

DESENVOLVIMENTO DE SIG 3D COM *OPENSOURCE* PARA A ÁREA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

3D GIS Development with Opensource applied to Electrical Energy Distribution

Marcelo Antonio Nero^{1,2}
Nelkis de la Orden Medina¹
Ricardo Luis Guimarães dos Santos¹
Rodrigo Amaral Lapa¹
Sérgio Ferreira da Silva¹
João Paulo Müller da Silva¹
Christiane Regina Soares Brazil¹

¹**Cientistas Associados Desenvolvimento Tecnológico Ltda**

Divisão de Sistemas

R Alfredo Lopes 1.717 – Vila Elisabeth
13.560-460 São Carlos – SP – Brazil
marcelo.nero@cientistasassociados.com.br
nelkis.medina@cientistasassociados.com.br
ricardo.guimaraes@cientistasassociados.com.br
rodrigo.lapa@cientistasassociados.com.br
sergio.ferreira@cientistasassociados.com.br
jp.joaopaulo@gmail.com
christianebrasil@gmail.com

²**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP**

Departamento de Engenharia de Transportes

Informações Espaciais

Grupo de Pesquisa de Controle de Qualidade em Cartografia

Av Prof. Luciano Gualberto TV 3 Butantã
Caixa Postal 61548 05424-970 São Paulo-SP Brazil
marcelo.nero@gmail.com

RESUMO

Este artigo tem por objetivo a descrição do desenvolvimento de um projeto de SIG 3D com uma nova concepção, a qual integra a visão 2D tradicional, a visão 3D e a visão do Diagrama Unifilar (DU), este último básico das aplicações da distribuição de energia elétrica. Este projeto tem como tema a distribuição de energia elétrica e seu objetivo é a interação entre os três ambientes. O sistema permite através do seu algoritmo evolutivo (AE) a otimização do processo de reconfiguração e restauração. O sistema, denominado ENS3D (*Energy Network System 3D*) inclui um ambiente virtual tridimensional, onde são observados os elementos da cartografia básica, os principais edifícios da cidade de São Carlos e os ativos da rede de distribuição de energia elétrica configurados com o algoritmo evolutivo.

Palavras chaves: SIG 3D, *Opensource*, Cartografia Básica, Cartografia Temática, Energia Elétrica, Algoritmo Inteligente.

ABSTRACT

The aim of this article is to describe a new conception for a 3D GIS project development, which is an integration of 2D and 3D visions with a Power Diagram scheme, where the last one is a basic application for electrical power distribution. The theme for this project is the electrical power distribution and the aim is the integration for the three environments. By applying the evolutive algorithm (EA) this system contributes to the optimization of resetting and restoration processes. This system is named ENS 3D (*Energy Network System 3D*) and it includes a virtual three-dimensional environment, which enables the use of basic cartography elements, São Carlos main buildings and the electrical power network with the evolutive algorithm effects.

Keywords: 3D GIS, *Opensource*, Basic Cartography, Thematic Cartography, Electrical Energy, Intelligent Algorithm.

1. INTRODUÇÃO

O uso de SIG (Sistema de Informação Geográfica) foi originalmente restrito ao processamento, análise e representação de dados espaciais em 2D (visão no plano) e apesar de ter-se tornado um sofisticado sistema de manutenção e análise, tanto espacial quanto temático (STOTER e ZLATANOVA, 2003) apresenta limitação em relação à proximidade entre a interface da aplicação e o mundo real. Apesar desta limitação ter sido resolvida com o lançamento das plataformas de SIG 3D, o desenvolvimento deste tipo de SIG é muito mais complexo devido ao detalhe das informações e cartografia requeridas, o que aumenta de modo considerável os custos (ZLATANOVA *et al*, 2002). A referida complexidade também foi abordada mais recentemente em LEE e ZLATANOVA (2008), BOGUSLAWSKI e GOLD (2009).

Conforme afirmam ZHU *et al* (2005), um dos maiores problemas desses sistemas é a heterogeneidade de dados e formatos. Com a utilização de softwares que simulam espaços em três dimensões é possível uma interpretação mais ágil e precisa de uma grande quantidade de informações. Isso possibilita uma melhor compreensão das relações espaciais existentes entre os elementos analisados e facilita a visualização de situações complexas, cuja representação só seria possível através de um grande volume de mapas ou documentos.

No caso das empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica o SIG tradicional representa uma poderosa ferramenta de gestão territorial. A incorporação do SIG 3D permite uma melhor interação, sendo de grande valia em situações onde a visualização tridimensional oferece melhores recursos para a tomada de decisão e também em um melhor controle no monitoramento dos ativos aterrados (tendo em vista SÃO PAULO, 2005, 2006). Outra vantagem importante é a possibilidade de visualizar os vários cabos da rede com as suas diferentes fases (tensões), de um modo bem menos poluído visualmente do que no SIG 2D e muito mais interativo.

Com o objetivo de oferecer versatilidade ao sistema na visualização da rede elétrica de forma contextualizada, suportando funções específicas como a navegação, focalização dos elementos da rede, dentre outras, surgiu a proposta da concepção do sistema ENS 3D (*Energy Network System 3D*), que integra um sistema inteligente com algoritmo evolutivo a um ambiente virtual em uma plataforma SIG.

A seguir é apresentada a concepção do projeto e descritas as fases de desenvolvimento do mesmo.

2. CONCEPÇÃO

Os sistemas de distribuição de energia elétrica apresentam possibilidades de alteração da topologia, por meio da abertura/fechamento de chaves seccionadoras, localizadas em pontos estratégicos, de modo a permitir a

reconfiguração (reduzir perdas) ou a restauração (restaurar o sistema na ocorrência de um defeito).

