

Universidade Federal do Maranhão
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia
Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Eletricidade

*Visualização de Sistemas de Potência com
Dados Georreferenciados*

Daniel Lima Gomes Júnior

São Luís
2010

Universidade Federal do Maranhão
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia
Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Eletricidade

*Visualização de Sistemas de Potência com
Dados Georreferenciados*

Daniel Lima Gomes Júnior

Dissertação apresentada ao Curso de
Pós-Graduação em Engenharia de Eletricidade da UFMA
como parte dos requisitos necessários para obtenção do
grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

**São Luís
2010**

Gomes Júnior, Daniel Lima

Visualização de sistemas de potência com dados georreferenciados /
Daniel Lima Gomes Júnior. - São Luís, 2010.

75f.

Orientador: Prof. Dr. Anselmo Cardoso Paiva;

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Eletricidade, Universidade Federal do Maranhão, 2010.

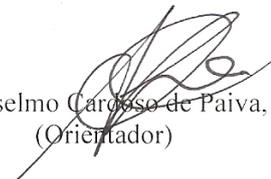
1. Sistema elétrico de potência - visualização tridimensional. 2.
Dados geográficos. 3. Realidade virtual. I. Título.

CDU 621.31

**VISUALIZAÇÃO DE SISTEMAS DE POTÊNCIA
COM DADOS GEORREFERENCIADOS**

Daniel Lima Gomes Júnior

Dissertação aprovada em 15 de julho de 2010.



Prof. Anselmo Cardoso de Paiva, Dr.
(Orientador)



Prof. Cláudio de Souza Baptista, Ph. D.
(Membro da Banca Examinadora)



Prof. Mário Antonio Meireles Teixeira, Dr.
(Membro da Banca Examinadora)

*”Aplica o coração ao ensino e
os ouvidos às palavras do conhecimento”.*

Pv. 23.12

Provérbio de Salomão

À minha família.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por tudo que Ele proporciona em minha vida;

À minha amada esposa Viviane, por seu carinho e incentivo;

Aos meus pais, Suilan e Daniel, que sempre me apoiaram em tudo na minha vida;

À minha irmã Suilane e à todos os meus familiares pela torcida e apoio;

Ao meu orientador Dr. Anselmo Paiva, pela oportunidade de aprender como parte de sua equipe de pesquisa. Pelas idéias e soluções de problemas complexos. Além da colaboração na escrita e revisão de artigos científicos e deste trabalho, nos quais, teve fundamental importância;

Ao professor Ph.D. Cláudio Baptista e sua equipe do projeto Smartview, sendo esta experiência e aprendizado fundamental para a escrita deste trabalho;

À Companhia Hidro Elétrica do São Francisco que financiou o projeto Smartview, o qual foi fundamental para a conclusão deste trabalho;

À CAPES que financiou inicialmente o desenvolvimento deste trabalho com o apoio de bolsa de incentivo ao mestrado;

Aos amigos do LabMINT, em especial: Alex Martins, Ulysses Sousa, Edgar Diniz, Geraldo Braz, Lucas Drummond e Leonardo Kury, com os quais pude aprender bastante;

E a todos que contribuíram para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre visualização de sistemas elétricos de potência e tem como resultados: a implementação das principais técnicas de visualização utilizadas no controle e operação destes sistemas; uma nova representação de grandezas elétricas com a utilização dos polígonos de Thiessen; e por fim, a apresentação de um novo paradigma no gerenciamento das informações e manipulação dos gráficos dos sistemas de potência em um ambiente tridimensional.

Ademais, apresenta-se a arquitetura utilizada na construção deste ambiente de visualização tridimensional que, em nosso trabalho, possibilitou a criação de uma sala virtual de controle, na qual os operadores podem construir e adicionar ao ambiente virtual as visualizações desejadas e disponíveis no gerenciamento do sistema elétrico, possibilitando a análise do problema sob vários aspectos diferentes.

Palavras-Chave: Sistema Elétrico de Potência, Visualização, Polígono de Thiessen, Realidade Virtual, Ambiente de Controle

ABSTRACT

This paper presents a study about the electric power systems visualization presenting as results: the implementation of the main visualization techniques used in the operation and control of these systems; a new representation of electrical magnitudes with the use of Thiessen polygons; and finally, the presentation of a new paradigm in information management and manipulation of the power system graphics in a three-dimensional environment.

Moreover, it presents the architecture used in the construction of this three-dimensional viewing environment, which in our work, enabled the creation of a virtual control room where operators can build and add to the virtual environment the wanted and available visualization in the management of the electric system, enabling the analysis of the problem from several different aspects.

Keywords: Electric Power System, Visualization, Thiessen Polygon, Virtual Reality, Ambient of Control

Artigo Científico Publicado pelo Autor

GOMES JR., Daniel Lima; CARDOSO PAIVA, Anselmo. ; SOUZA BAPTISTA, Cláudio; LEITE JR., Fabio L.; R. FALCÃO, Ana Gabrielle; C. FERNANDES, Rogério Augusto. Ambiente virtual 3D para Operação e Controle de sistemas de potência integrando SCADA/SMS e GIS. In: Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE 2010), Belém - PA.

Lista de Quadros

1	Quadro Comparativo entre as gerações utilizando o algoritmo de contorno em área e a visualização utilizando os polígonos de Thiessen em diferentes resoluções (testes realizados para 194 subestações).	52
---	---	----

Lista de Figuras

1.1	Arquitetura Geral e integração do Smartview.	20
2.1	Exemplo de navegação em mapa.	27
4.1	Simulação dos gráficos de pizza indicando o nível de sobrecarga	39
4.2	Visualização do fluxo em linhas de transmissão	40
4.3	Visualização do Contorno em Ponto gerado com base nos valores da grandeza elétrica das subestações.	42
4.4	Algoritmo do cálculo das faixas com base nos valores mínimo e máximo fornecidos.	42
4.5	Escala calculada pelo algoritmo de divisão de faixas, com valor mínimo e máximo 20 e 600, respectivamente.	43
4.6	Demonstração do cálculo do contorno em linha e as subdivisões geradas, considerando p1 e p2 e suas respectivas tensões T1 e T2	43
4.7	Representação visual do Contorno em Linha	44
4.8	Fórmula para o cálculo do valor virtual (vp) na posição de coordenadas xp e yp.	45
4.9	Algoritmo do cálculo do Contorno	45
4.10	Representação visual do valor virtual (vp) a ser calculado na posição (xp, yp), considerando os pontos de referência utilizados (neste caso: p1, p2, p3, p4, p5 e p6).	46
4.11	Visualização do Contorno em área calculado sem utilização de transparência (alpha = 100%).	47

4.12	Visualização do Contorno em área calculado utilizando transparência (alpha = 75%).	47
4.13	Problema inicial das agências de correio e a sua solução com a geração do diagrama de Voronoi no plano.	49
4.14	Etapas e Algoritmo para triangulação de Delaunay.	50
4.15	Função de atualização de arestas utilizada na triangulação de Delaunay.	51
4.16	Visualizações de Contorno. a) Utilizando polígonos de Thiessen. b) Utilizando o contorno tradicional em área.	52
4.17	Etapas para a geração da projeção do Contorno no ElevationGrid para geração do MDT.	55
4.18	Informações necessárias para geração do contorno em MDT. Coordenadas (x, y), altura (z), coloração (cor)	55
4.19	Geração do Modelo Digital de Terreno com a projeção do Contorno calculado sobre o mapa.	56
4.20	Visualização das barras 3D no Ambiente.	57
5.1	Diagrama de Casos de Uso para o Operador do Ambiente Virtual.	59
5.2	Manipulação dos objetos inseridos na cena (seleção de camadas e rotação).	60
5.3	Visão geral do Ambiente Virtual.	61
5.4	Diagrama de atividade do ambiente criado e as modificações da Cena Carregada para o usuário.	62
5.5	Arquitetura do Ambiente Virtual.	64
5.6	Diagrama de Classe do Ambiente Virtual.	65
5.7	Diagrama de Sequência mostrando a adição de elementos X3D à cena do ambiente virtual.	66
5.8	Diagrama de Sequência da geração de elementos de interface X3D.	67

