações do receptor.

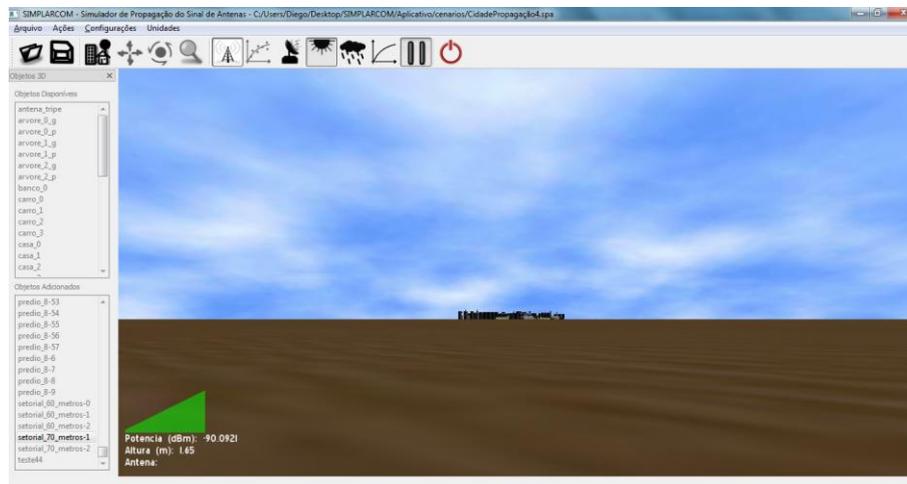


Figura 7 – Receptor sem potência mínima de intensidade de sinal

Estando o receptor dentro da faixa de altura definida pelo modelo de propagação e tendo uma intensidade de sinal recebida maior ou igual a mínima estabelecida nas configurações do receptor, o medidor de intensidade do sinal será ajustado e serão exibidos a potência em dBm, a altura em metros, 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 8.

Também é considerada a ocorrência de *handoff*, ou seja, quando o receptor que está em deslocamento e acaba saindo da área de cobertura de uma antena e entrando na área de cobertura de outra antena. A notificação do *handoff* é mostrada na Figura 9.

O segundo cenário representa um ambiente arborizado onde utiliza-se o modelo Lyra-Castro-UFFPA. Para a simulação foi selecionado a opção de clima chuvoso, contudo, para os modelos de propagação empregados até o momento no SIMPLARCOM, a influência da chuva não tem efeito na propagação do sinal, pois é a partir de uma frequência de 10 GHz que o fator chuva afeta o percurso da onda. Os resultados são apresentados nas Figura 10, Figura 11 e Figura 12, e um exemplo de gráficos de Perda x Distancia e Potência x Distancia está na Figura 13.

5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUTOS

O trabalho em desenvolvimento está mostrando grande utilidade para estudo e planejamento de sistemas de propagação de rádio em diferentes ambientes e no aprendizado das disciplinas relacionadas ao tema.

Até o momento, o SIMPLARCOM está na versão 0.9, e para a versão 1.0 o sistema irá possibilitar: exibição da área de cobertura tridimensional, adição de outros modelos de propagação. Além destas inclusões, como trabalhos futuros planeja-se a expansão do simulador para modelos de propagação considerando ambientes *indoor*.