No caso da restauração, além dos critérios técnicos, outros critérios devem ser considerados, tais como a localização geográfica do defeito e os consumidores afetados pela falha. Neste sentido, é essencial minimizar a quantidade de consumidores afetados e levar em consideração aqueles que são prioritários (hospitais, indústrias, corpo de bombeiros, entre outros) nos quais a interrupção do fornecimento de energia deve ser evitada a todo custo. Por outro lado, dados como a localização de ferrovias, rios e pontes são importantes na operação de um sistema de distribuição de energia elétrica (CRISPINO, 2001).

Neste trabalho usa-se um Algoritmo Evolutivo com Representação por Cadeias de Grafo (AE com RCG) para otimização destes problemas com emprego da metodologia de DELBEM (2002) e DELBEM *et al* (2002).

No desenvolvimento do ambiente virtual foram utilizadas diversas bibliotecas OpenSource, tal como as do conjunto do VTP (*Virtual Terrain Project*, que inclui a OGR, GDAL, vtdata e vtlib, ver VTP, 2006 e GDAL, 2006), MFC (Microsoft Foundation Class) e o GDI+ (*Graphics Device Interface Plus*), as quais serão tratadas com mais detalhe adiante. Todas baseada em Visual C++ e para sistema operacional *Windows*. A arquitetura básica do sistema é apresentada na figura 1.

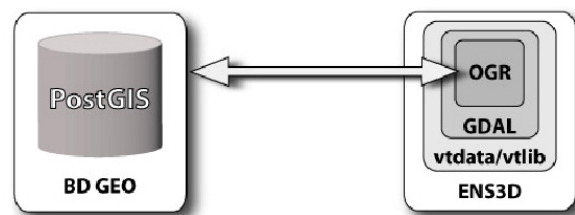


Fig. 1 - Arquitetura básica do ENS3D.

Fonte: MEDINA *et al* (2006).

3. DESENVOLVIMENTO

A seguir é abordado com detalhe todo o processo de desenvolvimento do sistema, abrangendo a modelagem de dados espaciais, a implementação do AE, a criação de toda a infra-estrutura cartográfica para SIG, a modelagem tridimensional, a utilização de código aberto e a concepção das interfaces.

3.1 Modelo de dados espaciais

Primeiramente, foi criado um modelo de dados relacional convencional, sem considerar as entidades geográficas para a base de dados temática (elementos referentes à área de distribuição de energia elétrica). Já numa segunda etapa foi criado o modelo de dados espaciais, levando em conta a aplicação para SIG, o que pode ser visualizado na figura 2.

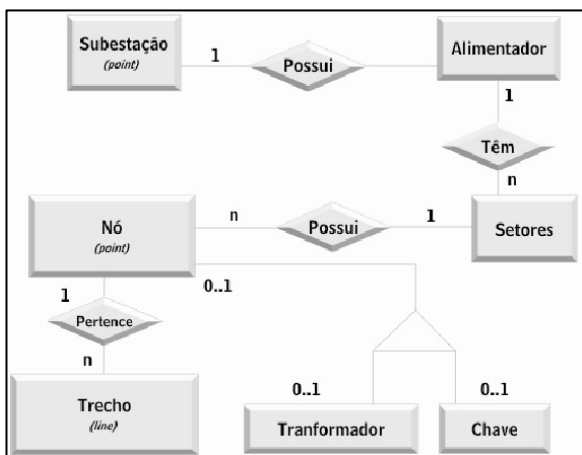


Fig. 2 - Modelo entidade-relacionamento para a base de dados temática.

No que se refere à modelagem espacial da base cartográfica, está seguiu conceitos semelhantes aos aplicado para o caso da base de dados temática. No entanto, todas as tabelas possuem o campo de entidade geográfica, correspondentes a pontos, linhas ou polígonos (*point, line, polygon*).

Todas as tabelas, tanto da base de dados temática, como da base de dados espacial da base cartográfica, foram armazenadas no banco de dados PostgreSQL (POSTGRESQL DEVELOPMENT GROUP, 2007) em ambiente Linux. O PostgreSQL é um sistema gerenciador de banco de código aberto. Adicionalmente, para utilizar o conceito de banco de dados espacial foi também utilizada a extensão PostGIS (REFRACTIONS RESEARCH, 2005).

Isso foi possível por meio da prévia modelagem dos dados cartográficos no ambiente do *MapInfo Professional* e exportação para o formato Esri Shapefile. Finalmente, cada uma das tabelas geográficas no formato Esri Shapefile foram importadas para o PostGIS. Esses procedimentos são apresentados a seguir.

3.2 Criação da infra-estrutura cartográfica para SIG

Neste item é apresentada toda a estruturação da Base Cartográfica (mapa da cidade de São Carlos) e da Base de dados Temática (ativos da rede de distribuição de energia elétrica).

Toda esta estruturação de dados espaciais teve como base o modelo de dados espacial desenvolvido anteriormente.

Além disso, ficou definido que o datum padrão seria o WGS-84, praticamente igual ao SIRGAS (Sistema de Referência para as Américas).

