

MODELAGEM DE RÁDIO ENLACE: UMA ABORDAGEM USANDO REALIDADE VIRTUAL

João Rodrigues Tavares Júnior¹
Ana Lúcia Bezerra Candeias¹
Alejandro César Orgambide Frery²

¹UFPE - Universidade Federal de Pernambuco

Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Cartográfica
Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n - Cidade Universitária - CEP 50740-530 - Recife-PE - Brasil.
analucia@ufpe.br

²Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Centro de Informática

Av. Prof. Luiz Freire, s/n, Cidade Universitária - CP 7851, 50732-970 - Recife - PE - Brasil.
frery@cin.ufpe.br

RESUMO

Este artigo descreve uma aplicação de *Virtual Reality Modeling Language* (VRML) não imersiva em um Modelo Digital de Terreno para visualização da intervisibilidade em rádio enlace. O objetivo é adequar locais para o posicionamento de antenas com intervisibilidade direta. Neste contexto, considerações geométricas e físicas são empregadas para modelar o problema, os dados e a solução. O modelo tridimensional pode ser disponibilizado via Internet com interação em tempo real. Um exemplo de um rádio enlace em VRML é apresentado.

Palavras-chave: VRML, MDT, rádio propagação, Computação Gráfica.

ABSTRACT

This paper describes an application of non-immersive Virtual Reality Modeling Language (VRML) in a Digital Terrain Model (DTM) visualization and analysis. The objective seeks for adequate sites for antenna placement. Geometrical and physical considerations are employed to model the problem, the data and the solution. Three-dimensional models and databases can be made available on the Internet and over in tracts using VRML worlds, allowing the implementation of a complete project. An example in VRML is shown.

Keywords: VRML, MDT, radio propagation, Graphic Computation

1. INTRODUÇÃO

O arranjo espacial típico de morros, planícies e edificações formam uma paisagem complexa. Um problema envolvendo a intervisibilidade entre dois pontos desta paisagem pode gerar um grande número de informações. A solução deste problema não é imediata para qualquer indivíduo. Experiências locais podem fornecer as respostas adequadas para este problema.

Uma área rural, ou uma cidade do porte de Recife-PE, já proporciona inúmeras situações em que mesmo o cidadão local não forneceria todas as respostas sobre intervisibilidade. Há locais, como topo de morros e cobertura de edifícios, cujo acesso apresenta dificuldades. Além disso, as árvores modificam a visibilidade de acordo com a plantação ou remoção.

Em uma paisagem urbana, o número de possibilidades para garantir a intervisibilidade pode ser muito grande. Cada uma dessas opções tem um custo associado, e a sua avaliação manual pode ser muito demorada ou até impossível. A metodologia e a ferramenta propostas neste trabalho têm por objetivo facilitar estudos neste sentido para aplicação de rádio enlace, onde a intervisibilidade direta é um fator importante.

Atualmente mais de 30 milhões de brasileiros utilizam telefones celulares. O crescimento desta demanda utilizando serviços de canais de voz e transmissão de dados, inclusive conectados à Internet, mostra que é necessário aumentar a transmissão do volume de informação através de sinais de rádio.

Uma característica do aparelho celular é sua mobilidade em funcionamento dentro de uma área de

cobertura geográfica. Esta cobertura geográfica é mantida graças à comunicação de antenas formando redes conectando antenas e celulares.

O uso e ocupação do solo estão em contínua transformação e são importantes na apreciação das opções de intervisibilidade entre antenas e entre antena e estação móvel ou aparelho celular. Os elementos do uso e ocupação do solo de interesse neste trabalho são principalmente a construção de prédios, plantação ou remoção de árvores, aterros ou formação de lagos. Além destes a urbanização afeta a mobilidade e liberdade de posicionamento do usuário.

O projeto completo de rádio enlace é muito complexo. Este trabalho aborda a automatização da parte do processo referente a procedimentos de avaliação da visibilidade dos enlaces de rádio.

As antenas direcionais são instaladas em locais que permitam a transmissão e recepção de sinais de rádio de forma a não existir bloqueio permanente dos sinais. As frequências do sinal utilizadas pelas antenas diretas de telefonia celular requerem a intervisibilidade direta, portanto é necessário não haver o bloqueio do sinal por objetos fixos no terreno para o rádio enlace entre estas antenas.

Os locais mais adequados para instalar antenas são cobertura de prédios, edificações em topo de relevo, e torres ou postes usados na fixação e orientação de antenas.