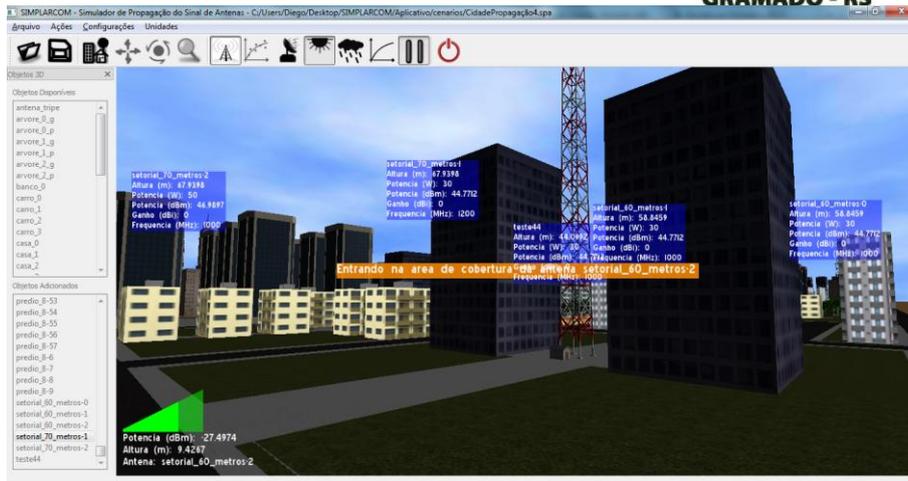


Figura 8 – Notificação de entrada na área de cobertura

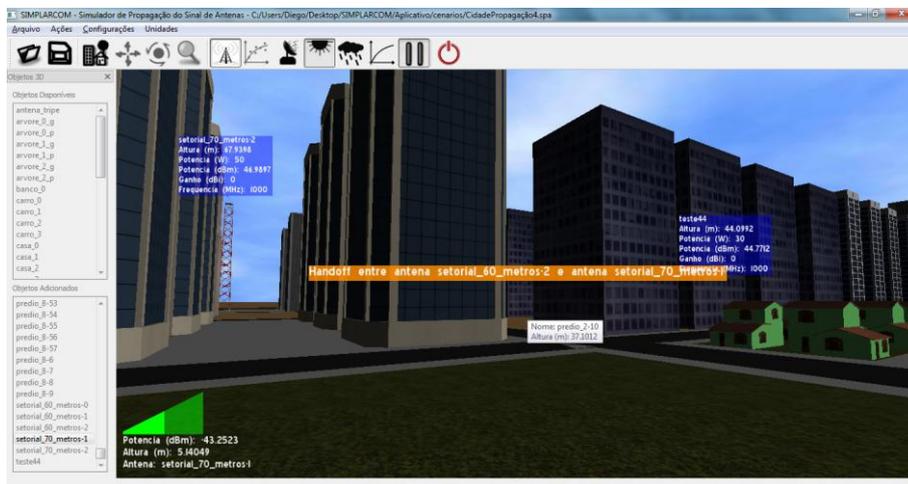


Figura 9 – Notificação de handoff

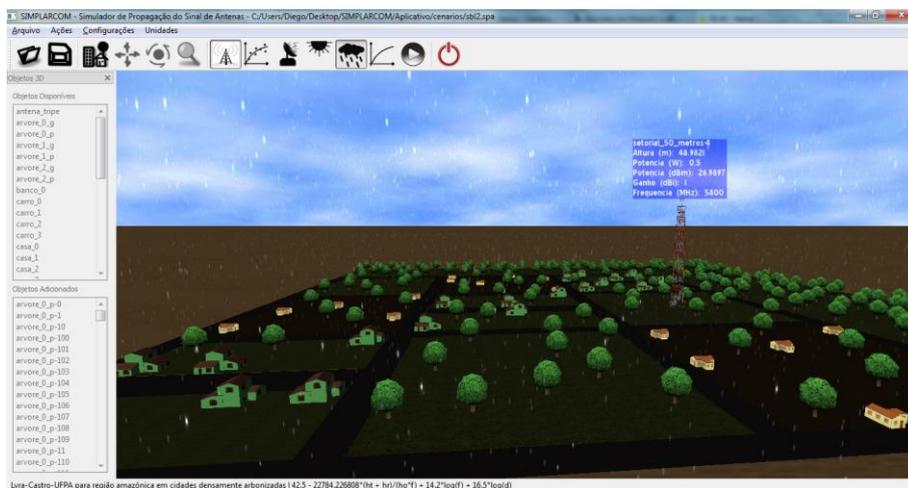


Figura 10 – Ambiente arborizado



Figura 11 – Simulação do modelo Lyra-Castro-UFGA

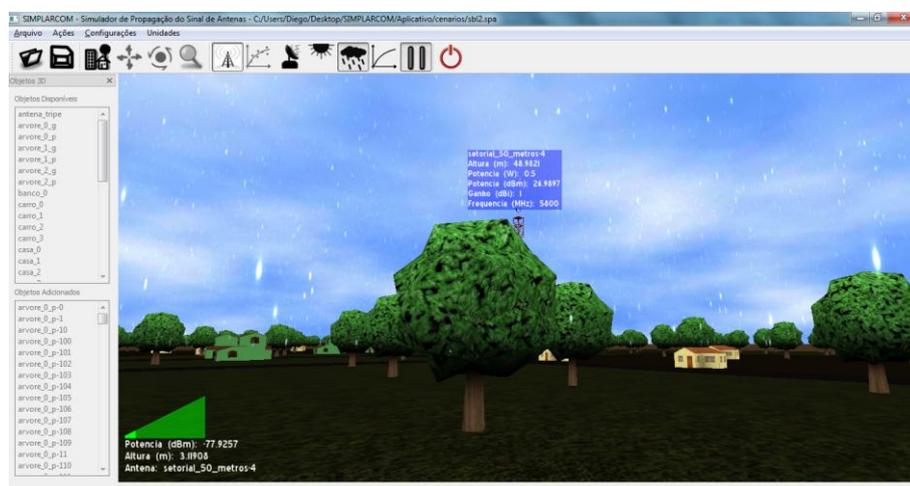


Figura 12 – Obstrução na simulação do modelo Lyra-Castro-UFGA

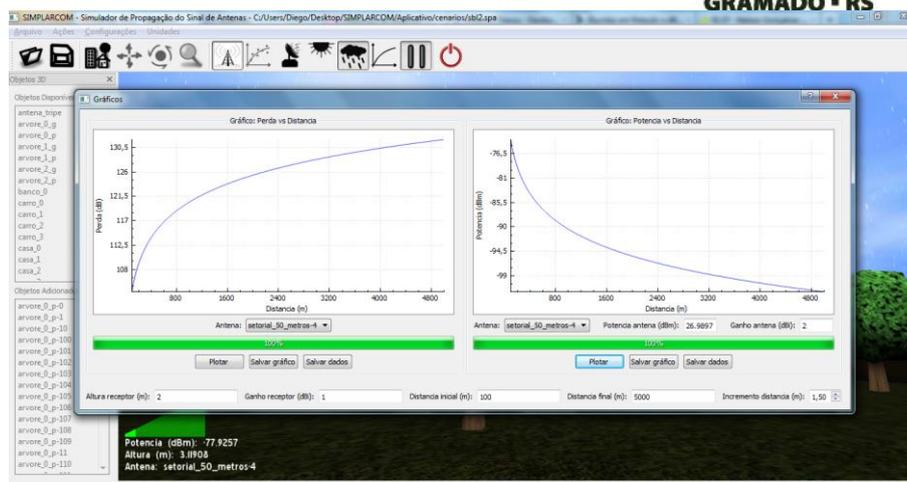


Figura 13 – Plotagem dos gráficos

Agradecimentos

Os autores agradecem ao PPGEE, UFPA e INCSF pela material de apoio, CNPQ e CAPES pelo apoio financeiro, e ao LCT e LaRV pelos recursos humanos especializados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Livros:

SAUNDERS, S. R.; ZAVALA, A. A.; Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems, Second Edition, John Wiley & Sons, 2007.

Monografias, dissertações e teses:

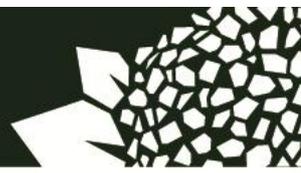
CASTRO, Bruno Souza Lyra; UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, Instituto de Tecnologia. Modelo de propagação para redes sem fio fixas na banda de 5,8 GHz em cidades típicas da região amazônica, 2010. Dissertação (Mestrado).

NEGRÃO, N. M.; UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, Instituto de Tecnologia. SWIMAX: A Virtual Reality Simulator to Help Teaching the WiMAX Standard. 2012. Dissertação (Mestrado).

Trabalhos em eventos

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.

NASCIMENTO, R. N. A.; GOMES, C. R.; MARTINS, B. W.; ALMEIDA, M.; GOMES, H. S.; CAVALCANTE, G. P. S.; Set in Recommendation ITU-R P.1546-4 for Prediction of Electrical Field Digital TV in the Metropolitan Region of Belém. Brazilian Symposium Microwave and Optoeletronica (SBMO) & Brazilian Congress of Electromagnetism (CMAG) (MOMAG). 2012.



RAYESS, G.; TSIRILAKIS, I.; KAKOGIANNIS, C. G.; KALIS, A.; KANATAS, A. G.; CONSTANTINON, P.; Java-based Simulator for Wireless Multi-hop Networks using Directional Antennas. Wireless Conference 2006 – Enabling Technologies for Wireless Multimedia Communications (European Wireless), 12th European, 2006.