3.2.1 Base cartográfica

A base cartográfica refere-se ao conjunto de elementos representados na Cartografia clássica para o desenvolvimento de uma base de dados espacial temática. Para tanto, foram obtidos os seguintes arquivos digitais:

- Mapeamento Digital 1:2.000: arquivo no padrão AutoCAD contendo a hidrografia (rios, lagos, canais), planimetria (quadras, edifícios principais, guias, ferrovia, entre outros) e altimetria (pontos cotados e curvas de nível). Este produtos foram fornecidos pela Prefeitura Municipal de São Carlos e CDCC (Centro de Divulgação Cultural e de Ciências). Tal base cartográfica se encontrava com coordenadas UTM, no fuso 23, hemisfério Sul e no SAD69. A figura 3 apresenta a base cartográfica bruta de São Carlos.



Fig. 3 – Base cartográfica bruta de São Carlos.

- Eixos de rua de São Carlos: eixos de rua no formato *MapInfo* adquiridos junto à empresa privada, contendo atributos, tais como nome dos logradouros e numeração. Arquivo já preparado para utilização em SIG, que pode ser visto na figura 4.

- Imagem de satélite de alta resolução: imagem multispectral *Quick Bird*, com resolução espacial de 0,6 m, georreferenciada e fornecida por empresa privada. Esta pode ser visualizada na figura 5.



Fig. 4 – Arquivo digital de eixos de rua de São Carlos.

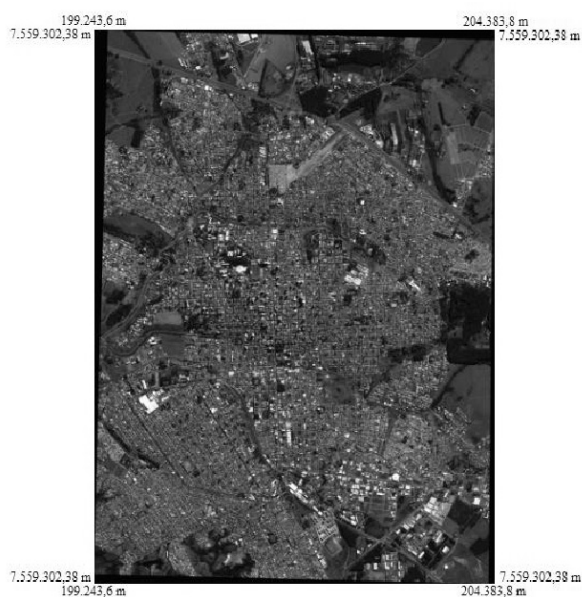


Fig. 5 – Imagem de satélite de alta resolução (Quick bird) de São Carlos.

Com respeito à base cartográfica 1:2.000, esta foi tratada de modo a se adequar perfeitamente ao ambiente SIG. Assim, foi realizado todo o processamento para a sobreposição de nós, fechamento de polígonos e a separação das feições cartográficas de acordo com o modelo de dados conceitual elaborado. Esse primeiro trabalho teve por objetivo a criação de uma base cartográfica digital para o ambiente 2D, cuja visualização de um trecho modelado é apresentada na figura 6. Além disso, todos os níveis de informação (“layers”) dessa base Cartográfica modelada tiveram as suas coordenadas convertidas do SAD 69 para o WGS-84. Finalmente, com o emprego do módulo *Universal Translator* do *MapInfo Professional*, foi realizada a conversão de toda essa base do formato MapInfo TAB para o formato *Esri Shapefile*, o qual foi então migrado para a base de dados *PostGre/PostGIS*.

Finalmente, toda a base cartográfica foi migrada para o banco de dados do PostgreSQL, aplicando a metodologia mencionada anteriormente.

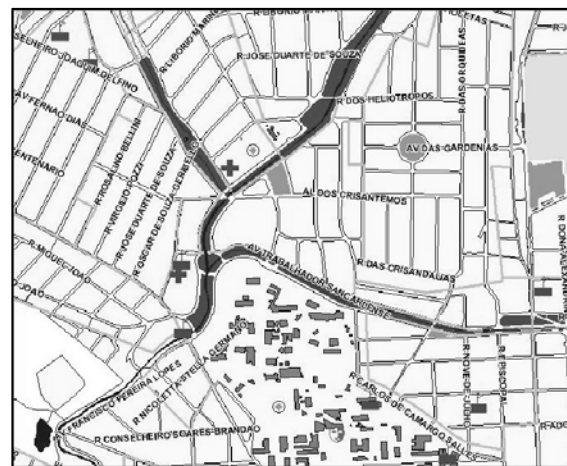


Fig. 6 – Base cartográfica de São Carlos modelada para uso em SIG.

Após toda a preparação e manipulação da base cartográfica, a mesma foi configurada com todos os “layers” de interesse para serem ou não visualizados conforme a escala apresentada em na tela. As escalas de referência definidas foram a 1:100.000, 1:50.000, 1:25.000 (estas 3 são padrões de representação do mapeamento sistemático no Brasil e adotada pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e pelo DSG – Diretoria de Serviço Geográfico), 1:10.000, 1:5.000 e 1:2.000 (três escalas comumente utilizadas para mapeamentos em escalas grandes).

Isto serviu como base para a replicação na visão 2D do ENS 3D.

3.2.2 Base temática

A base temática é composta pelos elementos cartográficos da rede de distribuição de energia elétrica e possíveis de representação espacial. Assim, correspondem às subestações (*point*), aos nós (*point*) e aos trechos (*line*).

A partir de uma planta em papel de um trecho da rede de distribuição de energia elétrica da cidade de São Carlos estes elementos foram digitalizados.

Posteriormente, todos estes elementos foram estruturados e armazenados em uma base de dados espacial relacional, seguindo o modelo de dados conceitual. Exemplo da visualização dos dados temáticos pode ser visto na figura 7.