Para avaliar a intervisibilidade engenheiros eletrônicos e de telecomunicações elaboram gráficos de perfis do relevo ou topográficos. Nestes gráficos são colocados alguns prédios e árvores para estudar situações de bloqueio da linha de visada entre antenas. Os perfis topográficos são obtidos a partir de cartas topográficas. As posições de prédios e árvores inseridos colocados no perfil são extraídas de plantas topográficas cadastrais, ortofotocartas e de posicionamento GPS. As altitudes e distâncias do gráfico fornecem a linha de perfil em uma determinada direção. Portanto, no processo manual para obter perfis em outras direções é preciso repetir a tarefa inserindo novos prédios e árvores. Por outro lado, o projeto de instalação de antenas, além das já implantadas, enfrenta a variável das alterações do meio urbano gerando problemas de intervisibilidade.

Cartas topográficas de diferentes escalas e datums, coordenadas obtidas por GPS e inseridas nos perfis, requerem o uso adequado da informação cartográfica, para que esses gráficos reflitam a realidade em estudo.

A partir da visualização gráfica é possível avaliar a intervisibilidade automatizando o antigo procedimento manual através da Realidade Virtual modelada em um editor de VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) especialmente desenvolvido e testado em uma nova metodologia para a visualização de dados cartográficos. Esta abordagem é escolhida pelas vantagens que a VRML oferece, tais como vôo, disponibilidade na internet, interação em tempo real, etc.

A metodologia apresentada neste artigo está apoiada Realidade Virtual não imersiva, Radiopropagação e Cartografia.

O objetivo deste trabalho é portanto, construir um mundo virtual para avaliar a intervisibilidade de rádio enlaces. Este mundo virtual é modelado em tempo real através da VRML (*Virtual Reality Modeling Language*). O mundo virtual é controlado através de botões e recursos adicionais introduzidos na programação para oferecer ao usuário a visualização tridimensional do cenário.

Um computador de configuração similar ou superior a de um Pentium 4, processador de 1,5GHz, RAM de 256MB e placa de vídeo de 32MB, permite realizar a metodologia

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A representação gráfica de objetos em Computação Gráfica fundamenta-se em conceitos matemáticos (geometria analítica, geometria projetiva, álgebra linear, cálculo vetorial, entre outros). Os objetos são posicionados através de cálculos de translações e rotações, de acordo com BANON (1989); FOLEY et al (1994); MCCARTHY (1998); SHIRAI (1986); BALLARD (1982); LAY (1999). Portanto, a estrutura matemática implícita na visualização tridimensional, representa os fundamentos para utilizar as linguagens de modelagem em Realidade Virtual no processo de montagem de cenários reproduzindo situações concretas do mundo exterior ao computador.

Os perfis topográficos fornecem parte da intervisibilidade, enquanto a outra parte depende de edificações e árvores cujas posições possam bloquear a visada. A Figura 1(a) mostra um exemplo desta situação.

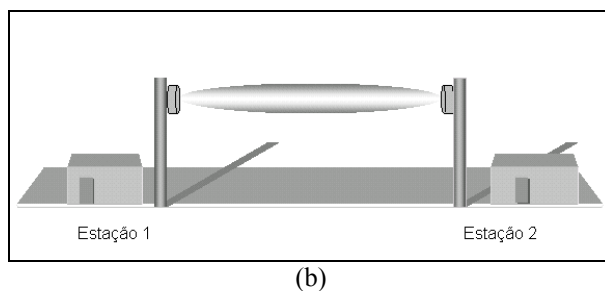
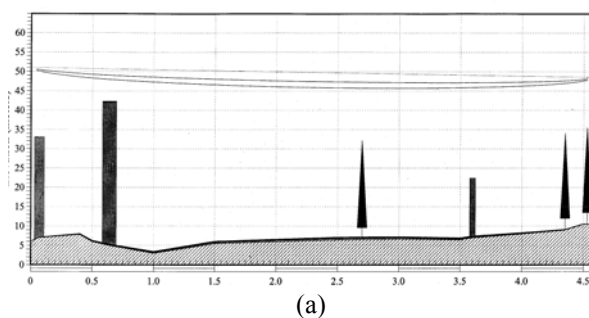


Fig.1 – (a) Perfil topográfico contendo árvores e prédios. (b) Desenho esquemático de rádio enlace ou sistema rádio ponto a ponto.

Na Figura 1 (a) a escala vertical do perfil (eixo y) está em metros, e a escala horizontal (eixo x) em quilômetros. Na Figura 1 (b) tem-se um desenho esquemático de rádio enlace ou sistema rádio ponto a ponto.

Devido à difração da radiação eletromagnética propagando na atmosfera é produzido o elipsóide de Fresnel entre as antenas diretivas. O dimensionamento do elipsóide de propagação depende da distância e frequência do sinal, segundo SMIT (1987); SILVA (1977).

