

Interface 3D para manipulação de dados em redes de distribuição de energia elétrica

ANTONIO VALERIO NETTO¹
JULIANA DENIPOTE GOUVEIA^{1,2}
PATRICIA S. HERRERA CATERIANO^{1,3}

¹Cientistas Associados Desenvolvimento Tecnológico Ltda. – Divisão de Sistemas Computacionais
Rua Alfredo Lopes, 1717 – CEP 13560-460, São Carlos – SP, Brasil.
antonio.valerio@cientistasassociados.com.br

²Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo (EESC/USP)
Av Trabalhador São-carlense, 400 – CEP 13560-970, São Carlos – SP, Brasil.

³Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – Universidade de São Paulo (ICMC/USP)
Av Trabalhador São-carlense, 400 – CEP 13560-970, São Carlos – SP, Brasil.

Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma interface gráfica 3D utilizando a tecnologia de ambientes virtuais. Esta interface tem o objetivo de auxiliar a tomada de decisão em um sistema computacional para redução de perdas em redes de distribuição de energia elétrica. A criação de uma interface 3D foi devido à necessidade de se visualizar uma grande quantidade de dados em um sistema de distribuição, especialmente para redes de grande porte, além de facilitar a interpretação (avaliação) das soluções propostas pelo sistema e de permitir uma fácil editoração do sistema de distribuição com o objetivo de planejamento dessas redes. Esse tipo de interface baseada em ambientes virtuais tem permitido grandes revoluções no que se refere à relação homem-computador tanto na solução de problemas científicos quanto industriais.

Palavras-Chave: Sistemas Interativos, Interfaces 3D, Ambientes Virtuais, Rede de Distribuição de Energia Elétrica.

3D interface for data manipulation in electric power distribution nets

Abstract: This article presents the development of a 3D graphical interface using virtual environment technology. The interface objective is to support the decision-making in a computational system for reduction of losses in distribution nets of electric energy. The creation of a 3D interface allows the visualization of a great amount of data in a distribution system, especially for large nets, besides facilitating the interpretation of the solutions proposed by the system and allowing an easy design of the distribution system with the objective of planning these nets. This type of interface based on virtual environments has allowed great revolutions in the solution of human-computer interfaces for scientific and industrial problems.

Keywords: Interactive Systems, 3D Interface, Virtual Environment, Distribution of Energy in Electrical Networks.

Received September 7, 2005 / Accepted November 21, 2005

1 Introdução

O enfoque do projeto principal apoiado pela FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) é o desenvolvimento de um sistema computacional para redução de perdas em redes urbanas de distribuição de energia elétrica por meio de avançados algoritmos computacionais de reconfiguração de circuitos [1]. Os resultados decorrentes da aplicação

do sistema computacional proposto são: diminuição de custos operacionais para as companhias distribuidoras de energia; melhor aproveitamento da energia gerada no país; e aumento da qualidade da energia fornecida ao consumidor.

O sistema desenvolvido possui quatro módulos principais: Reconfigurador, Interface Interativa baseada em ambientes virtuais, Codificador, e Dados da Rede de Distribuição, conforme mostra a Figura 1.1.

Neste contexto, foi utilizado um Algoritmo Evolutivo com Representação por Cadeias de Grafo (AE com RCG) para solução do problema de redução de perdas nessas grandes redes de energia elétrica. Tal metodologia foi, primeiramente, utilizada para resolver um problema de reconfiguração similar ao de redução de perdas denominado restabelecimento de energia e demonstrou ser capaz de elaborar planos de restabelecimento adequados para redes relativamente grandes utilizando pequenos tempos de computação [2]. Os resultados computacionais sugerem uma grande redução de tempo de computação quando comparada às abordagens encontradas nas áreas: AG Paralelo [3], AG-Fuzzy [4] e AE com conjuntos (Fuzzy) [5].

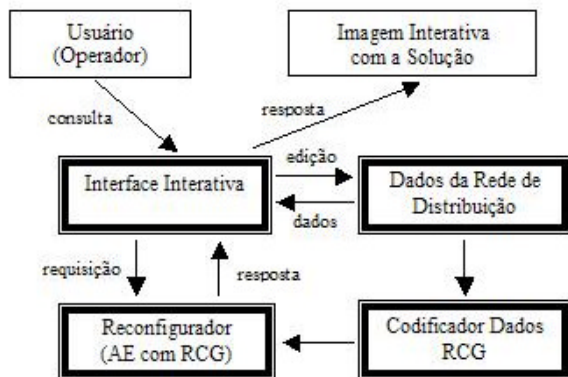


Figura 1.1: Módulos do sistema computacional para redução de perdas.

O Reconfigurador é o programa que efetivamente encontra a configuração do circuito que irá permitir a minimização das perdas de energia elétrica, baseado em AE com RCG. O Reconfigurador é o núcleo do sistema computacional para redução de perdas em redes de distribuição de energia elétrica (redes urbanas).