Finalmente, toda a base temática foi migrada para o banco de dados do PostgreSQL, aplicando a metodologia mencionada anteriormente.

Adicionalmente, foram criadas as tabelas não geográficas a partir dos dados temáticos para formato texto (*.txt) e sendo estas importadas diretamente no PostgreSQL.

Tais tabelas são de fundamental importância para a funcionalidade do algoritmo evolutivo já integrado ao ENS 3D.

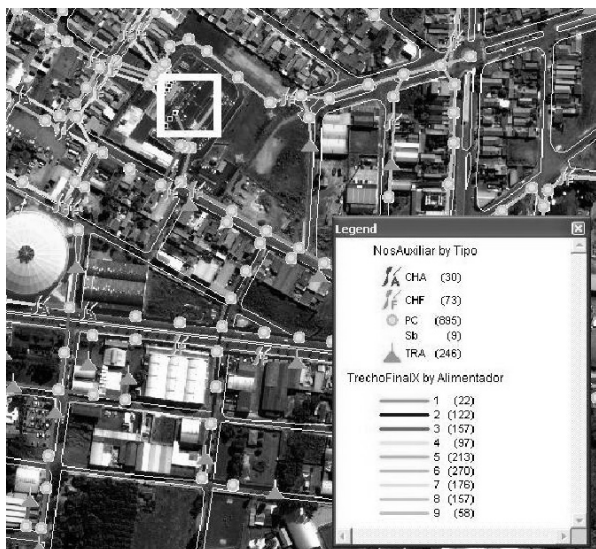


Fig. 7 – Dados temáticos em ambiente SIG.

3.2.3 Modelagem tridimensional

Em termos de modelagem de dados 3D, tem-se os seguintes elementos:

- MDT (modelo digital do terreno): responsável pela percepção do relevo no ambiente do SIG 3D. Este foi obtido a partir da digitalização de curvas de nível de plantas 1:2.000 da região e de pontos cotados da base cartográfica bruta. Além disso, houve um processo de edição para refinamento e adequação dos 25 edifícios da Cidade de São Carlos, o que foi feito com a utilização do módulo *GeoPack Site do MicroStation V8*, sendo produzido o resultado que pode ser visualizado na figura 8.

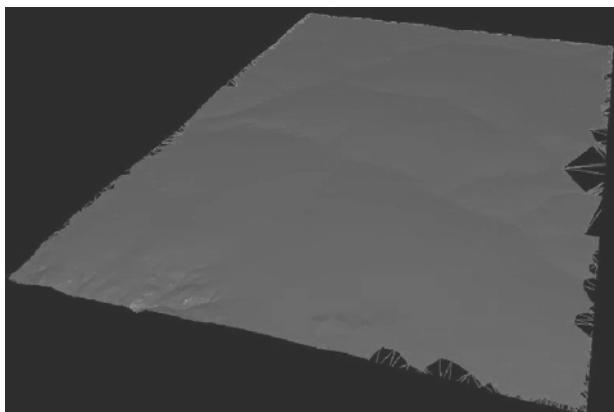


Fig. 8 – Modelo digital do terreno.

Posteriormente, este MDT refinado foi processado na extensão 3D Analyst do ArcGIS 9.0 e criado no formato GRD, cujo resultado pode ser visto na figura 9.

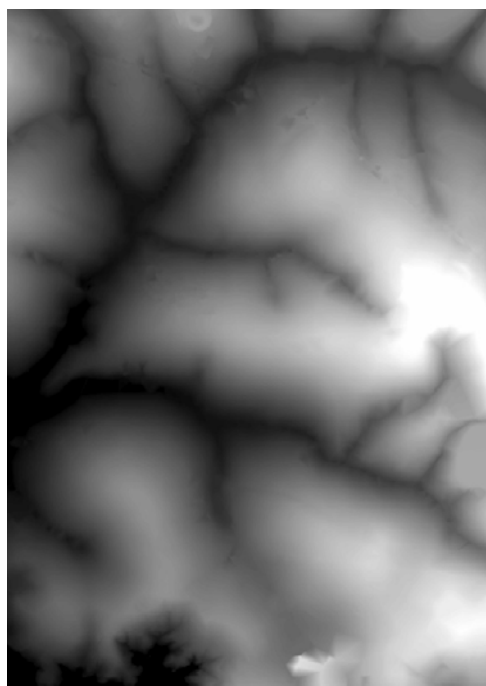


Fig. 9 – MDT gerado no ambiente do ArcGIS.

- Biblioteca de elementos 3D de tipos de postes: foi criada uma biblioteca de tipos de postes os quais são poste comum, poste com transformador, poste com chave aberta e poste com chave fechada (vide figura 10). Para tanto, foi utilizado o programa 3DMax, onde foram fotografados os diversos tipos de postes e elementos, sendo aplicadas as texturas. Isso permitiu que os elementos ficassem o mais próximo possível do que são na realidade.

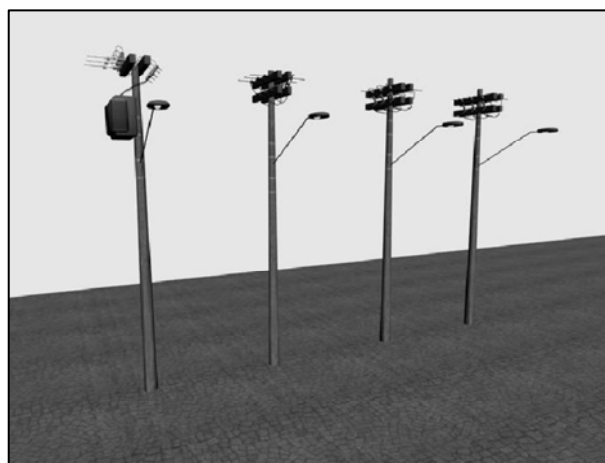


Fig. 10 - Modelos 3D dos tipos de postes.