A Figura 2 mostra o raio de Fresnel a meia distância entre os pontos A e B. O comprimento do enlace é a distância D, rf é o raio de Fresnel e λ o comprimento da onda eletromagnética.

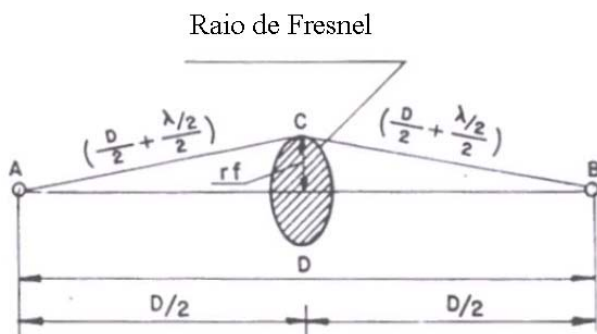


Fig.2 - Raio de Fresnel. - Fonte: Smit (1987).

A equação (1) calcula o raio de Fresnel (rf).

$$rf = 1/2(D \cdot \lambda). \quad (1)$$

As antenas diretivas concentram a energia eletromagnética em uma direção do espaço, conforme FARUQUE (1996). O diagrama da antena isotrópica comparada ao diagrama da antena direcional caracteriza o ganho da antena, como mostra a Figura 3. Portanto é necessário haver desbloqueio do elipsóide de Fresnel que ocupa o máximo de energia eletromagnética permitindo a radiovisibilidade entre antenas.

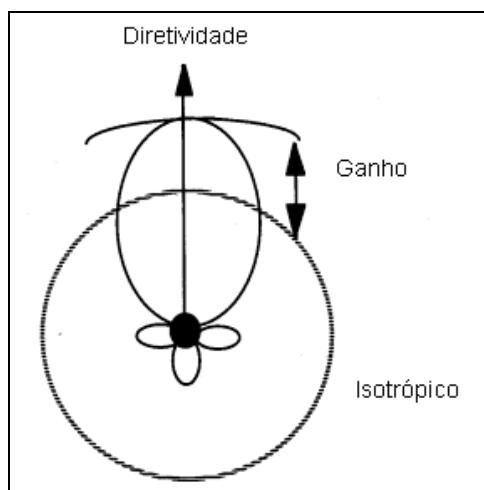


Fig. 3 - Diagramas de antena isotrópica e direcional. Fonte: Faruque (1996).

A técnica manual de obtenção da intervisibilidade aplicada a rádio enlaces considera um plano cartesiano (plano vertical) contendo o perfil topográfico e seções verticais de prédios e árvores. Também é inserida a seção de um elipsóide de propagação entre antenas, para ser obtida a radiovisibilidade, que requer a não obstrução do elipsóide por obstáculos no terreno, segundo SMIT (1987).

A curvatura terrestre e refração atmosférica influenciam na intervisibilidade. O horizonte da superfície física da Terra, de acordo com o aumento da distância, pode bloquear a visada. Na distância de 5km, curvatura e refração combinadas resulta em cerca de 1,7m de erro em altimetria, conforme ESPARTEL (1960); o erro planimétrico devido à curvatura terrestre na distância considerada é de menor magnitude, segundo LOCH e CORDINI (1995).

A qualidade da informação cartográfica é importante na construção de cenários urbanos tridimensionais. Na VRML são construídos, posicionados e orientados prédios, ruas, relevo, com base em dados cartográficos extraídos de cartas topográficas de várias escalas, de acordo com FAIRBAIRN e PARSLEY (1997); REDDY et al (2000).

Editores de cenários urbanos possibilitam a modelagem desde casas e edifícios até cidades inteiras, de acordo com FILHO (2003).

A visualização tridimensional do relevo é um dos recursos oferecidos na VRML, CANDEIAS e WELLINGTON (2001).

O Padrão de Exatidão Cartográfica deve ser observado na aplicação de dados cartográficos contidos em cartas, de acordo com BURITY e PHILIPS (1999). O decreto-lei nº 89.817, publicado no Diário Oficial da União, de 20-06-1984 estabelece normas que classificam os documentos cartográficos em função da sua qualidade geométrica. Sabe-se porém que, a maioria dos mapas utilizados atualmente foram elaborados antes deste decreto lei e, vários não atingem nem a classe C. Dependendo da aplicação, onde erros maiores podem ser aceitos, estes documentos podem ser utilizados.

As coordenadas obtidas por posicionamento GPS estão no sistema geodésico geocêntrico WGS84 (*World Geodetic System of 1984*), elipsóide de referência GRS80 (*Geodetic Reference System 1980*), conforme SEEBER (1993). Para utilizar as coordenadas geográficas no datum SAD69 é necessário transformar as coordenadas de WGS84 para SAD69, de acordo com MONICO (2000). Existem também parâmetros de transformação entre SAD69 e Córrego Alegre, de acordo com IBGE (1996).