Lista de Abreviaturas e Siglas

CHESF	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
HTML	<i>Hypertext Markup Language</i>
IHC	Interação Humano-Computador
JDBC	<i>Java Database Connectivity</i>
JSP	<i>Java Server Pages</i>
MDT	Modelo Digital de Terreno
MVC	<i>Model View Controller</i>
RIA	<i>Rich Internet Application</i>
RV	Realidade Virtual
SAGE	Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia
SAI	<i>Scene Access Interface</i>
SCADA	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SVG	<i>Scalable Vector Graphics</i>
UHE	Unidade Hidrelétrica de Energia
VRML	<i>Virtual Reality Modeling Language</i>
VTCD	Variações de Tensão de Curta Duração
W3C	<i>World Wide Web Consortium</i>
X3D	<i>eXtensible 3D</i>
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>

Sumário

1	Introdução	17
1.1	Smartview	19
1.2	Objetivo Geral	21
1.3	Objetivos Específicos	21
1.4	Organização do Trabalho	22
2	Conceitos Básicos	23
2.1	Sistemas de potência	23
2.2	Sistemas de Informações Geográficas (SIG)	25
2.3	Realidade Virtual e Interação Humano-Computador	28
3	Trabalhos Relacionados	31
3.1	Treinamento	31
3.2	Novas formas de Visualização e Controle	34
4	Visualização de Sistemas de Potência	37
4.1	Técnicas de Visualização Bidimensional	37
4.1.1	Gráfico de Pizza	38
4.1.2	Fluxo em Linha de Transmissão	39
4.1.3	Contornos	40
4.1.4	Visualização de Grandezas Elétricas com Polígonos de Thiessen	46
4.2	Técnicas de Visualização Tridimensional	53

4.2.1	Contorno em Área projetado em Modelo Digitais de Terreno (MDT)	53
4.2.2	Voltagem em subestações (3D)	57
5	Ambiente 3D para visualização de Sistemas Elétricos de Potência	58
5.1	Visão geral do ambiente	58
5.2	Arquitetura do Ambiente	63
6	Conclusão	69
	Referências Bibliográficas	72

CAPÍTULO 1

Introdução

A indústria de energia elétrica é um dos maiores e mais complexos sistemas desenvolvidos pelo ser humano e tem sido considerada uma das maiores conquistas da engenharia do século 20. Apesar disto, devemos afirmar que ainda hoje existe uma grande dificuldade no gerenciamento das informações geradas neste sistema, tanto por sua complexidade quanto pela quantidade de informações existentes que precisam ser tratadas e manipuladas.

Um importante problema nesta área é a busca por melhorias na forma como devem ser visualizadas as informações dos sistemas elétricos, já que as boas condições de funcionamento de tais sistemas é de extrema importância para a ordem social, tendo como exemplos os problemas recentes associados a *blackouts* ao redor do mundo e em nosso país, sendo desta forma, o estudo destas visualizações muito importante pois elas são primordiais para a tomada de decisão dos operadores.

A tarefa de operação de sistemas de geração e transmissão de energia envolve basicamente a realização de ações corretivas quando limites de operação do sistema são violados, equipamentos falham ou outras contingências são geradas. Os operadores do sistema elétrico são constantemente desafiados pela grande quantidade de dados que é transmitida para fornecerem subsídios à operação do

sistema nos centros de controle. Um grande desafio é transformar esses dados em informações úteis, da maneira mais eficiente possível (Geus and Dometerco 2004), que permita aos operadores perceber o estado de operação do sistema de maneira global e também identificar facilmente possíveis fontes de problemas e contingências.

Neste cenário, torna-se de grande importância para apoio à tomada de decisão dos operadores do sistema a apresentação das variáveis que envolvem a operação do sistema, de modo a propiciar a tomada de decisão efetiva em tempo hábil, evitando a ocorrência de interrupções no sistema.

Este trabalho tem como principal motivação prover soluções visando facilitar a visualização de informações nos sistemas elétricos de potência. Quando afirmamos isto, devemos ressaltar ainda que diversas vezes o entendimento de um problema nestes sistemas consegue ser mais facilmente percebido quando avaliado sob diferentes aspectos, diferentes variáveis, e por que não dizer, diferentes visualizações que devem ser consideradas paralelamente para uma melhor análise.

Outro detalhe muito importante, quando se trata da visualização e principalmente do gerenciamento de informações, é que se deve buscar facilitar ao máximo o entendimento de quem está utilizando e manipulando estes dados na representação visual, e essa facilidade é considerada primordial em nosso trabalho, dado que, em algumas situações, os operadores dos sistemas elétricos devem tomar ações, caso exista alguma variação crítica ou um estado alterado no sistema.

Nos sistemas elétricos de potência existe uma grande quantidade de variáveis, sendo algumas destas com alto índice de variação no tempo, as quais devem ser observadas, pois podem estar associadas a problemas. A utilização de dados georeferenciados¹ é com intuito de melhorar o nível de compreensão por parte dos operadores destes sistemas.

A utilização de de mapas que utilizam informações geográficas é utilizado em

¹Geo-Referenciado: Representação da localização em sistema de coordenadas ou identificação do contexto geográfico de um elemento.

muitas áreas do conhecimento para facilitar o entendimento do relacionamento de dados no mundo real e sua correlação com a representação geográfica.

Além dessa utilização de mapas em outras áreas de conhecimento, a utilização de visualização 3D tem sido também mais abordada em diversas áreas da computação. Segundo (Bowman *et al.* 2006), a visualização tridimensional vem sendo cada vez mais utilizada e atualmente os recursos computacionais possibilitam que as inovações na área de realidade virtual possam auxiliar em diversos setores tais como, visualização integrada de características diferentes do sistema.

Além disso, a utilização de um ambiente tridimensional favorece a compreensão humana, pois vivemos em mundo 3D e nosso cérebro está preparado para entender e compreender o mundo tridimensional.

Com o avanço dos recursos computacionais e a utilização cada vez mais frequente de realidade virtual (RV), é possível criar ambientes ricos em interatividade. A utilização de interfaces de interação 2D, como menus e botões, é então substituída por manipulação direta dos elementos conhecidos em um mundo tridimensional, com ações como arrastar objetos, rotacionar elementos desejados, e várias formas de navegação.

Neste sentido, a realidade virtual proporciona uma experiência com maior grau de interatividade e sensação de imersão (Wiegmann *et al.* 2003), retendo de maneira mais eficaz a atenção do usuário e obtendo maior efetividade na interação com o mesmo (operadores do sistema elétrico).

1.1 Smartview

O SmartView é um projeto de P&D que visa a construção de uma solução para visualização, em um mesmo ambiente, das informações produzidas pelos sistemas de oscilografia, qualidade de energia, SAGE e de tratamento de alarmes (Smart Alarms) no ambiente da CHESF. A incorporação destas informações a uma base

de dados georeferenciados permite que elas sejam exibidas de forma gráfica através de vários mapas, oferecendo uma visão sistêmica das informações. Isto permite uma rápida visualização das ocorrências existentes na rede elétrica, ajudando a prevenir e minimizar os desligamentos na rede e, conseqüentemente, aumentando a confiabilidade do sistema elétrico da empresa (SmartView 2008).

A Figura 1.1 apresenta de forma geral a arquitetura do Smartview.