- Principais edifícios da cidade de São Carlos: estes foram criados a partir de restituição fotogramétrica com o uso de fotos aéreas na escala 1:8.000, sendo criados os modelos com as suas arestas e pontos da plataforma de terraplanagem, como pode ser visto na figura 11. Nesta figura consta a Catedral e um edifício dos mais altos da cidade de São Carlos.

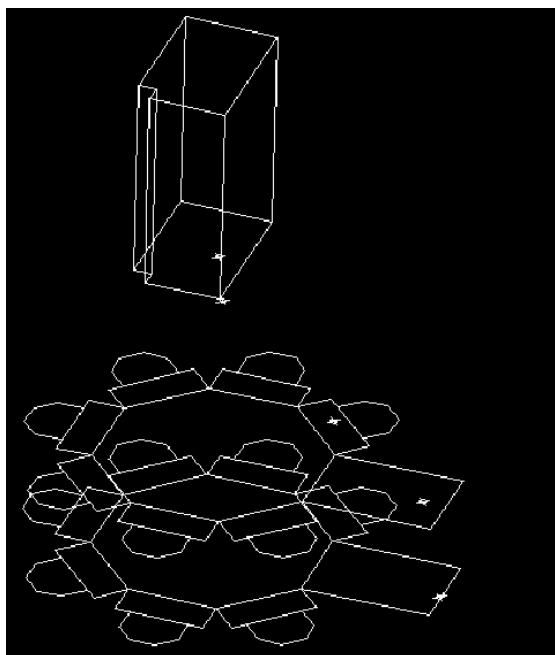


Fig. 11 - Modelos 3D obtidos da restituição fotogramétrica.

Foram selecionados cerca de 25 estabelecimentos, tendo como critério de escolha aqueles que fossem os principais consumidores de energia elétrica, tal como hospitais, indústrias, alguns do edifícios mais altos da cidade, a Catedral, entre outros. A partir dos modelos com as arestas básicas, criadas da restituição aerofotogramétrica, foram criados os modelos básicos de cada um destes no 3D StudioMax, como apresentado na figura 12.

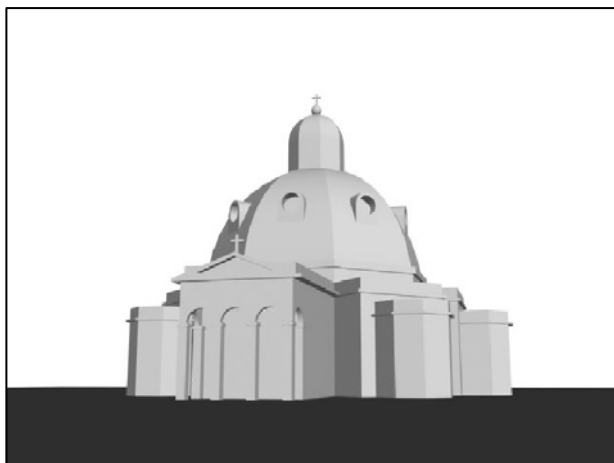


Fig. 12 - Modelos básico da Catedral criado no 3D StudioMax.

Adicionalmente, foi realizado um trabalho de campo para fotografar as fachadas, de modo a possibilitar a aplicação das texturas, com a aplicação da mesma metodologia que foi utilizada na criação dos modelos de postes. Na figura 13 é apresentado um edifício já com a textura aplicada, que no caso é a Catedral de São Carlos.



Fig. 13 – Modelo de edifício com textura.

Atualmente, existem métodos de coleta de dados 3D bastante rápidos e precisos, como o LIDAR (*Light Detection and Ranging*), que faz um escaneamento a laser da cidade num sobrevôo aéreo, como relatado em HAALA (2005). No entanto, o alto custo de operação ainda é um fator limitante para sua utilização e não foi viável dentro do contexto desse projeto.

Todos esses elementos foram migrados para o ambiente 3D do ENVIRO (módulo 3D do VTP). Na primeira etapa foram importados o MDT e a imagem aplicada como textura neste. Numa segunda etapa foram importados os elementos da rede de distribuição elétrica com os seus respectivos tipos de postes e com a sua respectiva orientação angular de acordo com a rua. Já na terceira etapa foram importados os 25 edifícios. O resultado pode ser visualizado na figura 14.



Fig. 14 – Ambiente do SIG 3D no Enviro.

3.4 Implementação do Algoritmo Evolutivo

Os algoritmos evolutivos (AEs) correspondem a um conjunto de técnicas e procedimentos genéricos e adaptáveis, inspirados na teoria evolutiva de Darwin (1859). Podem ser aplicados na solução de problemas

complexos, para os quais outras técnicas conhecidas são ineficazes. Além disso, utiliza a estratégia evolutiva (EE), que é uma técnica de otimização de números reais baseada nos conceitos de auto-adaptação e evolução natural (HOLLAND, 1975).

No contexto deste trabalho, o AE executa os processos de reconfiguração e restauração, os quais são descritos com detalhe nos subitens 3.4.1 e 3.4.2.