As alturas elipsoidais h , obtidas com GPS, são unicamente geométricas, não tendo significado físico. As altitudes relacionadas ao campo de gravidade externo da Terra são denominadas de altitudes ortométricas, de acordo com GEMAEL (1999). O GPS não fornece altitudes ortométricas, para obtê-las é preciso utilizar a ondulação geoidal N obtida do modelo de geóide adotado oficialmente no Brasil, MGB-92, Mapa Geoidal do Brasil, elaborado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de

Geografia e Estatística).

Um Modelo Digital de Terreno é um arquivo de coordenadas x , y , z de pontos, onde as alturas y são referenciadas a um plano, de acordo com PORTUGAL (1992). Também através de processamento de imagens é possível construir Modelos de Elevação Digital, conforme TEICHRIEB (2002) et al. Portanto é preciso adaptar os dados de entrada a finalidade de precisão da aplicação.

O espectador através da VRML tem disponível uma interface e um *toolbar* de botões padrões para controle do mundo virtual. Além destes botões, pode-se programar em VRML e modelar cenários atendendo finalidades específicas, a exemplo da definição das coordenadas tridimensionais cartesianas de pontos de vista, conforme SCHROEDER (2001). Durante a criação de um mundo virtual urbano ou rural, o usuário define os melhores pontos de vista no estudo da radiovisibilidade local.

A partir de cartas topográficas pode-se gerar a representação tridimensional do relevo construindo um Modelo Digital de Terreno. É inserido no MDT um plano para destacar a seção do terreno, de acordo com CANDEIAS e WELLINGTON (2001). A realização em tempo real do perfil topográfico em várias direções e a simultânea visualização tridimensional do MDT facilita a aplicação de perfis a problemas práticos.

Utilizando a plataforma SPRING 3.6, pode-se gerar grades a partir de pontos extraídos de curvas de nível vetorizadas de cartas topográficas preservando escala, sistema de projeção e datum. Estas grades são arquivos de coordenadas x , y , z que fornecem os dados para linguagens de modelagem computacional como a VRML, gerando o MDT.

A área de cobertura no sistema celular móvel é dividida em células com Estações Rádio Base (ERB) e antenas em torres formando rádio enlaces, segundo

ALENCAR (2000). A Figura 4 mostra o esquema de divisão de área.

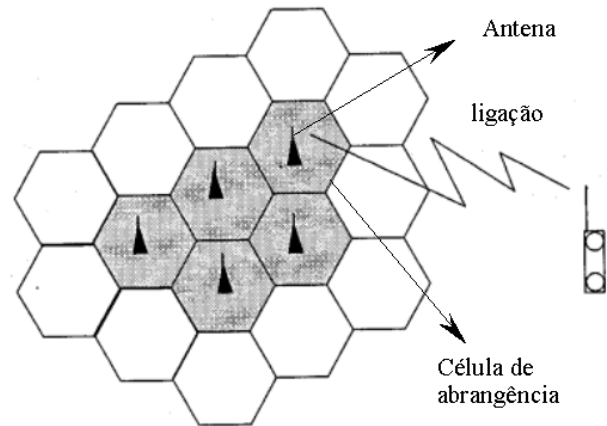


Fig. 4 - Sistema celular.
Fonte: Alencar (2000).

3. METODOLOGIA

As etapas da metodologia utilizada para modelar rádio enlace em Realidade Virtual são divididos em dados de entrada, processamento, interface no editor VRML e dados de saída apresentadas na Figura 5. Os dados de entrada são: Carta topográfica 1:25000, Plantas topográficas, coordenadas GPS. No processamento tem-se a extração de coordenadas, vetorização e exportação. Na interface do editor desenvolvido a partir da VRML tem-se: dados de entrada (arquivo ASCII), coordenadas relativas, dimensões de prédio, árvores. Os dados de saída mostram os dados de saída: MDS (Modelo Digital de Superfície) para a avaliação visual da intervisibilidade. O MDS é composto pelo MDT adicionado dos objetos sobre a superfície (casas, árvores, etc.).