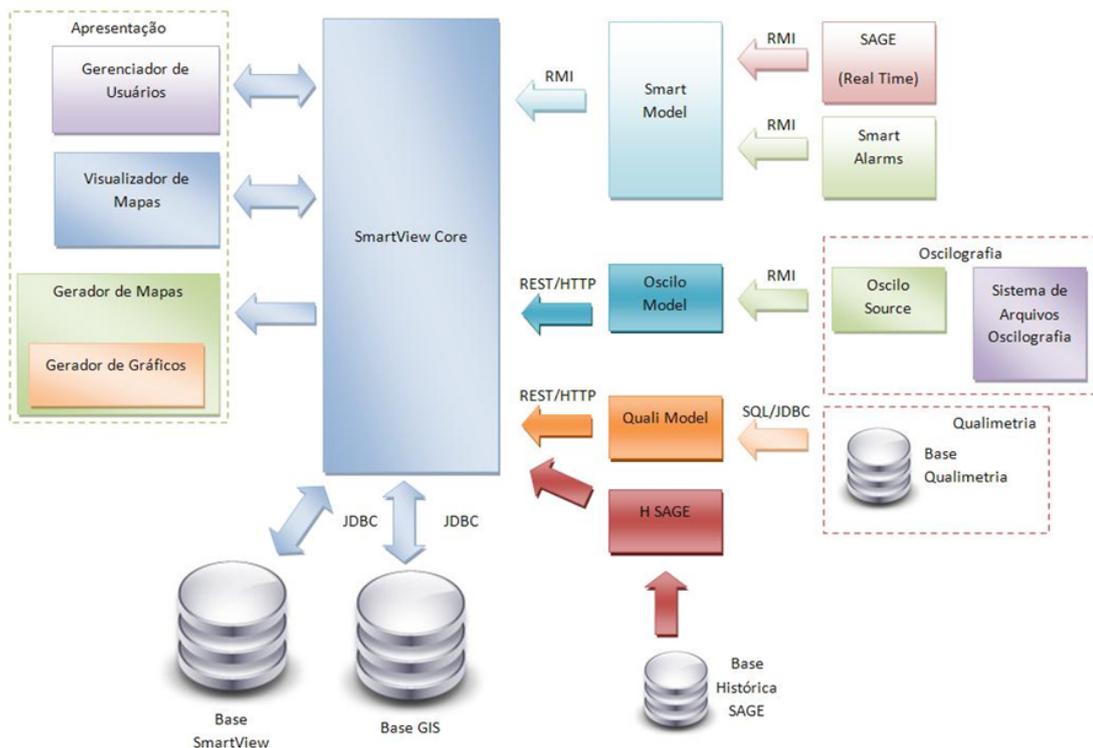


Figura 1.1: Arquitetura Geral e integração do Smartview.

Fonte: (SmartView 2008)

Neste trabalho foi utilizado basicamente os itens da camada de apresentação e o Smartview Core, sendo que para as visualizações presentes no trabalho não são utilizados dados reais.

1.2 Objetivo Geral

Este trabalho possui como objetivo geral o desenvolvimento de um ambiente para visualização de sistemas elétricos de potência possibilitando a visualização de dados sobre o sistema de diversas fontes (Qualimetria, Oscilografia, Sistema de Alarmes, dentre outros) e a integração com dados geo-referenciados.

1.3 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- O estudo das principais técnicas de visualização de SEPs;
- Implementação destas técnicas em 2D e 3D;
- Propostas de novos métodos de visualização;
- Criação de um Ambiente Virtual tridimensional para operação e controle de informações.

Desta forma, foi realizado o estudo e construção de técnicas de visualizações relacionadas aos sistemas elétricos de potência. O trabalho trata de como estas visualizações poderiam ser manipuladas dentro de um centro de controle através do uso de um ambiente virtual tridimensional. É apresentada ainda a arquitetura definida para construção desse ambiente virtual, sendo que a idéia principal é a manipulação das informações a serem visualizadas de acordo com a necessidade de quem está imerso no mundo virtual, ou das informações que estão sendo momentaneamente analisadas.

Este trabalho apresenta uma solução para operação e controle dos sistemas de geração e transmissão de energia elétrica através de um ambiente virtual extensível que possibilita a inclusão de múltiplas visualizações do sistema de potência. O ambiente proposto visa propiciar aos operadores do sistema elétrico a possibilidade

de acesso à visualização de uma grande quantidade de informações, integrando dados sobre o sistema proveniente de diversas fontes.

Pretende-se com esta abordagem, baseada em múltiplas visualizações, um aumento da compreensão do estado do sistema elétrico e da efetividade na tomada de decisão para controle do sistema elétrico. Isto é obtido levando em consideração que, segundo (Stovall *et al.* 2006), a visualização de sistemas de geração e transmissão de energia deve considerar o fator humano.

A idéia principal do ambiente de controle virtual é evitar o uso de várias telas ou monitores mostrando centenas de visualizações ao operador, mas sim, apenas as que ele necessita, evitando informações desnecessárias à sua análise.

1.4 Organização do Trabalho

O presente trabalho encontra-se organizado em mais cinco capítulos descritos a seguir. O segundo capítulo apresenta alguns conceitos importantes relacionados aos SIG's² e aos sistemas elétricos de potência. O terceiro capítulo apresenta trabalhos relacionados ao tema de visualizações de sistemas elétricos de potência utilizando realidade virtual e trabalhos que buscaram a melhoria na visualização de informação. Em seguida, no capítulo quatro, apresentam-se as visualizações implementadas em 2D e 3D e a proposta de visualização de grandezas elétricas com polígonos de Thiessen. O capítulo cinco apresenta um ambiente virtual de gerenciamento e controle das visualizações dos sistemas elétricos e a definição da arquitetura para construção deste ambiente virtual. Finalmente, no capítulo seis, são apresentadas as considerações finais a respeito do trabalho, destacando a contribuição e possíveis trabalhos futuros a serem desenvolvidos a partir deste.

²Sistema de Informação Geográfica integra *hardware*, *software* e dados para capturar, gerenciar e visualizar informações referenciadas com coordenadas geográficas.

CAPÍTULO 2

Conceitos Básicos

Neste capítulo são apresentados alguns conceitos que são essenciais para a compreensão do trabalho desenvolvido.

2.1 Sistemas de potência

Os modernos sistemas elétricos de potência são sistemas de energia que envolvem três entidades primárias: o sistema de geração, que é responsável pela produção de energia; o sistema de transmissão, que transfere a eletricidade através de linhas de transmissão de alta voltagem para subestações regionais; e o sistema de distribuição, que é responsável por distribuir a energia elétrica para os clientes locais (Crow and Shetty 2004).

O sistema de transmissão consiste em linhas de transmissão, subestações e transformadores para converter a eletricidade de um nível de voltagem a outro.

As subestações também possuem uma variedade de equipamentos para proteção contra raios, curtos-circuitos e outras falhas que podem ocorrer na distribuição da eletricidade aos clientes. Os clientes de um sistema de potência elétrico variam desde usuários domésticos e pequenas empresas até clientes comerciais e grandes clientes industriais.

Cada tipo de cliente influencia na transmissão e distribuição da eletricidade

de diferentes formas durante o dia e durante variações temporárias do sistema de potência.

A complexidade destes sistemas é causada devido às regras da composição de toda a rede e em como esta eletricidade é armazenada, gerenciada e transmitida ao longo da rede de transmissão.

A potência ativa é parte da potência instantânea que pode ser utilizada para consumo sendo medida em Watts (W). A potência reativa, no entanto, é a parte não utilizada da potência instantânea a qual é absorvida pelos componentes indutivos do sistema de potência, sendo medida em Volt-Amperes Reativos (VAR). Existe ainda a potência aparente que é a potência total, sendo calculada por um somatório entre potências ativas e reativas do sistema, medida em Volt-Amperes (VA).