O Codificador é o protocolo de comunicação entre a base de dados do sistema elétrico e o AE com RCG (Reconfigurador) e vice-versa. Este é utilizado para transformar os dados do sistema, armazenados em um banco de dados, no formato da representação requerida pelo Reconfigurador. Esse pré-processamento dos dados é realizado de maneira *off-line* utilizando a representação por Cadeias de Grafos. Assim, o Codificador reduz a quantidade de processamento realizada pelo Reconfigurador e possibilita um auxílio na redução do tempo computacional gasto para encontrar a melhor configuração da rede.

Foi detectado que a interface 2D do *software* SCADA, o qual é o *software* atualmente responsável pela apresentação das informações sobre a rede elétrica, não contemplava diversos dados importantes para tomada de decisão. Os mesmos não eram visualizados devido à interface desse *software* estar completamente

tomada por outras informações, também importantes. O grande desafio seria a criação de uma interface capaz de contemplar um maior número de informações, principalmente ligadas ao geo-referenciamento dos elementos que compõem a rede elétrica. Isto seria possível introduzindo aspectos ligados ao SIG (Sistema de Informação Geográfica), informações que a maioria das companhias de distribuição de energia elétrica possuem e buscam implantar em suas operações. Além disso, na área de planejamento de estrutura da rede elétrica e no gerenciamento de ativos (gerenciamento da transferência de potências nas linhas), prospectou-se a eficiência de uma ferramenta onde uma representação em 3D contextualizando a cidade com sua topografia, construções, edificações, etc., facilitaria determinadas tomadas de decisões. Neste contexto, a interface interativa foi baseada em ambientes virtuais facilitando a manipulação de grandes quantidades de dados e permitindo uma maior contextualização do sistema elétrico.

Nesse artigo são descritos os processos utilizados para o desenvolvimento do protótipo do módulo da Interface Interativa. Para melhor apresentação, esse módulo foi dividido em dois sub-módulos: Modelamento da Interface 3D (seção 2) e o *Kernel* do Ambiente Virtual (seção 3). A seção 4 apresenta a Implementação do *Kernel* do Ambiente Virtual, particularmente as funcionalidades de interação do ambiente. Finalmente, algumas considerações sobre este trabalho podem ser encontradas na seção 5.

2 Modelagem do mundo virtual

O desenvolvimento de um ambiente virtual no contexto do projeto em questão tem como objetivo gerar um ambiente realista em um ambiente computacional, de forma que uma pessoa que observa este ambiente 3D possa reconhecer todos os elementos visuais nele expostos e identificar o seu correspondente na realidade. Para tanto, torna-se necessária a criação de uma réplica virtual da realidade que contenha a maior parte possível de aspectos visuais do objeto real, como suas formas, cores, luminosidade, texturas, etc. Como esta é uma tarefa complexa, torna-se necessária a utilização de ferramentas que permitam contemplar, em um ambiente virtual, as características visuais que caracterizam um ambiente real.

Para o projeto foi realizada a criação de uma réplica virtual 3D da cidade de São Carlos (SP) e de sua respectiva rede de distribuição primária de energia elétrica. O processo de criação de um ambiente virtual, independente da ferramenta utilizada, pode ser dividido nas seguintes etapas: estudo do ambiente real que será replicado; modelagem dos objetos; definição de materiais e texturas; inserção dos modelos no ambiente virtual.

O ambiente virtual representa alguns bairros da região central da cidade e contém mapa de ruas e quarteirões, hidrografia, topografia, elementos da rede elétrica (elementos de carga, elementos de passagem, cabos, chaves, subestações) e construções que são pontos de referência da cidade. Para realizar o levantamento da região urbana de São Carlos (SP), uma equipe foi enviada a campo, primeiramente para estudar o mapa da região e suas construções, e em uma segunda etapa para estudar as características da rede elétrica primária da cidade.

Para o estudo do mapa da região e suas construções, contou-se com um mapa 2D da cidade no formato de um arquivo AutoCAD, imagens aéreas da cidade e arquivos de imagem (“.tiff”) das curvas de nível da cidade, fornecidos pela Secretaria de Habitação e Urbanismo da cidade de São Carlos (SP). Para o desenvolvimento do mapa 3D foi utilizado o mapa 2D de ruas da cidade no formato AutoCAD juntamente com as imagens das curvas de nível, cedidas pela Secretaria de Habitação e Urbanismo da cidade de São Carlos. Para os trabalhos de modelagem e texturização do mapa 3D foi escolhida a ferramenta 3DS MAX [6].

Paralelamente à tarefa descrita, foi realizado o trabalho de vetorização das curvas de nível, que representam a topografia da cidade. As imagens das curvas de nível cedidas pela prefeitura foram colocadas como plano de fundo no Adobe Illustrator [7], (uma ferramenta para edição de imagens) e então, utilizaram-se as curvas da própria ferramenta para desenhar sobre a imagem de referência e, assim obter as curvas de nível na forma vetorizada. A Figura 2.1 apresenta o trabalho de vetorização no Adobe Illustrator, mostrando a imagem das curvas de nível ao fundo e em vermelho as curvas já vetorizadas.