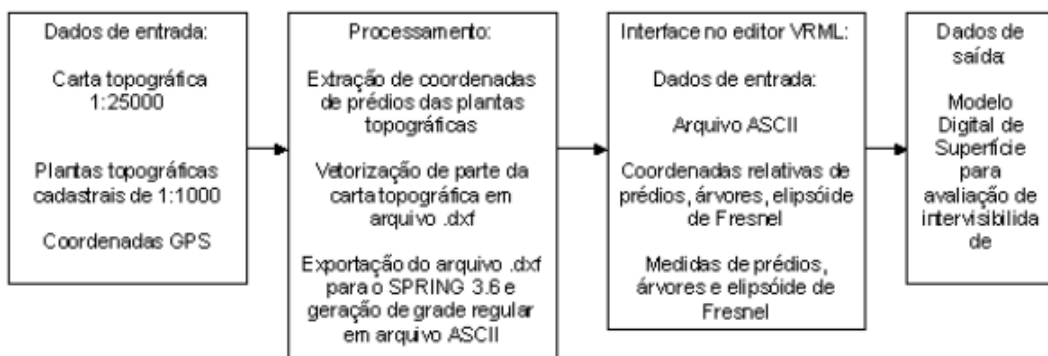


Fig. 5 - Metodologia de modelagem de rádio enlace.

As curvas de nível de um trecho da carta topográfica são georreferenciadas e vetorizadas, por exemplo, através de uma mesa digitalizadora ou em tela (heads up) e transformadas em um arquivo com extensão .dxf.

Posteriormente este arquivo é exportado para a plataforma SPRING 3.6 e convertido para uma grade regular ASCII, formada das coordenadas x , y , z . O SPRING conserva a escala, o sistema de projeção e datum.

As coordenadas da grade regular são os dados de entrada para construção do MDT em VRML. As coordenadas relativas e dimensões de prédios e árvores são os outros dados que fornecem os dados para o editor de VRML na modelagem do Modelo Digital de Superfície ou mundo virtual.

Na VRML existe uma limitação máxima da dimensão de matrizes de 100x100 para grade do MDT. Isto inviabiliza a construção de MDT's com grades maiores. Para contornar este problema foi desenvolvida uma nova técnica de modelagem de grades para a modelagem VRML denominada de "dividir para conquistar" apresentada em TAVARES JR (2003). Esta técnica permite que grande arquivo de grades seja processado para construção de um MDT. Cada grade é interpretada na VRML como um objeto e através de translações adequadas é "montado" o conjunto formando a grade inteira.

O editor de VRML modela individualmente vários cenários de rádio enlaces, podendo visualizar cada enlace de uma rede maior de cobertura de telefonia celular móvel.

4. ESPECIFICAÇÃO DA ARQUITETURA

Na Figura 6 mostra-se a relação entre alguns objetos do mundo real, a correlação com os objetos modelados em VRML, e a origem dos dados.

Código VRML	Objeto VRML	Dado de entrada para a modelagem do objeto	Objeto representado	Coleta dados de entrada
Elevation Grid	Grade regular	Grade UTM	MDT	Vetorização de curvas de nível georreferenciadas
geometry Box	Paralelogramo	Altura, largura, comprimento, coordenadas relativas	Prédio	Empresa de telefonia, planta topográfica cadastral, GPS

Fig.6 - Relação entre objetos geométricos, objetos do mundo real, e objetos VRML.

A VRML possui funções para transladar e rotacionar objetos dentro de um sistema de coordenadas tridimensionais. Portanto, pode-se relacionar o sistema de coordenadas VRML com o UTM da carta.

A projeção UTM possui a propriedade de conservar os ângulos, importante na orientação das antenas. Outra propriedade da projeção UTM é a conservação dos ângulos importante na linha de visada entre antenas direcionais. A interpolação de coordenadas TM (com base na digitalização de coordenadas na carta utilizando o SPRING) permite obter uma grade regular compatível com a grade VRML.

Para representar o MDT, apresenta-se um exemplo da sintaxe VRML adotada:

```
Transform {translation 0.0 0.0 0.0
children[
Shape {
appearance Appearance {
material Material {diffuseColor 0.5 1.0 0.5 }}
geometry ElevationGrid {
xDimension 70
zDimension 41
xSpacing 100
zSpacing 100
solid FALSE
height [ ]
```

O código da torre de exemplo contendo os valores acima é:

```
Transform {translation 1875.114 0.0 2627.851
children [ Shape {
appearance Appearance { material Material {
diffuseColor 0.0 0.0 1.0
}}
geometry Cylinder { height 45 radius 2 }}}}
```

No código *translation* o MDT é posicionado para coincidir com a origem do sistema de coordenadas VRML. Em *xDimension 70* e *zDimension 41* tem-se as dimensões da grade equivalente a 7000m por 4100m, e em *xSpacing 100* e *zSpacing 100*.

Também a VRML possibilita a inclusão de texturas sobre os objetos para produzir realismo. Imagens de satélite e fotografias aéreas podem ser colocadas sobre o MDT.

Em *height []* são introduzidos os valores da grade ASCII. A Figura 7 apresenta o painel do editor VRML.