Além destas características existem outros componentes importantes do sistema que são os transformadores e as subestações. Os transformadores são dispositivos utilizados para conversão de altas voltagens alternadas para baixas voltagens e vice-versa. Já as subestações são um conjunto de aparatos na rede dos sistemas de potência para modificar características como frequência ou voltagem dos suprimentos de energia.

A energia elétrica é produzida em estações de geração de energia que estão situadas em locais favoráveis, mas geralmente são geograficamente lugares remotos. A potência é distribuída até os usuários finais através de uma extensa rede de transmissão e distribuição de energia.

Em alguns pontos dos sistemas de potência é necessário alterar características como, por exemplo, voltagem ou corrente. Um exemplo disto é que o nível de voltagem de transmissão é reduzido para níveis de distribuição com o propósito de fornecê-la aos usuários domésticos. Esta conversão é realizada nas subestações de energia elétrica.

Estes e outros componentes do sistema contribuem para que estas características tornem estes sistemas tão complexos e necessitem da busca

incessante por melhorias tanto na área de visualização das informações, quanto no próprio entendimento e utilização destes dados para o gerenciamento dos sistemas de potência.

2.2 Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

SIG's são sistemas de informação que trabalham com dados geográficos. Os SIG's gerenciam dados relacionados à localização geográfica e os dados são apresentados geralmente em formato gráfico na forma de mapas.

Para o armazenamento dos dados destes sistemas, são utilizados bancos de dados geográficos, que possuem funcionalidades específicas que tratam de problemas relativos a estas aplicações.

Atualmente existe um grande crescimento na demanda de desenvolvimento de sistemas desta modalidade de *software*. Nos últimos anos foram disponibilizadas ao público em geral ferramentas poderosas para apresentação de informações reais, como o Google Earth (Google 2010), por exemplo. Isto é apenas uma forma simplificada da utilização de sistemas com informações geográficas. Outras aplicações utilizam o conceito desde áreas científicas, em aplicações de coleta e análise de dados ambientais, até áreas de administração empresarial, na manutenção de equipamentos defeituosos, por exemplo.

SIG é definido como um conjunto de ferramentas que possuem módulos de aquisição, armazenamento, análise, transformação, manutenção e visualização de objetos e fenômenos espaciais do mundo real (Burrough 1986).

De maneira geral, um SIG executa ou possui cinco processos básicos:

- Entrada de dados: antes que os dados possam ser utilizados por um SIG, os mesmos devem ser convertidos para um formato digital adequado;
- Manipulação: os dados de um SIG necessita ser manipulado de alguma forma para que se torne compatível com o sistema em uso;

- Gerenciamento de dados: quando o volume de dados, o número de usuários e a complexidade da aplicação aumentam, torna-se indispensável o uso de um Sistema Gerenciador de Bancos de Dados (DBMS);
- *Query* e análise: os modernos SIG's não só são extremamente ágeis para analisar dados geográficos e identificar padrões e tendências, como também para processar questões complexas;
- Visualização: para grande número de aplicações geográficas, o resultado de um processamento pode ser melhor visto e entendido se apresentado através de um mapa ou gráfico.

Na Web, os mapas destes sistemas são visualizados em navegadores Web e ficam dependentes das restrições do próprio navegador e das redes de comunicação que estão sendo utilizadas. Neste contexto devem ser tomadas considerações no projeto e implementação de um sistema de informação geográfica que trabalhe nesse ambiente com a publicação de mapas.

Segundo (Cecconi 2003), uma das vantagens de uso dos SIG's e a utilização de mapas eletrônicos é a capacidade de o usuário final interagir com este mapa, além da facilidade de manutenção e disponibilização de dados espaciais em diversos meios eletrônicos. A utilização da Internet para os SIG's facilita a maneira de acesso e transmissão de dados, possibilitando a análise e visualização de dados geográficos.

Neste novo ambiente, a utilização dos mapas não são mais usados apenas em sua funcionalidade natural de exibição, mas existe agora a possibilidade de exploração e navegação sobre o espaço geográfico, além de novas funcionalidades como a facilitação do entendimento de problemas a serem tratados paralelamente com a análise geográfica do problema real. A utilização da Web possui um potencial enorme em relação à sua capacidade de atingir grande quantidade de usuários com custos mínimos e facilidade de atualização dos dados. Ademais, possibilita uma dinâmica e interação muito maior com os dados, oferecendo

novas técnicas de mapeamento e uso de possibilidades não observadas em mapas impressos tradicionais, como a integração multimídia ou ainda a navegação pelo ambiente, como é feito com o Google Maps mostrado na Figura 2.1.

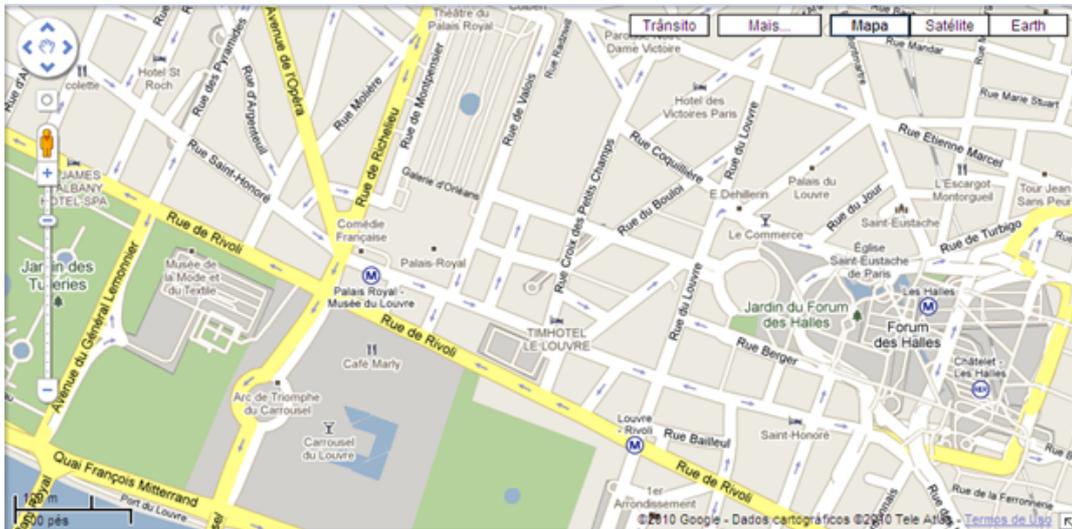


Figura 2.1: Exemplo de navegação em mapa.

Fonte: (Google 2010)

Os mapas na Web podem ainda ser classificados em mapas estáticos e mapas dinâmicos. Essas categorias possuem ainda subdivisões de acordo com sua funcionalidade, podendo constituir mapas usados apenas para visualização e mapas com suporte à interação e manipulação do usuário.

Os termos estáticos e dinâmicos se referem à tecnologia de geração de conteúdo do mapa. Os mapas estáticos usados apenas para visualização são originados de produtos cartográficos e disponibilizados na Web no formato de imagens matriciais.

Mapas estáticos interativos podem funcionar como interface a outros recursos na Web, inclusive outros mapas. Podem fornecer a possibilidade de interações sobre o mapa realizadas pelo usuário, como seleção de subconjuntos de dados (camadas) a serem exibidos ou ocultados, além de permitir variação nas características visuais dos objetos, como cores, simbologias e transparências.

Por outro lado, os mapas dinâmicos permitem interações e consultas mais complexas sobre os dados, utilizando funcionalidades disponíveis apenas no servidor, como por exemplo, consultas espaciais sobre os dados geográficos armazenados no banco de dados, como o cálculo da área de uma seleção do usuário ou ainda a verificação se uma cidade é maior que outra.