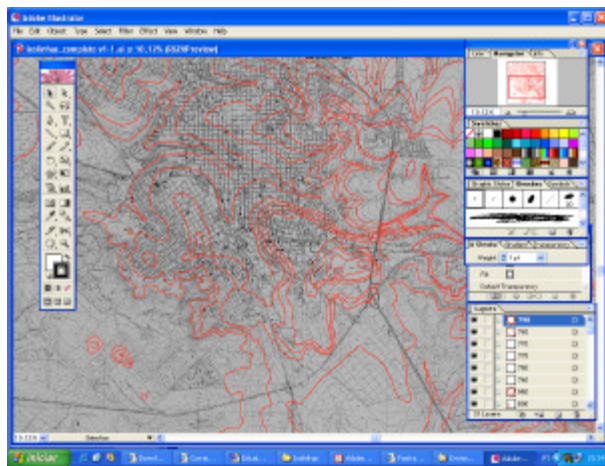


Figura 2.1: Vetorização no Adobe Illustrator.

A região central da cidade foi escolhida para o início dos trabalhos por possuir diversos pontos de referência,

como praças, igrejas, escolas, etc. Durante todo o trabalho de modelagem da cidade buscou-se um amadurecimento com o objetivo de descobrir uma técnica para modelagem de grandes quantidades de construções, como as presentes em qualquer grande cidade, de forma rápida e com qualidade. Foi utilizada a ferramenta 3DS MAX para modelar os objetos do mundo real em 3D. Também foram utilizados vídeos, resultado de uma sessão de filmagens das ruas e construções da região central da cidade para auxiliar a equipe no entendimento do ambiente real. A filmagem da cidade foi utilizada como fonte de estudo dos tipos de construções presentes em cada região e ainda as fotografias de construções específicas da cidade. Assim, foram criados diversos tipos de casas (populares, classes médias e altas), comércios, indústrias, construções públicas, etc., para povoar o ambiente virtual de acordo com os tipos de construções apresentadas no ambiente real.

Com relação ao estudo da rede elétrica primária da cidade, a empresa concessionária responsável pela rede de distribuição da cidade, no caso a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) foi contatada para auxiliar as equipes no entendimento dos elementos da rede e de seu respectivo funcionamento. Um mapa da própria CPFL, contendo o diagrama unifilar da rede elétrica primária, foi utilizado como referência da rede elétrica da cidade e para a elaboração da base de dados.

A maioria dos elementos da rede elétrica baseia-se em um elemento genérico de poste, mas com algumas diferenças de um para outro como transformadores, chaves, cruzetas, etc. Por este motivo um modelo genérico de poste foi criado e texturizado, utilizando-se uma metodologia que equilibrasse o número de polígonos do objeto e sua qualidade visual. A partir deste modelo, iniciou-se o processo de modelagem dos outros tipos de elementos, de acordo com suas características visuais e funcionais. Nesse momento, as fotografias dos postes e os desenhos dos documentos da CPFL mostraram-se imprescindíveis. Nessas imagens foram detectadas as partes do poste a ser modelado, como cruzetas, chaves, cabos, e a sua disposição em relação uma a outra. Ao término dessa etapa, já haviam sido modelados os quinze tipos de poste. Alguns desses modelos podem ser vistos na Figura 2.2.

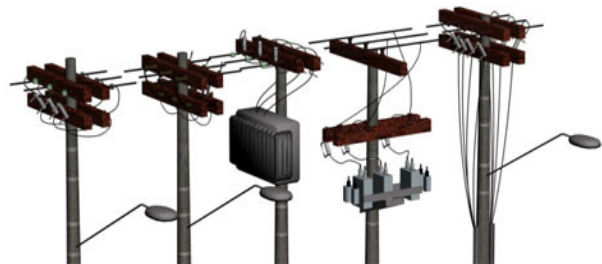


Figura 2.2: Modelos 3D de postes.

A partir dos modelos 3D criados no 3DS MAX foi realizada uma conversão de formatos para que esses modelos pudessem ser carregados na plataforma virtual (VR Juggler [8]). Essa plataforma suporta alguns formatos de modelos 3D, entre eles o código OpenGL e o gerenciador de desenhos OpenSceneGraph [9]. O primeiro passo para a conversão do formato dos arquivos dos modelos do 3DS MAX em formatos aceitos pelo OpenSceneGraph (“.osg” ou “.ive”) foi à instalação do plugin, chamado de OSGExp. Este é instalado diretamente na ferramenta 3DS MAX e torna a exportação de modelos 3D com texturas e materiais uma tarefa automática, bastando utilizar a função export do 3DS MAX. Esse processo tornou mais simples o trabalho de implantação dos modelos na plataforma virtual.