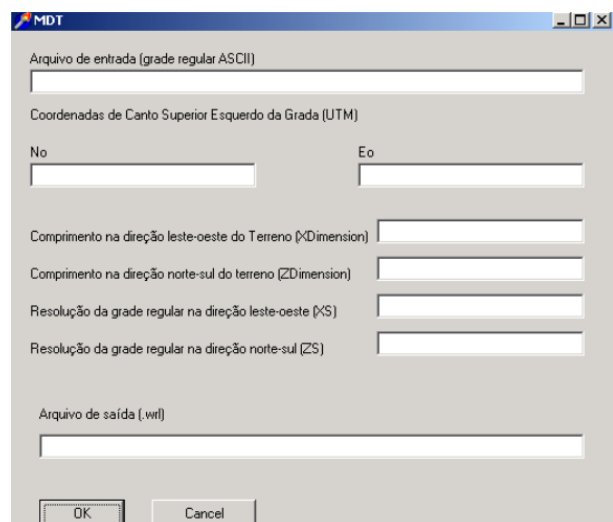


Fig.7 - Painel do editor VRML para construção do MDT.

5. ÁREA TESTE E VALIDAÇÃO

A área está localizada em Recife-PE, e corta os bairros da Várzea, Cidade Universitária, Iputinga, Cordeiro e Torre. As dimensões aproximadas são de 7000m por 4000m. O terreno apresenta baixas declividades, com poucos prédios e árvores com mais de 30m de altura. As coordenadas UTM das ERB (Estação Rádio Base) onde se localizam as antenas:

ERB A: 9.110.432mN; 284.911mE

ERB B: 9.109.946mN; 289.487mE

A validação da metodologia consistiu na modelagem de um rádio enlace real na área teste. O comprimento do rádio enlace é de aproximadamente 4,6km, opera com o sinal de frequência de 23Ghz. A modelagem do cenário indicou uma perfeita junção gráfica de seus objetos.

No teste de validação foi confirmada a coerência das coordenadas dos objetos utilizadas na construção do MDS, e também das suas dimensões. Na hipótese das coordenadas da torre ou altura da antena não corresponderem à realidade, ocorreria o não alinhamento do elipsóide de Fresnel com as antenas. Outra hipótese visualizável é a do bloqueio do elipsóide por prédios ou árvores. Na programação foi definida transparência de 55% na superfície do elipsóide de Fresnel para observar imersão de prédios no elipsóide, não sendo notado o bloqueio parcial. A transparência define a opacidade do objeto que está sendo modelado, sendo portanto um item importante na modelagem.

A Figura 8 mostra a interface exibindo o MDT com o elipsóide nos modos *Smooth Shading* e *Wire Frame*.

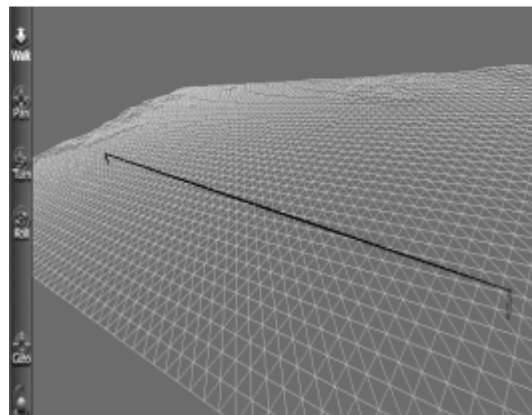
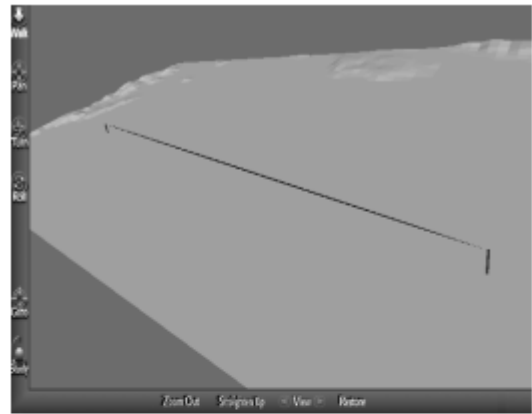


Fig.8 - Saída do editor VRML.

A Figura 9 mostra a visão perpendicular em ampliação da Figura 8. Nesta visualização não é possível perceber se o elipsóide de Fresnel (cinza mais claro) toca o edifício (cinza mais escuro).

A Figura 10 apresenta um exemplo do resultado da visualização gráfica da Figura 9 em outro ângulo. No caso é observado que o edifício não é um obstáculo para o elipsóide.