VIBERG, M.; BOMAN, T.; CARLBERG, U.; PETTERSSON, L.; ALI, S.; ARABI, E.; BILAL, M.; MOUSSA, O.; Simulatoim of MIMO Antenna Systems in Simulink and Embedded Matlab. MATLAB User Conference. Nordic, 2008.

Internet:

GUEST3D-SWIMAX. Disponível em: <http://www.guest3d.com.br/swimax/>. Acessado em: 05 fev. 2013.

JAVA. Disponível em: <http://www.java.com/>. Acessado em: 05 fev. 2013.

MATLAB, Matrix Laboratory. Disponível em: <http://www.mathworks.com/>. Acessado em: 05 fev. 2013.

OGRE3D. Disponível em: <http://www.ogre3d.org/>. Acessado em: 14 mai. 2013.

QT. Disponível em: <http://qt.digia.com/>. Acessado em: 14 mai. 2013.

SIMULINK. Disponível em: <http://www.mathworks.com/products/simulink>. Acessado em: 05 fev. 2013.

UNITY3D. Disponível em: <http://www.unity3d.com>. Acessado em: 05 fev. 2013.

Modeling Propagation Tool to Aid the Design of Wireless Networks

Abstract: *This paper presents a simulator for the wireless networks to aid the teaching of Mobile Networks in Telecommunications Systems. Virtual reality techniques are used to create arbitrary scenarios as cities, rural and wooded environments. These scenarios associated with mathematical equations of propagation models simulate the signal behaviour in these environments. They can also contain buildings, houses, cars, trees and others. As simulator input are considered antenna types and the gains, polarization, different heights, the system operation frequency, the transmitter power and the equivalent parameters in the mobile unit. To execute examples of simulations, two scenarios were created using some of the propagation models defined in the literature. Thus, there is a three dimensional view of the coverage area, received signal strength on a particular region, shadow area, among others, in the virtual reality environment.*

Key-words: *Radio Propagation; Antennas; Three-dimensional Simulator; Virtual Reality*