3 Kernel do ambiente virtual

O módulo do *kernel* do ambiente virtual é encarregado de prover a interface homem-computador (IHC) que permite ao usuário interagir com o sistema de uma forma dinâmica e intuitiva [10]. Uma interface homem-computador eficiente é extremamente importante, dada à quantidade e complexidade dos dados que o usuário deverá analisar e interpretar para poder tomar as melhores decisões na solução de um problema real baseado nas soluções propostas pelo sistema. A característica interativa dos ambientes virtuais facilita ao usuário a exploração dos dados da rede elétrica para obter uma melhor noção do problema, do contexto geral, assim como da solução que o sistema de distribuição propõe, permitindo ao usuário tomar decisões com mais facilidade e qualidade.

O *kernel* integra os modelos 3D que compõem o ambiente virtual, os dispositivos interativos do sistema, e as funcionalidades do ambiente virtual tanto para navegação através do modelo quanto para obtenção de informações do sistema de distribuição de energia providas pelo banco de dados e pelo módulo do AE com RCG. Assim, dada uma determinada consulta do usuário por meio da interface, o *kernel* faz a requisição para o banco de dados, no caso de serem requisitadas informações técnicas dos elementos do ambiente, ou fará a requisição ao módulo do AE com RCG para obter uma configuração da rede de distribuição de energia elétrica com menor dissipação de energia. Uma vez que o *kernel* obteve a resposta do módulo correspondente, gerará o ambiente virtual incluindo as novas informações (a imagem do ambiente interativo com a solução), isso quer dizer que mostrará a rede elétrica reconfigurada segundo a solução provida pelo AE com RCG, ou mostrará os dados técnicos do elemento da rede consultado, em um formato textual.

O *kernel* utiliza diferentes técnicas da computação gráfica que permitem criar a interface sintética tridimensional, o ambiente virtual, e as funcionalidades necessárias para que o usuário interaja com o sistema de distribuição. As funcionalidades providas pela interface permitem ao usuário:

- Consultar o sistema de distribuição de energia, tanto para obter informações técnicas dos elementos da rede, quanto da configuração da rede;
- Proporcionar informações relevantes ao sistema para calcular novas soluções, mediante a seleção de determinados elementos da rede, como por exemplo, a seleção das chaves de energia que mudaram de estado, fato que gera a necessidade de uma nova configuração da rede;
- Obter soluções do sistema enriquecido com detalhes geográficos do ambiente no qual está inserida a rede de distribuição de energia elétrica.

O desenvolvimento da interface pode ser resumido por etapas, cada uma das quais envolve tarefas específicas que identificam a mesma. Logo as etapas podem ser caracterizadas pelas seguintes tarefas:

- Planejamento da interface do sistema;
- Implementação do *kernel* do sistema de distribuição;
- Testes e otimização do ambiente virtual;
- Avaliação dos resultados.

A tarefa de implementação do *kernel* do sistema de distribuição é a mais extensa e complexa. Esta tarefa pode ser subdividida nas seguintes sub-tarefas:

- Criação da estrutura do ambiente virtual;
- Migração dos modelos 3D para o ambiente virtual;
- Estabelecimento dos protocolos de comunicação entre o *kernel* e o banco de dados;
- Geração da rede elétrica e do contexto geográfico a partir do banco de dados e dos modelos 3D;
- Criação e ajuste do sistema de navegação do ambiente;
- Detecção, seleção e identificação dos elementos da rede;
- Criação de menus de consulta;
- Obtenção de informações de elementos selecionados;
- Estabelecimento dos protocolos de comunicação entre o *kernel* e o módulo do AE com RCG;
- Inserção da solução proposta pelo módulo do AE com RCG no ambiente virtual.

Uma vez desenvolvido o *kernel*, ele deve ser testado, avaliado e otimizado até atingir um nível adequado de desempenho, segundo as necessidades da aplicação e as especificações gerais dos ambientes virtuais.

Entre os principais resultados, decorrentes da aplicação do ambiente virtual como interface do sistema de distribuição de energia, tem-se:

- O sistema oferece uma interface interativa que permite dinamizar o trabalho com dados complexos ou em grandes quantidades, como os envolvidos em um sistema de distribuição que deve ser capaz de suportar grandes redes;
- A interface facilita a interpretação dos dados oferecidos pelo sistema de distribuição;

O usuário obtém informações mais completas que facilitam a avaliação das alternativas de soluções propostas pelo sistema.

4 Implementação do *kernel*

O ambiente de desenvolvimento utilizados na visualização e interação está focado na utilização de *software* com a filosofia de código aberto (*open source*). Considerando que as ferramentas comerciais atuais de desenvolvimento de aplicações com interfaces gráficas sofisticadas com o objetivo de gerar os ambientes virtuais, possuem um custo muito alto, foi uma solução eficiente e conveniente. A plataforma de desenvolvimento do sistema de distribuição de energia é Linux. Para a comunicação das informações referentes aos dados de rede elétrica entre o módulo do ambiente virtual e os outros módulos adotou-se o sistema gerenciador de banco de dados PostgreSQL [11]. Para o desenvolvimento do *kernel* do ambiente virtual, foram selecionadas diferentes ferramentas de desenvolvimento, segundo diferentes critérios como, portabilidade, flexibilidade e principalmente a capacidade de trabalhar com ambientes virtuais 3D e dispositivos de interação de última geração. Essas ferramentas são: VR Juggler e OpenSceneGraph. Como aplicações que manipulam modelos tridimensionais exigem um alto desempenho gráfico foi necessário à utilização de uma placa gráfica com aceleração 3D. Nas Figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 são mostradas algumas vistas da interface 3D modelada.