Uma aplicação de SIG na Internet deve responder às requisições dos clientes de maneira eficiente, com baixo tempo de resposta e alta usabilidade, ou seja, facilitando ao máximo a utilização e compreensão do sistema pelo usuário. Assim, o principal objetivo dessas aplicações é ser simples o suficiente para que usuários sem grandes conhecimentos específicos possa utilizá-las, sem perder sua funcionalidade, e permite que estes usuários tomem decisões e conclusões diante dos dados apresentados (Torun *et al.* 2000).

2.3 Realidade Virtual e Interação Humano-Computador

Realidade Virtual (RV) pode ser definida como uma das formas mais avançadas de interface do usuário do computador. Nos últimos anos, um grande investimento foi feito tanto em *hardware* quanto em *software* e dispositivos para interação do usuário com o computador nas indústrias.

Outra forma de definir a RV é como um meio do usuário visualizar, manipular e interagir com computadores e dados complexos (Aukstakalnis and Blatner 1992). Podendo ainda ser entendida como uma técnica avançada de interface, permitindo uma maior imersão do usuário em um ambiente sintético tridimensional gerado por computador.

A realidade virtual pode ainda ser entendida com três características principais: imersão, interação e envolvimento. Neste intuito, nosso trabalho busca a inovação e melhoria da forma de visualização e manipulação das visualizações dos sistemas elétricos de potência de maneira mais envolvente, na qual o usuário pode

interagir diretamente com o mundo criado no ambiente computacional. Existem ambientes de RV imersivos e não imersivos, sendo a realidade virtual imersiva a que faz uso de capacetes ou salas de projeção, enquanto a não imersiva utiliza os monitores.

(Moran 1981) propôs uma das definições mais estáveis de interface, dizendo que “a interface de usuário deve ser entendida como sendo a parte de um sistema computacional com a qual uma pessoa entra em contato física, perceptiva e conceitualmente”. Esta definição de Moran caracteriza uma perspectiva para a interface de usuário como tendo um componente físico, que o usuário percebe e manipula, e outro conceitual, que o usuário interpreta, processa e raciocina. Vemos, pois, que a interface é tanto um meio para a interação usuário-sistema, quanto uma ferramenta que oferece os instrumentos para este processo comunicativo.

Segundo (Bowman *et al.* 2006) boas interfaces de usuários (IU) são parte crucial no processo de desenvolvimento de *software* e hardware. E apesar de todo produto relacionado à área de computação se projetar como “de fácil uso” ou “intuitivo”, a grande maioria das UIs tem utilizado os mesmos princípios e designs na última década ou mais. A utilização da realidade virtual, dos ambientes virtuais e da própria realidade aumentada tem mudado esta visão e muito tem sido desenvolvido nestas áreas.

As interfaces de usuário estão se tornando maduras e mais diversificadas. Apesar do padrão de interface WIMP (Windows, Icons, Menus, Pointers) ser ainda prevalente na construção de sistemas, os componentes de interface e dispositivos não tradicionais estão se proliferando rapidamente. Um exemplo claro disso é a utilização dos óculos 3D em cinemas do mundo todo, aumentando a experiência do usuário com o ambiente no qual está inserido.

Embora a utilização de realidade virtual imersiva possa trazer benefícios e inovação, a utilização de monitores ou RV não imersiva ainda é muito eficiente e possui a vantagem da facilidade de uso.

Nos sistemas de realidade virtual existe um usuário, uma interface homem-máquina e um computador. O usuário é inserido em um novo mundo gerado virtualmente no computador, usando dispositivos sensoriais de percepção e controle, sendo que os ambientes virtuais podem simular tanto ambiente imaginários quanto ambientes reais.

Trabalhos Relacionados

Visando a melhoria no gerenciamento das informações presentes nos sistemas elétricos, existem diversas áreas que estudam formas de melhoria nas áreas de treinamento, controle, manutenção e até novas formas para visualização de problemas ou características destes sistemas.

Nesse capítulo, são apresentados alguns trabalhos que abordam os sistemas de potência, bem como utilizam a realidade virtual em áreas distintas, apresentando inicialmente trabalhos relacionados ao treinamento, controle e manutenção do sistema pelos operadores. Em seguida são apresentados trabalhos com o enfoque em novas formas de visualização desses sistemas, buscando novas técnicas que possam melhorar a visualização e tratamento de problemas.

3.1 Treinamento

Em (Garant *et al.* 1995) é defendido que, devido ao crescimento da complexidade dos sistemas de potência, o risco inerente associado às operações dos sistemas de transmissão e de distribuição fez com que os sistemas de treinamento de pessoal se tornassem questão de prioridade.

A utilização do treinamento baseado em simulação tem a grande vantagem de ser seguro, tanto para o equipamento como para as pessoas. No treinamento é

possível expor as pessoas a uma variedade enorme de cenários distintos, tanto simulando situações frequentes, como casos que raramente ocorrem, mas não deixam de ser importantes e precisam ser identificados. No trabalho foi realizada toda a modelagem do ambiente real de trabalho dos operadores e todos os componentes existentes na estação em questão.

O trabalho de (Freitas *et al.* 2006) apresenta o processo de animação e visualização do modelo da Interface Humano-Computador de uma subestação de um sistema elétrico. O objetivo do trabalho é prover um mecanismo de simulação e treinamento do comportamento do modelo de um ambiente de Realidade Virtual, construído em VRML.

O uso de modelos formais no projeto de sistemas vem crescendo nos últimos anos dado seu impacto na tarefa dos projetistas destes sistemas. Dentre os setores de aplicação citados na literatura se encontram: automobilístico, gerenciamento de informações, gerenciamento de documentos, manufatura, gerenciamento de subestações elétricas, tráfego aéreo.

O ambiente criado no trabalho relacionado anteriormente visa o auxílio em diversos níveis de treinamento em uma Unidade Hidrelétrica de Energia (UHE) utilizando uma abordagem baseada na prática. A análise foi construída com base em um sistema real utilizando técnicas formais de modelagem e análise de sistemas, tais como, modelos de fila, álgebra de processos, lógica temporal e redes de Petri. A rede de Petri possui representações gráfica e matemática para modelar os mais diversos sistemas. Os sistemas modelados podem ser seqüenciais ou apresentar paralelismo. Segundo (Kindler and Pales 2004), a principal vantagem de um modelo em rede de Petri é sua notação gráfica, sua semântica simples e a rica teoria disponível para análise do comportamento dos modelos.

Em (Sousa *et al.* 2007) é apresentado um módulo de treinamento para manutenção em uma UHE utilizando um sistema de realidade virtual não-imersivo, que usa a abordagem de aprendizagem baseada na prática. O módulo de manutenção oferece diferentes níveis de treinamento, dividido em três

modos: automático, guiado e exploratório, os quais são acessados conforme o grau adquirido de conhecimento do treinando em relação aos procedimentos de manutenção. Os resultados da implantação do sistema mostram a potencialidade do uso de RV não-imersivo no treinamento em grandes projetos industriais.

Por fim, e não menos importante, o trabalho apresentado por (Navarro *et al.* 2009), no qual a realidade virtual juntamente com a simulação de eventos é utilizada como suporte para treinamento de operações nos sistemas elétricos de potência. Esse trabalho analisa as principais características desejáveis de simuladores para treinamento de operadores de sistemas elétricos de potência e destaca as principais aplicações em diversas empresas do setor elétrico brasileiro e mundial. O objetivo deste levantamento é apresentar uma visão geral da evolução do treinamento nas empresas, universidades e concessionárias elétricas e quais são as futuras melhorias que podem ser implementadas nesta nova cultura de operação e simulação de redes elétricas.

A base que fundamenta este estudo é que a recomposição do sistema elétrico após desligamentos imprevistos é uma das situações mais críticas enfrentadas pelos operadores. O número de consumidores que subitamente se encontram sem energia elétrica pode variar de algumas dezenas a vários milhões, dependendo do porte das instalações e do alcance do problema.