Para que fosse viável a execução do AE, foi necessário o desenvolvimento do módulo codificador, o qual é o responsável pela recuperação das informações do banco de dados e pela preparação das mesmas para serem utilizadas pelo algoritmo AE com RCG. O codificador é, portanto, o intermediário entre a base de dados do sistema elétrico e o AE com RCG (reconfigurador), armazenando os dados em estruturas de memórias.

Este algoritmo está integrado no sistema ENS 3D no Módulo de Restauração/Reconfiguração, O relatório de saída do algoritmo é mostrado de forma gráfica no ambiente tanto no ambiente 2D como no 3D, apresentando-se o novo estado das chaves de manobradas. No ambiente DU é fornecido o relatório com os resultados de forma textual, sendo apresentados: a seqüência de abertura/fechamento das chaves, identificação das chaves envolvidas na manobra e o estado das mesmas. Informa-se ainda o valor de energia consumida pela nova configuração.

3.4.1 Reconfiguração

No processo de reconfiguração o AE executa, basicamente os seguintes procedimentos:

- 1) Geração da população inicial, contendo somente um indivíduo correspondente à configuração original do sistema de distribuição de rede elétrica de uma dada cidade;
- 2) Execução do fluxo de carga com a utilização da representação da cadeia em grafos (RCG) para o primeiro indivíduo da população inicial;
- 3) Avaliação do indivíduo da população inicial;
- 4) Insere em estruturas de memória todos os setores do indivíduo original, todas as cadeias e todos os trechos;
- 5) Execução de um ciclo de n interações onde se realizam os seguintes procedimentos:

5.1) Seleção de um novo indivíduo;

5.2) Execução do gerador de configurações factíveis (GCF) a partir do novo indivíduo selecionado.;

5.3) Geração da estrutura que armazena as posições das árvores do indivíduo gerado pelas GCF;

5.4) Execução do fluxo de carga com o emprego da representação da cadeia em grafos (RCG) para o indivíduo reconfigurado;

5.5) Avaliação do indivíduo reconfigurado;

5.6) Verificação se a população será, de fato, alterada

6) Atualização do Banco de Dados com a nova configuração do sistema de rede de distribuição. A princípio, sendo alterado o estado dos trechos (cabos) e das chaves (aberta ou fechada). A nova configuração a ser selecionada do conjunto de configurações geradas pelo AE é aquela que possui menor perda de energia.

3.4.2 Restauração

A restauração do sistema de distribuição consiste na busca da melhor topologia com o maior número de cargas restauradas e o menor número possível de chaveamento. A rede deve manter a estrutura radial e os limites das capacidades de cargas dos alimentadores de subestações não devem ser violados. De um modo geral, são executadas as seguintes operações:

1) Isolamento do setor com defeito, onde são desligadas as algumas cargas e as chaves que interligam os setores adjacentes a esse devem ser todas abertas. Assim, os setores fora de serviço são energizados através dos alimentadores vizinhos;

2) Criação de uma lista com os setores desligados, e seus respectivos setores adjacentes.

3) Percorrendo a lista dos setores desligados, é realizada uma análise para verificar se o setor referente pode ser ligado ao setor adjacente. Essa análise é feita da seguinte forma: verifica-se se a capacidade reserva da subestação a qual o setor adjacente pertence é suficiente para alimentar esse novo setor.

3.5 Utilização de código aberto (opensource)

A utilização de código aberto tem a grande vantagem de redução de custo, ainda que exija um grande esforço computacional. No entanto, a infinidade de bibliotecas abertas e disponíveis pode muitas vezes compensar esses esforços.

No desenvolvimento desse projeto, mediante reuniões da equipe multidisciplinar, foi criada toda a especificação do sistema. Isso foi realizado por meio das estórias do usuário (BECK, 2000). Além disso, foi empregado código aberto (*opensource*).

A seguir são apresentadas as ferramentas básicas e os detalhes da elaboração da interface.

3.5.1 Ferramentas básicas de desenvolvimento

No desenvolvimento do ENS 3D foi utilizado o Microsoft Visual Studio.NET 2003. A escolha desta ferramenta justifica-se pela compatibilidade com as bibliotecas utilizadas na implementação do sistema.

Este processo demandou a integração de um número razoável de bibliotecas. Entretanto, a utilização de componentes de código aberto permitiu a personalização do sistema com mais facilidade. Embora o mesmo tenha sido desenvolvido para utilizar uma base de dados espaciais integrada, ele pode ser facilmente adaptado para a leitura de dados em diversos formatos de arquivos e de outros SGBD's (Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados).

A seguir são mencionadas as principais ferramentas usadas para a implementação dos módulos do sistema.

- Base de Dados Espaciais: o ENS 3D prevê a manipulação de bases de dados muito grandes, contendo informações geográficas e de rede de distribuição elétrica de cidades inteiras. Levando em conta esse aspecto, optou-se por um SGBDE (Sistema de Gerenciamento de Base de Dados Espaciais) de licença gratuita. Neste caso, o PostgreSQL/PostGIS.

- Ambiente 2D: na implementação deste ambiente utilizou-se da biblioteca OGR (Conjunto de bibliotecas baseadas em código C++ que possibilitam a manipulação e a leitura de vários tipos de dados vetoriais) para acesso aos dados espaciais. O GDI+ (*Graphics Device Interface Plus*), versão mais recente do GDI, um dos principais sub-sistemas do MS-Windows, foi utilizado para o desenho das geometrias da base de dados.