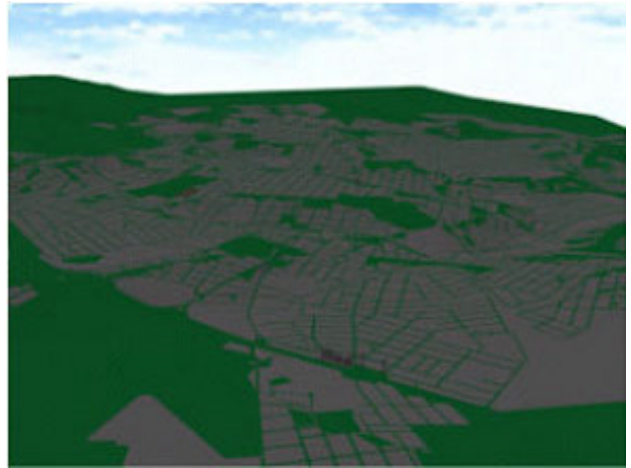


Figura 4.1: Vista do mapa tridimensional de São Carlos (SP) que mostra a topografia da cidade.

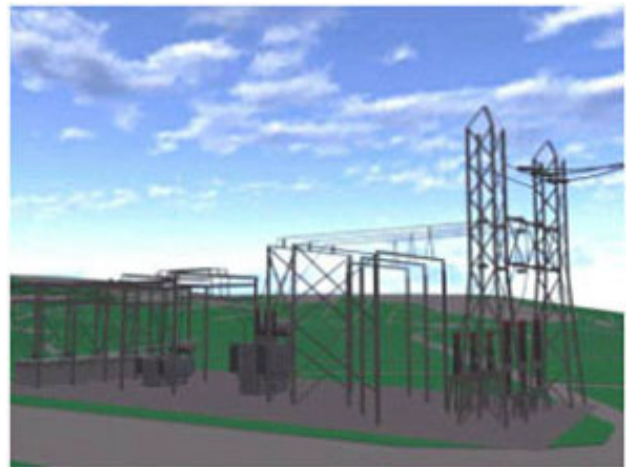


Figura 4.2: Vista da subestação Paraíso.



Figura 4.3: Elementos da rede elétrica.



Figura 4.4: Exemplo de modelagem 3D dos quarteirões da cidade.

No *kernel* foram implementadas as funcionalidades de interação do usuário com o ambiente virtual mediante o reconhecimento dos objetos inseridos no espaço virtual e posterior seleção do objeto escolhido. Essa funcionalidade é necessária para que o usuário interaja com o módulo do AE para a obtenção de novas soluções do problema de redistribuição de energia.

Primeiramente, foi implementada a funcionalidade de detecção de elementos. Para implementar esta funcionalidade foram utilizadas técnicas de transformação de sistemas de coordenadas para obter as coordenadas dos objetos no mundo virtual, a partir dos dados armazenados nas estruturas do OSG, e as coordenadas do usuário durante a navegação, representada por um apontador. Os dados do usuário são obtidos pelos dispositivos de entrada manipulados mediante métodos do VRJuggler. Todos os dados são transformados para um mesmo formato (OSG) para poderem ser manipulados e comparados. Logo foi implementado um método para calcular as interseções do apontador com os objetos do mundo virtual, para identificar o elemento intersectado para posterior manipulação. Essa funcionalidade servirá também de base para a consulta e editoração de dados do sistema por meio da interface.

Foram definidas as classes e funções que interagirão com os dados para manipulação do modelo do mundo virtual, de forma a proporcionar ao ambiente novos elementos de exploração. Tais requisitos são fundamentais para poder interagir com o mundo virtual. Para isso, foi necessária a utilização de técnicas de construção geométrica de objetos em 3D, posicionamento espacial, projeções, detecção de elementos, entre outras.

Posteriormente, foi implementada a funcionalidade de seleção de elementos. Uma vez implementada a detecção de um objeto, é possível obter informações que permitem identificar o objeto, como por exemplo, seu

nome. Essas informações são armazenadas, e para cada objeto é inserido um indicador visual (um ícone posicionado sobre o objeto) na matriz de navegação, isso permite ao usuário identificar visualmente o conjunto de objetos que já tem selecionado (Figuras 4.5 e 4.6).