A restauração da rede após uma queda do sistema é uma operação detalhada pelas empresas de energia elétrica através de documentos chamados Instruções de Operação de Sistemas. Tais instruções guiam o operador durante este procedimento através de uma sequência pré-determinada de passos, o que lhe garante maior confiabilidade e aumenta a padronização das ações de recomposição.

No entanto, o estresse associado a uma situação de blecaute, a necessidade de rapidez e o aumento da complexidade da operação, devido a recente expansão das redes de energia elétrica, fazem com que a possibilidade de ocorrência de erros cresça muito. Estes problemas se tornam ainda mais críticos ao considerar-se que o número de operadores experientes tem diminuído cada vez mais ao longo

dos anos devido à aposentadoria dos profissionais mais experientes e a falta de transmissão sistemática dos conhecimentos por eles armazenados.

3.2 Novas formas de Visualização e Controle

Em (Overbye *et al.* 2007) é apresentada uma forma de visualização para ser utilizada em centros de controle de sistemas de energia elétrica conhecida como Visualizadores Geográficos de Dados (VGD). Nesse trabalho faz-se uma análise do problema central envolvido no controle dos sistemas de potência, que é a dificuldade de conseguir disponibilizar para o operador todas as informações necessárias para a tomada de decisão. Além disso, apresenta de maneira fundamental a incorporação da dimensão geográfica da informação à visualização do estado do sistema de potência.

A idéia principal defendida por trás dos VGD's é criar sistemas de visualização dinâmicos que combinem a informação proveniente dos sistemas de potência juntamente com um modelo geográfico de visualização de informações.

Em (Kádár *et al.* 2006) é apresentada outra inovação na visualização de sistemas SCADA¹ (Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados). O maior desafio quando se trata de um sistema SCADA é supervisionar a rede controlada, e isso quer dizer tratar de questões de segurança, carga e voltagem. Estas informações são representadas por inúmeras medidas e elementos de dados calculados, mas dificilmente o operador possui uma idéia real do estado de toda a rede controlada com a utilização dos esquemas padrões unifilares e tabelas extensas contendo as informações de todos os elementos do sistema. A inovação proposta trata de um mapa representativo no qual a coloração é feita de acordo com as informações advindas dos sistemas de potência, possibilitando a detecção

¹Supervisory Control And Data Acquisition são sistemas de controle industrial para monitoramento do estado do processo industrial. Atualmente utilizam tecnologias de computação e comunicação para automatizar a monitorização e controle destes processos.

e entendimento de sobrecargas em linhas de transmissão e transformadores, sendo que, a escala de cores é definida com base no percentual de sobrecarga do elemento analisado.

No trabalho de (Xu *et al.* 2006) é apresentado o resultado da pesquisa e implementação de uma ferramenta flexível para visualização dos sistemas de potência pelos operadores. O projeto buscou duas funcionalidades principais, que foram o fluxo de potência e a estimação do estado do sistema. No modo de fluxo de potência implementado no trabalho foi utilizada a técnica de contorno para a visualização dos fluxos e das voltagens. Já no modo de estimação do estado do sistema, é utilizado o contorno com coloração mapeada destacando as áreas ou ilhas para observação das medidas do sistema.

Por fim, no trabalho de (Venkatesh *et al.* 2009) é tratada a questão da visualização tridimensional das variáveis presentes em um sistema elétrico. A visualização consiste em uma superfície 3D que utiliza as variáveis de magnitude de voltagem, fluxo de potência reativa, fluxo real de potência, corrente elétrica, dentre outros. Estas variáveis podem ser analisadas em um conjunto bidimensional (2D) geograficamente, mas é então construída uma superfície que inicialmente utiliza a triangulação de Delaunay no conjunto de pontos 2D sendo gerado um modelo triangular que é utilizado para representar posteriormente a superfície 3D, sendo que a altura da superfície neste ponto específico é baseada na potência da medida que está sendo analisada. A superfície gerada é ainda refinada utilizando um esquema de subdivisão denominado suavização de Laplace para a geração de uma superfície mais harmoniosa. O método desenvolvido é muito útil para a análise de dados de grande extensão geográfica.

Ressaltamos ainda com base nos trabalhos apresentados que a apresentação das diversas visualizações de um sistema de geração e transmissão de energia é muito importante e as informações devem estar simultânea e concorrentemente apresentadas, de forma que isso favoreça o correto entendimento do próprio sistema. Podemos ainda ressaltar o estudo e uso de realidade virtual como uma

importante tecnologia para propiciar a junção das diversas visualizações existentes nos sistemas elétricos de potência.

Pode ser observado que a visualização de Sistemas Elétricos de Potência baseados em representações com dados geográficos acrescenta grande valor à interface dos sistemas de controle, possibilitando melhor visualização do estado global do sistema e permitindo a tomada de decisões de forma mais ágil e eficiente.

No entanto, ainda se faz necessário pesquisar novas e melhores formas de visualização, que permitam melhor apresentação dos dados dos sistemas de potência em 2D e uma investigação maior de formas de visualização destes sistemas em 3D.

Visualização de Sistemas de Potência

Neste capítulo são apresentadas as técnicas e algoritmos desenvolvidos neste trabalho para visualização nos sistemas elétricos de potência. Em seguida é mostrado o ambiente de controle virtual destas visualizações, que configura uma das importantes contribuições deste trabalho. Inicialmente, descreve-se o funcionamento do ambiente.

4.1 Técnicas de Visualização Bidimensional

A visualização bidimensional apresenta a grande vantagem de ser mais facilmente compreensível para praticamente todos os potenciais usuários, dado que engenheiros e técnicos são educados e treinados para a visualização do sistema elétrico baseado em diagramas e plantas bidimensionais.

A visualização 2D baseada em diagramas unifilares tem sido relativamente popular devido à familiaridade dos operadores com esses diagramas.

Ao contrário dos diagramas unifilares, a apresentação dos dados de contingência em uma matriz 2D ou gráficos de barras mostra uma visão geral

da segurança do sistema. Existem ainda visualizações 2D, na qual, os riscos dos níveis de segurança são mostrados por um contorno retangular mostrados em função das condições de operação.

O estudo da literatura existente indica que a visualização de sistemas de potência ainda está em evolução, com uma necessidade urgente de melhores técnicas. Para a visualização de informação operacional destes sistemas, a visualização tradicional utiliza tanto a exibição tabular quanto diagramas unifilares. Nos centros de controle, estas informações são complementadas com um quadro estático essencial. Historicamente, o único dado dinâmico no quadro são as informações coloridas indicando o status de vários dispositivos do sistema.

Uma tarefa essencial ainda no desenvolvimento das visualizações é prover ao usuário o menor esforço possível para entender o que está contido na representação gráfica.

4.1.1 Gráfico de Pizza

Uma técnica de visualização que têm se mostrado útil para indicar rapidamente a localização de sobrecargas em uma rede de transmissão tem sido o uso de gráfico de pizza, no qual cada faixa percentual é igual à porcentagem de carga na linha, como pode ser visto na Figura 4.1. Opcionalmente um texto numérico pode ser sobreposto na faixa indicando a porcentagem exata.

Para exibição com poucas linhas, onde cada linha individual do gráfico pode ser representada em uma faixa, esta abordagem pode rapidamente resolver o problema da visualização. No entanto, com redes grandes não teremos muito espaço para mostrar individualmente no gráfico de pizza. Ao invés disso, uma técnica complementar é dinamizar o conteúdo do que é mostrado no gráfico sendo dimensionado a partir de um limiar definido.