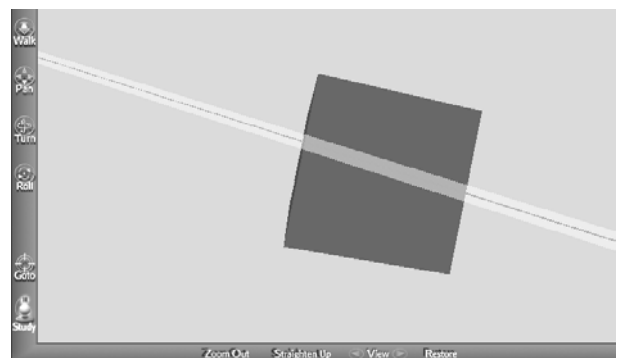


Fig.9 - Visão perpendicular de uma parte do Elipsóide de Fresnel e um edifício em zoom.

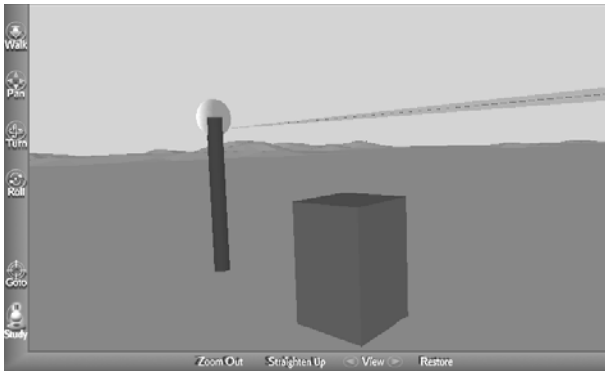


Fig.10 – Outro ângulo de visualização gráfica da Figura 9 em Zoom.

6. CONCLUSÕES

O editor VRML é uma ferramenta importante na visualização tridimensional de rádio enlace permitindo construir e corrigir em tempo real um Modelo Digital de Superfície para avaliar a intervisibilidade entre antenas direcionais operando na área de cobertura da telefonia celular.

A modelagem aqui apresentada mostra uma nova abordagem para um projeto de uma operadora de telefonia celular. O antigo procedimento manual de rádio enlace não adota uma metodologia capaz de integrar os dados de entrada e de prover uma visualização tridimensional do MDS, não permitindo repetir, em tempo hábil, todo o processo de construção do MDS, inclusive correção parcial e substituição completa do modelo inicial.

Um dos pontos positivos indicados na validação foi a constatação de que a metodologia realizada através do editor de VRML é eficaz para identificar incoerências na montagem do modelo (exemplos: a posição do foco do elipsóide de Fresnel não coincide com a posição foco da antena parabólica; a torre de suporte da antena está desalinhada em relação à visada). Isto permitirá ao usuário visualizar e corrigir rapidamente as fontes de erros recebendo dados mais adequados.

Este tipo de abordagem em telecomunicações é pioneira aqui no Brasil. O editor de posicionamento das antenas no MDS desenvolvido em VRML pode ser facilmente aperfeiçoado, porque permite o acréscimo de novos tipos de dados de entrada, a exemplo da criação de novos formulários para conversão entre coordenadas geodésicas e UTM, entre diferentes sistemas geodésicos, entre coordenadas GPS e UTM.

Fazendo uma comparação com outros programas computacionais que podem modelar em 3D os radioenlaces, tem-se que estes são softwares proprietários e não de código aberto como os CAD's e em geral não utilizam os paradigmas da Realidade Virtual.

O uso do SPRING e VRML ambos gratuitos apontam para o aperfeiçoamento da ferramenta nacional que utilize a flexibilidade da VRML.

A VRML possibilita aplicar o conceito de visão computacional na visualização de dados cartográficos não só em termos de aplicação na modelagem dos dados mas da pesquisa da coerência do que é modelado na sintaxe e o que é visto em 3D.

Além do tripé de apoio em Cartografia, Telecomunicações e Realidade Virtual, outros conceitos de Geografia Urbana e Geomorfologia estão relacionados à pesquisa de rádio enlace, porque envolvem o uso e ocupação do solo e as formas do relevo.

A correção da modelagem do MDS, na troca total ou parcial dos dados de entrada possibilita comparar a intervisibilidade prevista nos projetos, com economia de tempo e adequação dos dados de entrada à aplicação, sem necessitar da aquisição de licenças de softwares proprietários e custos com treinamento de pessoal, de modelos de custo elevado do tipo *Height Buildings*, ou computadores sofisticados, já que os usuários finais dispõem do editor de VRML para guiar, interagir e organizar a construção do MDS.