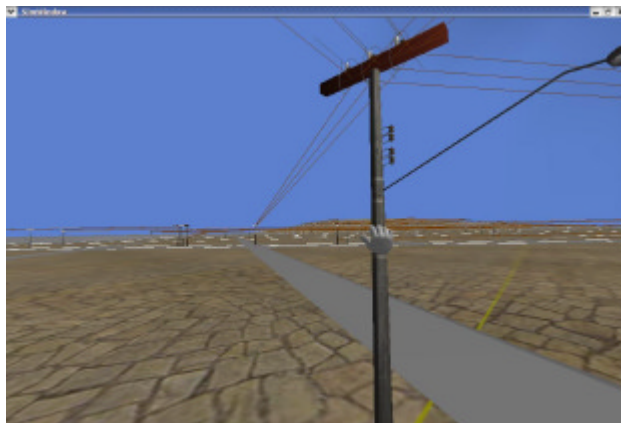


Figura 4.5: Seleção de um objeto para posterior consulta ao sistema de otimização de perdas de energia.



Figura 4.6: Consulta de dados mediante janelas virtuais: ambiente Virtual do Sistema com múltiplas consultas.

4.1 Desenvolvimento de um editor para alteração do sistema

Nessa etapa foram desenvolvidas algumas funcionalidades de um editor de dados embutido no ambiente gráfico. O editor permite ao usuário inserir novos elementos no banco de dados e editar dados já armazenados no banco. A editoração deverá ser feita por meio da interface utilizando dispositivos de entrada de dados alternativos como as luvas de dados, os apontadores, teclados virtuais e outros recursos. Os protocolos de comunicação com esses recursos foram adaptados segundo os requerimentos do sistema.

Essa atividade oferece múltiplas formas de implementação, dependendo dos elementos ou dados que se deseja modificar. Para esta etapa do projeto foram implementadas algumas formas de editoração, sendo que foi restringido ao equipamento disponível. As atividades desenvolvidas dentro desta etapa foram:

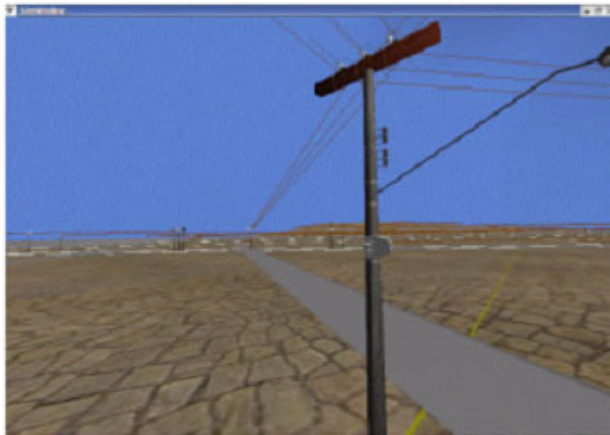
- Implementação das funcionalidades de edição no posicionamento dos elementos da rede elétrica;
- Implementação das funcionalidades de inserção de novos elementos da rede elétrica no espaço do ambiente virtual de forma georeferenciada.

A construção da interface permitiu a detecção de elementos inseridos com coordenadas erradas dentro da rede elétrica. A partir da necessidade observada de editar o posicionamento de alguns elementos no espaço virtual, foram implementados métodos que permitissem capturar um determinado elemento mediante o apontador que representa o usuário dentro do ambiente virtual e, como se fosse um objeto pego com a mão, reposicioná-lo onde melhor convenha (Figura 4.7). Para isso, foram implementados métodos para a captura da

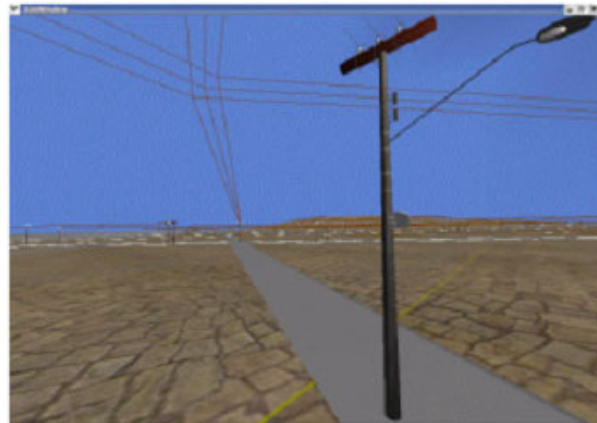
nova posição em coordenadas compatíveis com as coordenadas armazenadas na base de dados do sistema, e métodos para atualizar as coordenadas do elemento reposicionado.

Foi implementada a funcionalidade de edição no qual o usuário é capaz de inserir novos elementos da rede elétrica a partir de um conjunto de modelos 3D disponíveis. A inserção é feita diretamente no espaço do ambiente virtual mediante o posicionamento adequado do apontador de navegação e a seleção da opção adequada (Figura 4.8). Essa nova informação é armazenada no banco de dados do sistema para que se mantenha a integridade dos dados.

Finalmente, cabe mencionar que a aplicação foi desenvolvida no modo simulado que utiliza o teclado e mouse, porém existe a possibilidade de substituí-los por dispositivos mais sofisticados, adequados para a interação com aplicações em mundos virtuais, como luvas de dados e rastreadores de movimento. Assim o teclado e o mouse são utilizados para navegar e para aceitar ou rejeitar opções de interação e estados da interface.