Um problema é que quando se trabalha com redes muito grandes pode se tornar inviável mostrar todos os gráficos de representação. Uma solução é adotar uma abordagem de processos inteligentes, mostrando os dados que o usuário necessita

e os que ele quer ver de acordo com o que está sendo observado no sistema, eliminando assim, o número de elementos de distração na tela e mostrando somente o que deve ser visto, relacionado com o usuário.



Figura 4.1: Simulação dos gráficos de pizza indicando o nível de sobrecarga

4.1.2 Fluxo em Linha de Transmissão

A representação de fluxo é tão útil quanto o gráfico de pizza, dando a indicação da direção do fluxo. Durante uma operação de emergência, os fluxos podem ser revertidos e as informações a respeito da direção torna-se fundamental.

Uma técnica para visualização das linhas de fluxo, é sobrepor pequenas setas nas linhas com a ponta da seta indicando a direção do fluxo e o tamanho da seta proporcional à voltagem e carga do fluxo (Figura 4.2).

Podem ainda ser utilizados com animação dos fluxos. Deve-se tomar cuidado, no entanto, ao utilizar muitas animações em grandes sistemas, pois em alguns casos, ao invés de facilitar a visualização dos dados, pode-se gerar poluição visual e dificultar o entendimento destas informações.

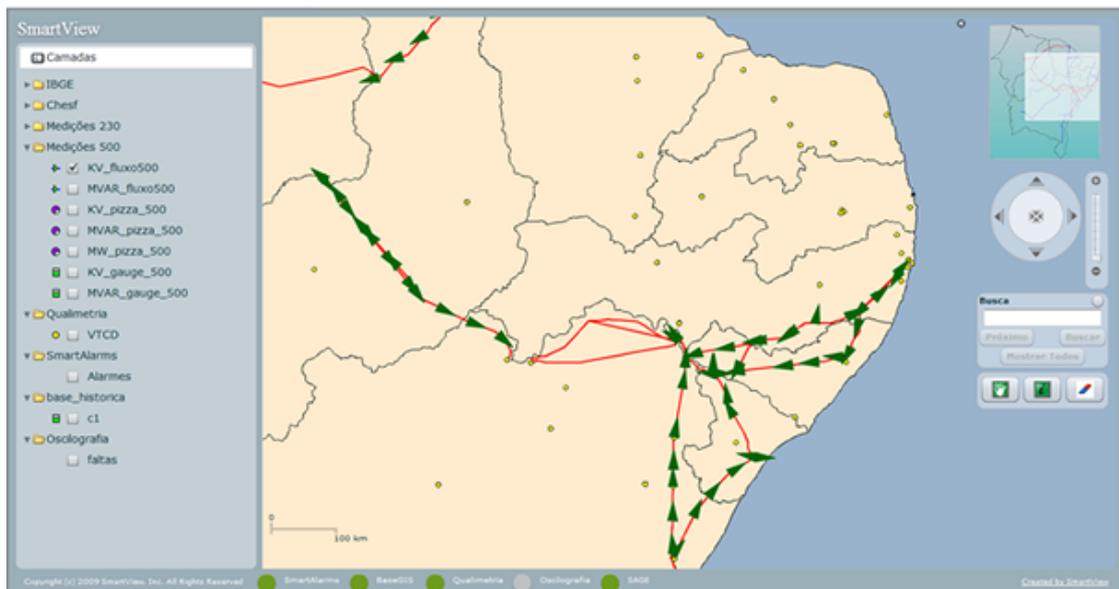


Figura 4.2: Visualização do fluxo em linhas de transmissão

4.1.3 Contornos

Contornos têm sido utilizados extensivamente para a visualização de dados distribuídos em muitos outros campos. No entanto, existem três grandes assuntos com aplicação de contornos para visualização de sistemas de potência com informações de voltagens, barramentos e ângulos de fase (Weber and Overbye 2000). O primeiro são os próprios barramentos - tratamento das informações relativas aos barramentos. Em segundo lugar, as informações a respeito dos transformadores - voltagem e magnitude. E em terceiro, as voltagens próximas umas das outras em diagramas unifilares.

A utilização de contornos funciona bem por que o sistema visual humano funciona bem para a detecção de padrões. O fator humano no teste dos contornos dos sistemas de potência é muito útil para o aumento da velocidade e acurácia no diagnóstico do problema, particularmente situações com muitas violações de voltagens. Isso acontece por que as cores servem para chamar a atenção de uma área específica, possibilitando a fácil localização, evitando uma busca ampliada

no espaço de visualização.

É possível ainda mostrar várias informações em uma mesma exibição, como o fluxo, os contornos, mas é necessário ter cuidado com essa combinação de informações para não dificultar a compreensão do que está sendo visualizado, assim como quanto ao uso demorado de animações.

As visualizações, portanto, envolvem reconhecimento de padrões da mente humana, ao invés de análises numéricas de laboratório. Como mostrado anteriormente, os usuários muitas vezes não se importam com os valores exatos em cada ponto, mas estão interessados no estado do sistema (estado de alerta, estado normal, etc.).

Para realização dos contornos gráficos, é necessário utilizar algoritmos existentes e bastante utilizados nesta área de visualização de gráficos com grande quantidade de informações.

Contorno em Ponto

A construção do contorno em ponto é a visualização mais simples, sendo em muitos casos, a de mais fácil entendimento do problema observado. Nesta visualização é apresentado um círculo de cor e tamanho com base no valor da grandeza elétrica que está sendo observada, e esta cor mapeada é encontrada na legenda definida na aplicação, conforme a Figura 4.3

Os intervalos são definidos automaticamente com base nos valores de tensão mínima e tensão máxima, definidos em arquivo de configuração, conforme descrito na Figura 4.4.

Desta maneira, em cada faixa de cor é definido um intervalo de valores que será utilizado posteriormente no mapeamento de acordo com o valor passado para o algoritmo de visualização. Neste trabalho, foram definidas 14 faixas.

O resultado obtido do cálculo das faixas com base nos valores definidos de tensão mínima e máxima e da quantidade de faixas pode ser visualizado na Figura 4.5, sendo que, cada intervalo calculado possui uma coloração específica definida

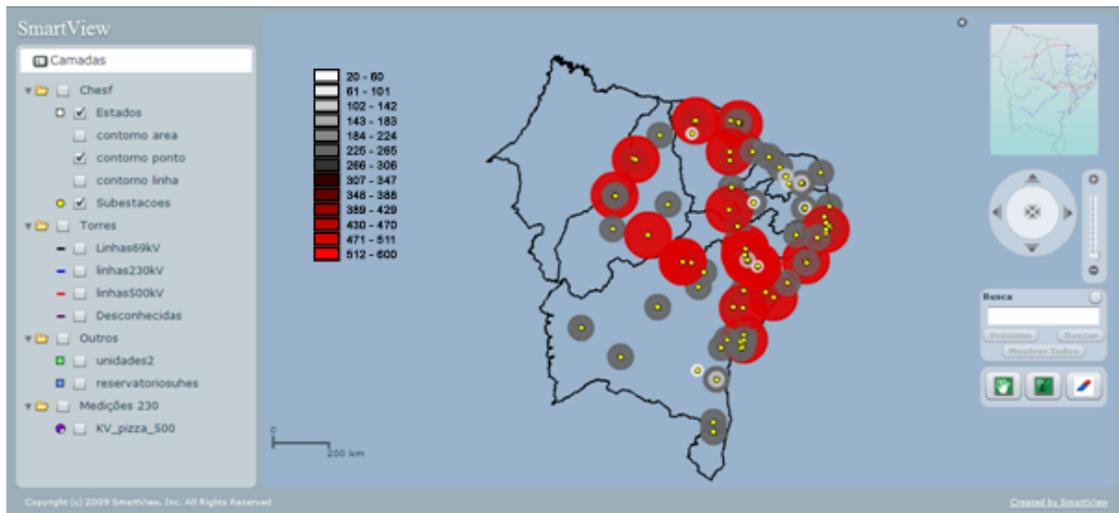


Figura 4.3: Visualização do Contorno em Ponto gerado com base nos valores da grandeza elétrica das subestações.

```

real legenda[quantidade_de_faixas];
inteiro min = getRangeMin();
inteiro max = getRangeMax();
inteiro intervalo = (max - min)/quantidade_de_faixas;

legenda[0] = min;
para i de 1 até quantidade_de_faixas
{
    legenda[i] = legenda[i-1] + intervalo;
}

```

Figura 4.4: Algoritmo do cálculo das faixas com base nos valores mínimo e máximo fornecidos.

no mapeamento das cores.