- Ambiente 3D: na criação do ambiente do SIG 3D utilizou-se o conjunto de bibliotecas livres VTP (*Virtual Terrain Project* – Projeto de Terreno Virtual), o qual é composto por duas bibliotecas: a vtlib e a vtdata. A vtdata utiliza as bibliotecas GDAL (*Geospatial Data Abstraction Library* – Biblioteca de Manipulação de Dados Espaciais) (GDAL, 2006), OGR (sub-biblioteca da GDAL para a manipulação de dados vetoriais) e PROJ.4 (para configuração de sistemas de projeção), entre outras. A vtlib utiliza as bibliotecas OpenGL, libMini e OSG para a renderização dos dados vetoriais obtidos pela vtdata (VTP, 2006).

- Ambiente DU: foi utilizada a mesma metodologia e bibliotecas mencionadas no desenvolvimento do ambiente 2D.

- Interface: escolheu-se também o gerenciador de janelas MFC para a implementação da interface do sistema, a qual é tratada com maiores detalhes no próximo item.

3.5.2 Implementação da interface

Para a implementação da interface partiu-se da concepção de um ambiente virtual integrando três

visões diferentes da rede de distribuição: diagrama unifilar, ambiente 2D e 3D.

No ambiente do diagrama unifilar é adotada uma representação esquemática do sistema de distribuição por meio de símbolos simples dos componentes da rede. O ambiente 2D visualiza o mapa georreferenciado de navegação da cidade e finalmente o ambiente 3D mostra o modelo tridimensional da cidade com os elementos elétricos da rede sobrepostos.

A interface foi desenvolvida usando o MFC (*Microsoft Foundation Class*) que é um conjunto de componentes reutilizáveis escritos em C++. Utilizando-se as classes disponíveis na biblioteca foram criadas as barras de ferramentas horizontal e vertical e os ambientes do sistema.

Na barra de ferramentas horizontal foram implementadas as funções que permitem a maximização/minimização das visões e apresenta as funcionalidades mais gerais, as quais se aplicam a todas as visões. Na barra de ferramentas vertical foram implementadas as funções específicas de cada visão.

Um exemplo do emprego da biblioteca MFC no desenvolvimento da interface está no uso da classe CTreeCtrl do MFC para a implementação de uma árvore com a finalidade de habilitar/desabilitar os *layers* associados à visão 2D. Por outro lado, os botões com imagem foram criados como instâncias da classe CButton do MFC.

Os três ambientes ficam sincronizados em todo momento e se complementam, propiciando ao usuário uma fácil navegação pelo ambiente virtual, rápida localização na paisagem urbana e referenciamento direto dos elementos visualizados no diagrama unifilar para a visão 3D.

4. RESULTADOS OBTIDOS

O projeto teve como resultado a criação do sistema ENS3D, um SIG 3D com três ambientes integrados, que permite a navegação conjunta em um ambiente temático “limpo” (visão DU), uma visão dos elementos temáticos sobrepostos à Cartografia Básica com conceitos de generalização cartográfica para a visualização (visão 2D) e um ambiente interativo e virtual como se estivesse no campo (visão 3D). Tudo isso ainda com a integração de sistema inteligente, ou seja, o AE. A figura 15 mostra a interface do ENS3D.



Fig. 15 - Interface básica do ENS 3D.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ambiente do SIG 3D representa uma poderosa ferramenta de interação do usuário com um cenário o mais próximo possível da realidade e que possibilita, inclusive, a simulação de fenômenos ou acontecimentos invisíveis ao olho humano. Dentre estes acontecimentos vale citar a poluição sonora, poluição do ar, propagação de sinais de antenas de celular (visualização, localização e distribuição dos buracos negros). Isso tudo possibilita realizar medições não apenas planas, mas também em termos de volume.

No que se refere à Cartografia utilizada para a modelagem de elementos 3D, deve-se ressaltar que houve a busca de uma metodologia considerada a mais viável economicamente para o propósito do projeto, o que remeteu para a aplicação da metodologia de restituição aerofotogramétrica de edifícios. Neste caso foram adquiridas fotos aéreas de um vôo mais antigo, pois os estabelecimentos que foram restituídos no modo 3D (edifícios que já existiam em 1998, quando foi realizado o vôo), não sendo necessário um novo aerolevante. Outro motivo também é o fato que como o projeto é de inovação tecnológica o mais importante, a princípio é a solução.

Quanto ao modelo de dados espaciais pode-se dizer que a modelagem para 2D já serve de base para a modelagem 3D. Nesse projeto o modelo de dados espacial 3D é mais simplificado, de modo a atender às finalidades pré-estabelecidas. Seria possível também, chegar a um nível de detalhe de cada componente de cada ativo da rede de distribuição de energia elétrica, ou seja, cada chave, poste, lâmpada poderia ser tido como um sólido 3D separadamente. Assim, cada um desses componentes teriam os seus atributos armazenados em tabelas específicas.

A utilização de ferramentas *Opensource* corresponde grande ganho em termos de custo. No entanto, também exige um grande esforço em termos de pesquisa e de busca de documentação disponível. Por exemplo, no caso da interface, se optou pelo uso do MFC por este possuir uma documentação muito mais completa. Outro fator importante é saber qual o sistema operacional mais adequado e utilizado pelo cliente, que neste caso apontou para o Windows. Isso limitou em muito a disponibilidade de bibliotecas de desenvolvimento para o SIG 3D, pois a maioria das pesquisas realizadas nesse sentido apontaram para o uso de bibliotecas apenas voltadas para SIG 2D. Assim, a maioria das bibliotecas encontradas para o SIG 3D eram para desenvolvimento em sistema operacional Linux ou estavam instáveis para o sistema operacional Windows.