(a)



(b)

Figura 4.7: Editoração das coordenadas dos objetos mediante a interface. As figuras: a) e b) correspondem ao ambiente virtual do sistema onde um poste é reposicionado, tendo como ponto de referência as linhas de cabos que cruzavam sobre ele.

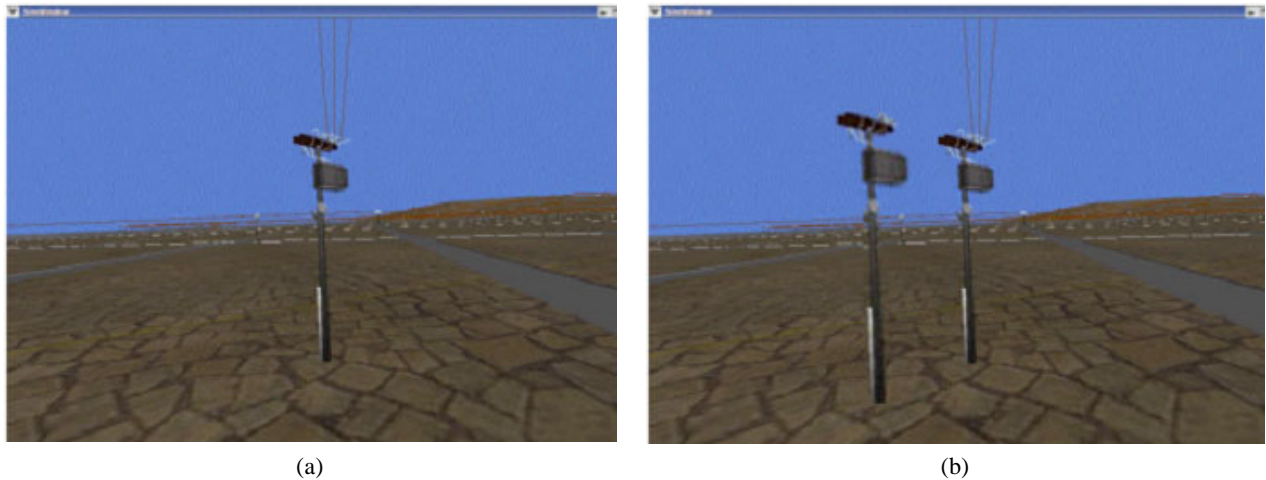


Figura 4.8: Editoração da interface por meio da inserção de elementos diretamente pela interface: a) uma posição é selecionada; b) um novo poste é inserido na posição previamente selecionada.

5 Considerações finais

Com relação à interface interativa, um dos principais fatores da complexidade do desenvolvimento foi o fato de estar lidando com elementos gráficos bidimensionais (texto) e tridimensionais (elementos da rede e cidade), em um espaço tridimensional virtual. Além disso, foi necessário manipular elementos gráficos provenientes de distintas fontes (arquivos externos, elementos criados durante execução e elementos das diferentes bibliotecas utilizadas).

As duas bibliotecas utilizadas, OpenSceneGraph (OSG) para o gerenciamento do desenho, e VRJuggler para o gerenciamento dos dispositivos de interação, se mostraram em termos gerais eficientes. Os principais problemas de desenvolvimento utilizando estas bibliotecas ocorreram devido à falta de documentação para sua adequada utilização independente uma da outra, além da falta de informação sobre a forma em que interagem ambas as bibliotecas quando são integradas em uma mesma aplicação.

Com relação a trabalhos futuros, pretende-se criar novas formas de editoração de dados armazenados no banco de dados do sistema por meio de teclados virtuais. Com a inclusão desse dispositivo alternativo, irá se tornar desnecessária a utilização do teclado convencional. Pode-se acrescentar animações durante a seleção de objeto. Por exemplo, se o problema da seleção é reduzido para elementos específicos, como as chaves, pode se implementar uma rotina para mudar visualmente o estado das chaves selecionadas. Essas chaves formam parte da consulta ao módulo do AE com RCG. A implementação das funcionalidades de interação pode ser estendida de forma a disponibilizar uma maior quantidade de informações por meio de um

menu interativo. Esse menu interativo disponibilizaria um número de opções, como por exemplo, diferentes tipos de requisição ao sistema. O menu seria ativado mediante a seleção e identificação de um objeto do ambiente virtual. Segundo o objeto selecionado e a opção desejada, diferentes consultas ao banco de dados seriam realizadas de forma imediata. Também seria possível estender a funcionalidade de edição, como por exemplo, com a inserção de novos elementos da rede elétrica ao mundo virtual, a partir de um conjunto de modelos 3D disponíveis, que seriam oferecidos mediante um menu de elementos e modelos de cada elemento.

A consolidação do projeto técnico permite a criação de condições para implantação da solução computacional para redução de perdas em redes de distribuição de energia elétrica baseada em AE, e interfaces interativas utilizando ambientes virtuais. Este sistema desenvolvido provê um grau de assimilação muito elevado do conhecimento transmitido ao operador, pois promove estímulos visuais e interativos, produzindo um processo de tomada de decisão com um maior número de informações.