A metodologia não exige do usuário final treinamento alguma linguagem de programação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, M. S. **Sistemas de comunicações**. [S.l.]: Ed. Érica, 2000. 296p.
- BALLARD, D. H.; BROWN, C. M. **Computer vision**. [S.l.]: Prentice-Hall, 1982. 523p.
- BANON, G. J. F. **Bases da computação gráfica**. [S.l.]: Campus, 1989. 141p.
- BURITY, E. D.; PHILIPS, J. **Qualidade de dados para o mapeamento**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 19., 1999. Recife/Olinda. **Anais...** Recife: Olinda: [s.n.], 1999. 1 CD-ROM.
- CANDEIAS, A. L. B.; WELLINGTON, P. S. **Utilização da realidade virtual para geração de modelos e perfis topográficos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 20., 2001. Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: [s.n.], 2001. 1 CD-ROM.
- ESPARTEL, L. **Curso de topografia**. 9. ed. [S.l.]: Globo, 1960. 655p.
- FAIRBAIRN D. ; PARSLEY, S. The use of VRML for cartographic presentation. **Computer & Geosciences**, [S.l.], v. 23, n. 4, p. 475-481, 1997.
- FARUQUE, S. **Cellular mobile systems**. Norwood, USA: Artech House, 1996. 292p.

- FILHO, M. S. C. A. **Um editor de cenários urbanos para aplicação de Realidade Virtual**. 2003. 162p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Informática. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2003.
- FOLEY, J. D.; DAM, A.; FEINER, S. K.; HUGHES, J. F.; PHILLIPS, R. L. **Introduction to computer graphics**. [S.l.]: A. Wesley, 1994. 557p.
- GEMAEL, C. **Geodésia física**. Curitiba: Ed. da Universidade Federal do Paraná, 1999. 302p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Diretoria de Geociências. Departamento de Geodésia. **Especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos**. Rio de Janeiro, 1996. 52p. (Coletânea das normas vigentes).
- LOCH, C; CORDINI, J. **Topografia contemporânea**. Editora da Universidade Federal de Santa Catarina. 1995. 320p.
- LAY, D. C. **Álgebra linear e suas aplicações**. Tradução Ricardo Camelier, Valéria de Magalhães Lório. 2. ed. [S.l.]: Livros Técnicos e Científicos, 1999. 504p.
- MACCARTY, M.; DESCARTES, A. **Reality architecture: building 3D worlds Java and VRML**. [S.l.]: Prentice-Hall, 1998. 382p.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: UNESP, 2000. 287p.
- PORTUGAL, JL. **Pré-processamento e armazenamento de dados altimétricos obtidos por restituição digital**. 1992. 105p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1992.
- REDDY, M.; IVERSON, L.; LECLERC, Y. G. **Under the hood of geoVRML 1.0**. In: WEB 3D/ VRML SYMPOSIUM, 5., 2000. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2000. Disponível em: <<http://www.sri.com>>. Acesso em: 13/11/2002.
- SCHROEDER, R.; HUXOR, A.; SMITH, A. Active-worlds: geography and social interaction in virtual reality. **Futures**, [S.l.], v. 33. p. 569-587, 2001.
- SEEBER, G. **Satellite geodesy**. Berlin: Walter de Gruyter, 1993. p.531.
- SILVA, G. **Sistemas radiovisibilidade**. [S.l.]: Livros Técnicos e Científicos: Embratel, 1977. 629 p.
- SMIT, J. **Rádio Propagação**. [S.L.]: Ed. Érica, 1987.138p.
- SHIRAI, Y. **Three-dimensional computer vision**. [S.l.]: Springer-verlag, 1986. p. 297.
- TAVARES JR, J. R. , **Modelagem em Realidade Virtual de Rádio Enlace**. 2003, 131p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.
- TEICHRIEB, V.; KELNER, J.; FRERY, A. C. O. Visualization, analysis and editing of digital elevation models. In: SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY, 5., 2002, Fortaleza. **Proceedings...** Fortaleza: [s.n.], 2002. p. 250-261.

8. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, a CAPES, ao Departamento de Engenharia Cartográfica, ao prof. Dr. Tarcísio Ferreira Filho, ao prof. Ms José Luiz Portugal, a Prof^a Dr^a Andrea Flávia Tenório Carneiro, ao Eng. Frederico Beltrão da EMBRATEL, a BCP Telecomunicações, aos engenheiros eletrônicos Lindberg Tertuliano Barbosa, ao Eng. Eletricista Wellington Pinheiro dos Santos, ao Eng. Cartógrafo Jorge Cerqueira da 3a. Divisão de Levantamento do DSG, ao Eng. Cartógrafo Paulo Carvalho e a Cláudio David dos Reis Vila Flor.

Recebido em 16 de maio de 2003 – Aceito para publicação em 23 de outubro de 2003.