A concepção do SIG 3D desse projeto serve de modelo básico para qualquer outra aplicação ou tema que se queira focar, tal como turismo, prefeituras municipais, meio ambiente, mapeamento subterrâneo, educação, saúde, mercado imobiliário, cadastro técnico multifinalitário, entre outros.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo apoio financeiro a esse projeto (processo número: 02/07862-3).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECK, K. *Planning Extreme Programming*. Addison-Wesley, 2000.

BOGUSLAWSK, P.; GOLD, C. *Construction operators for modelling 3D objects and dual navigation structures*. 2009. Disponível em: <<http://www.rgi-otb.nl/3dtopo/documents/RGI-011-145.pdf>>. Acesso em: 30/01/2009.

CRISPINO, F. **Reconfiguração de Redes Primárias de Distribuição de Energia Elétrica utilizando Sistemas de Informações Geográficas**. 2001. 124 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. Disponível: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-15042003-092110/publico/Reconfiguracao.pdf>>. Acesso: 30/04/2007.

DARWIN, C. *On The Origin of Species*, 1. ed. MA: Harward University Press, 1859.

DELBEEM, A. C. B., CARVALHO, A. C. P. L. F., BRETAS, N.G. *Distribution system reconfiguration using graph chain representation*. **IEEE T&D Latin America 2002**, CD-ROM, 2002.

DELBEEM, A. C. B. **Restabelecimento de energia em sistemas de distribuição por algoritmo evolucionário associado a cadeias de grafo**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2002.

GDAL. *GDAL Raster Formats*. Disponível em: <http://www.gdal.org/formats_list.html>. Acesso em: 10/05/06.

HAALA, N. *Towards Virtual Reality GIS. Photogrammetric Week 05*, Dieter Fritsch, Wichman Verlag, Heidelberg, p. 285-294, 2005.

HOLLAND, J. H. *Adaptation in natural and artificial systems*, 1975.

LEE, J.; ZLATANOVA, S.. *A 3D data model and topological analyses for emergency response in urban areas*. 2008. Disponível em: <<http://www.spatial.maine.edu/ISAmovel/documents/lee08.pdf>>. Acesso em: 30/01/2009.

MEDINA, N. O.; LAPA, R. A.; NERO, M. A.; SANTOS, R. L. G.; NETTO, A. V. Desenvolvimento de um SIG para reconfiguração de redes de energia elétrica com interface

integrada. In: GeoInfo 2006 – VII Simpósio Brasileiro de Geoinformática, Campos do Jordão –SP, novembro, 2006. **Anais.** Disponível em: <<http://www.geoinfo.info/geoinfo2006/papers/p37.pdf>>. Acesso em: 09/02/2007.

POSTGRESQL GLOBAL DEVELOPMENT GROUP. **PostgreSQL** – *The world's most advanced open source database*. 2007. Disponível em: <<http://www.postgresql.org>>. Acesso em: 02/02/2007.

REFRACTIONS RESEARCH. **Apresenta conceitos do PostGIS**. 2005. Disponível em: <<http://postgis.refrations.net>>. Acesso em: 28/01/2007.

SÃO PAULO. Decreto nº 47.817, de 26 de outubro de 2006. Regulamenta a Lei nº 14.023, de 8 de julho de 2005, que dispõe sobre a obrigatoriedade de tornar subterrâneo todo o cabeamento instalado no Município de São Paulo. **Lex:** Coletânea de Legislação Municipal, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www3.prefeitura.sp.gov.br/cadlem/secretarias/negocios_juridicos/cadlem/integra.asp?alt=27102006D%20478170000%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20&secc=&depto=&descr_tipo=DECRETO>. Acesso em: 10/12/2006.

SÃO PAULO. Lei nº 14.023, de 8 de julho de 2005. Dispõe sobre a obrigatoriedade de tornar subterrâneo todo o cabeamento ora instalado no Município de São Paulo e dá outras providências. **Lex:** Coletânea de Legislação Municipal, São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www3.prefeitura.sp.gov.br/cadlem/secretarias/negocios_juridicos/cadlem/integra.asp?alt=09072005L%20140230000%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20&secc=&depto=&descr_tipo=LEI>. Acesso em: 10/12/2006.

VTP. **Welcome to Virtual Terrain Project**. Disponível em: <<http://vterrain.org/>>. Acesso em: 23/05/2006.

STOTER, J.; ZLATANOVA, S. *3D GIS, where are we standing?* In: ISPRS Joint Workshop on Spatial, Temporal and Multi-Dimensional Data Modelling and Analysis, Québec, October, 2003, **Anais.** 8 p. Disponível em: <http://www.gdmc.nl/publications/2003/3D_GIS.pdf>. Acesso em: 20/03/2006.

ZHU, Q.; LI, F.; ZHANG, Y. *Unified Representation of three dimensional city models*. In: ISPRS Workshop on Service of Spatial Data Infrastructure, XXXVI (4/W6), 14-16 out., Hangzhou, China, 2005, **Anais.** Disponível em: <http://www.commission4.isprs.org/workshop_hangzhou/papers/237-242%20Qingzhu_A052.pdf>. Acesso em: 20/09/2006.

ZLATANOVA, S.; RAHMAN, A. A.; PILOUK, M. (2002) *Trends in 3D GIS Development*. **Journal of Geospatial Engineering**, Vol. 4, No. 2, Dezembro, pp.71-80. Disponível em:

<http://www.lsgi.polyu.edu.hk/staff/ZL.Li/vol_4_2/01_zlatanova.pdf>. Acesso em: 23/06/2006.