Como sub-produtos do desenvolvimento relacionados à interface 3D proposto nesse projeto, pode-se gerar três tipos de sistemas: sistemas de visualização, de simulação e de monitoramento. O sistema de visualização é composto de uma interface que permite ao usuário navegar livremente sobre o ambiente virtual. Este tipo de sistema pode ser utilizado para auxiliar, por exemplo, na elaboração de um plano diretor de uma cidade, para sistemas de localização (mapa virtual), acesso e manipulação de grandes volumes de informações, turismo virtual, entre outros. Os sistemas de simulação são adequados para qualquer

implantação de estrutura ou serviço que provoque alguma espécie de impacto sobre um ambiente, permitindo que essa implantação seja planejada e testada previamente em um ambiente virtual. Dessa forma, o processo torna-se mais eficaz, pois as variáveis são melhor definidas para uma implantação real. Alguns exemplos deste tipo de sistemas são: simulação de transmissão de ondas eletromagnéticas em ambientes urbanos para definição de pontos de colocação de antenas, planejamento e simulação de sistemas de saneamento básico, planejamento urbano, etc. Os sistemas de monitoramento podem ser utilizados para realizar o acompanhamento de produtos ou serviços em um determinado ambiente. Por exemplo, para sistemas de localização de veículos rastreados, logística de produtos, etc.

Outro ponto inovador do projeto é a utilização futura de clusters para renderização. O que permitirá a diminuição de 45% a 68% dos custos de projetos técnicos envolvendo a utilização de interfaces virtuais. Com os clusters é possível utilizar vários computadores de baixo custo ao invés de estações gráficas de custo elevado. O que possibilita um diferencial de destaque para o sistema, tornando-o competitivo no exterior.

Estuda-se como extensão desse projeto, a geração automática ou semi-automática da cidade virtual utilizando-se fotos aéreas da cidade. Por meio de técnicas de Visão Computacional, pretende-se identificar construções, praças e áreas pavimentadas como ruas, avenidas e rodovias. Estuda-se também, técnicas e ferramentas existentes no mercado para gerar de uma forma mais automática as construções que são pontos de referências da cidade.

É importante salientar que existe todo um know-how que está sendo gerado com o desenvolvimento dos módulos para criação da interface interativa baseada em ambientes virtuais. Esse know-how pode estar consolidado em outros países, mas certamente não nos países do Mercosul. Isso permite uma independência tecnológica da região e o fortalecimento do produto tecnológico nacional.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) por meio do programa de Inovação Tecnológica em Pequenas Empresas (Processos: 02/07862-3 e 03/10954-0), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) juntamente à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). Agradecem também a secretaria municipal de habitação e urbanismo da cidade de São Carlos (SP), ao Prof. Dr. Alexandre Delbem do Instituto de Ciências Matemática e de Computação da Universidade de São

Paulo (ICMC/USP), a Profa. Dra. Maria Stela Veludo de Paiva da Universidade de São Paulo (EESC/USP) e a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) regional de Ribeirão Preto (SP).

Referência bibliográfica

- [1] Valerio Netto, A. (2003). Sistema Computacional para Redução de Perdas na área de Energia com Interface Interativa, PIPE FAPESP, URL: <http://watson.fapesp.br/PIPEM/Pipe13/comput1.htm> [Visitado em Janeiro de 2004].
- [2] Delbem, A. C. B. (2002). Restabelecimento de Energia em Sistemas de Distribuição por Algoritmo Evolucionário Associado a Cadeias de Grafos, São Carlos (SP), 139 Pp., Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- [3] Fukuyama, Y., et al. (1996). Parallel genetic algorithm for service restoration in electric power distribution systems. *Electrical Power and Energy Systems*, 18:111-119.
- [4] Hsiao, Y.T. & Chien, C.Y. (2000). Enhancement of restoration service in distribution systems using a combination fuzzy-ga method. *IEEE Transactions on Power Systems*, 15:1394-1400.
- [5] Augugliaro, A., et al. (2000). Multiobjective service restoration in distribution networks using an evolutionary approach and fuzzy sets. *Electrical Power and Energy Systems*, 22:103-110.
- [6] 3D Studio Max (2003). Overview of functions 3D Studio Max 6.0, URL: <http://www.discreet.com/support/documentation/> [Visitado em maio de 2005].
- [7] Adobe Illustrator (2005). Adobe Illustrator Product Info URL: <http://www.adobe.com/products/illustrator/main.html> [Visitado em maio de 2005].
- [8] VRJuggler (2003). Documentation of VRJuggler URL: <http://www.vrjuggler.org> [Visitado em maio de 2005].
- [9] OSG (2005). Open Scene Graph, URL: <http://openscenegraph.sourceforge.net/index.html> [Visitado em maio de 2005].
- [10] Valerio Netto, A. et al. (2002). *Realidade Virtual: Fundamentos & Aplicações*, Visual Books Editora, Florianópolis - SC, 100 Pp., Agosto.
- [11] PostgreSQL (2005). Documentation of PostgreSQL URL: <http://www.postgresql.org/> [Visitado em maio de 2005].