Contorno em Linha

O Contorno em linha de transmissão utiliza também um escala de cores definida na implementação contendo os intervalos de tensão e a cor relativa ao intervalo.

No algoritmo proposto utilizou-se a idéia de interpolação entre dois pontos

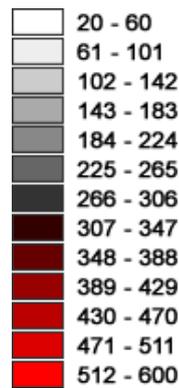


Figura 4.5: Escala calculada pelo algoritmo de divisão de faixas, com valor mínimo e máximo 20 e 600, respectivamente.

P1 e P2. Verifica-se em qual intervalo os pontos inicial e final estão localizados e percorre-se todo o percurso intermediário entre os dois pontos, conforme mostrado na Figura 4.6.

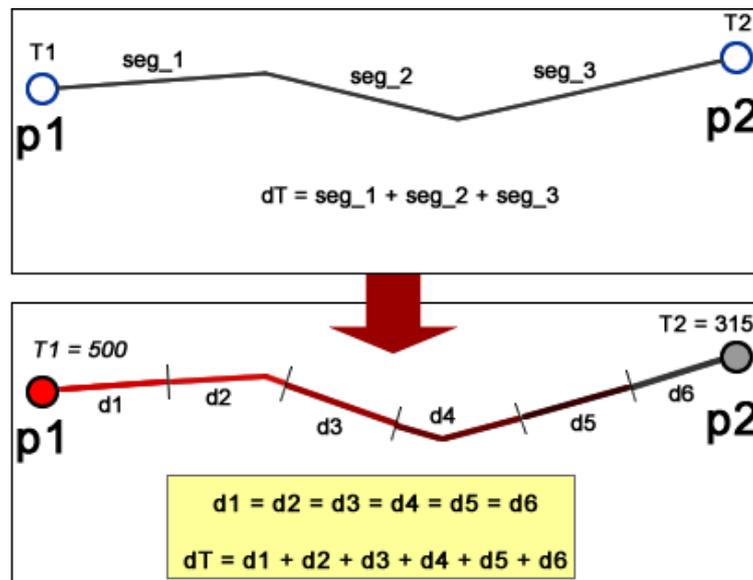


Figura 4.6: Demonstração do cálculo do contorno em linha e as subdivisões geradas, considerando p1 e p2 e suas respectivas tensões T1 e T2

A utilização do contorno em linha de transmissão segue o mesmo objetivo do contorno em área, que é a demonstração visual da variação ao longo da linha. Os

dados utilizados para a visualização deste tipo de contorno foram de simulação e o resultado pode ser visualizado na Figura 4.7 a seguir.

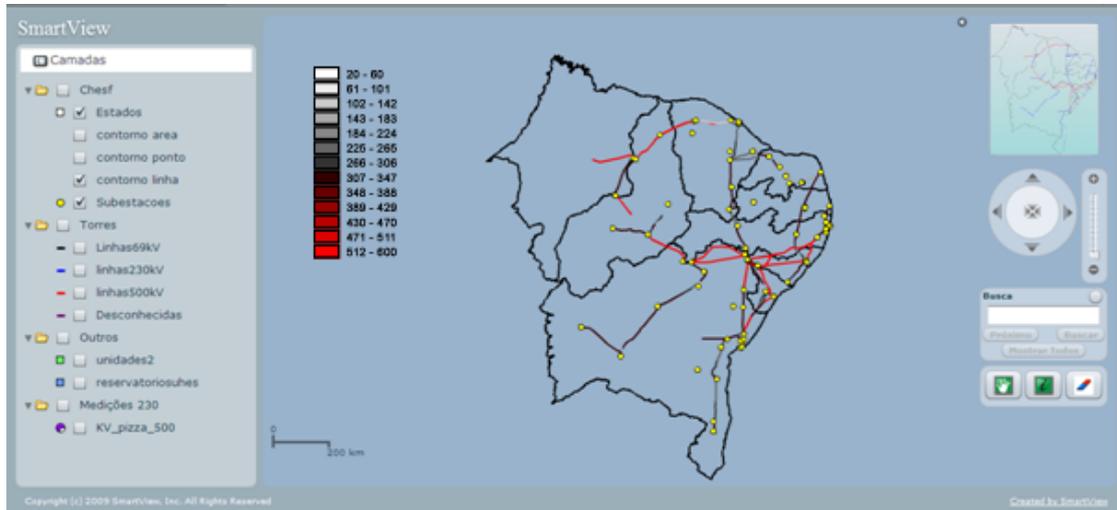


Figura 4.7: Representação visual do Contorno em Linha

Contornos em Área

Para a construção do contorno distribuído espacialmente em um área retangular foi utilizado como base o algoritmo de Shepard (Tate and Overbye 2008), que é um método de força bruta onde são calculados pontos virtuais e cada ponto virtual do sistema de potência é uma soma dos pesos de todos os elementos do sistema de potência, como mostrado nas Figuras 4.8 e 4.9. O método funciona bem, mas possui um problema que é o custo do cálculo dos valores virtuais, principalmente quando uma área é uma região muito densa, ou seja, contém vários elementos do sistema.

Uma melhoria em relação ao algoritmo de Shepard é o algoritmo rápido de contorno (Tate and Overbye 2008) que considera, não mais todos os elementos do sistema, mas todos os elementos dentro de uma região de influência. A forma de calcular os valores virtuais é semelhante ao algoritmo de Shepard, mas com um

$$V_p = \frac{\sum_{i=nSubs} \left(v_i \frac{1}{d_{pi}^\alpha} \right)}{\sum_{k=nSubs} \left(\frac{1}{d_{pk}^\alpha} \right)}$$

V_p: Valor calculado para a posição virtual desejada "p"
V_i: Valor do peso do elemento "i"
d_{pi}: Distância de "p" ao centro do barramento "i"
α: parâmetro de controle de peso
nSubs: Quantidade de Subestações percorridas

Figura 4.8: Fórmula para o cálculo do valor virtual (vp) na posição de coordenadas xp e yp.

espaço reduzido, que é a região de influência.

```

//Percorre todos os elementos calculados na área
para X de xMIN ate xMAX faça
{
  para Y de yMIN ate yMAX faça
  {
    //calculo do ponto virtual (vp)
    para k de 0 ate nSubs faça
    {
      kAux = k;
      //distância entre o ponto atual e o barramento
      d = ( (x-pontos[kAux*2])*(x-pontos[kAux*2]) +
      (y-pontos[kAux*2+1])*(y-pontos[kAux*2+1]) );
      //somatório dos pesos
      vpi += pesos[k]/d;
      //somatório das distâncias
      di += 1/d;
    }
    vp = vpi/di;

    //mapeamento na escala de cores
    corMapeada = mapearCor (vp) ;
  }
}

```

Figura 4.9: Algoritmo do cálculo do Contorno

A Figura 4.10 apresenta ainda graficamente, como o algoritmo de contorno calcula o valor virtual correspondente, de acordo com os pontos observados no espaço definido.

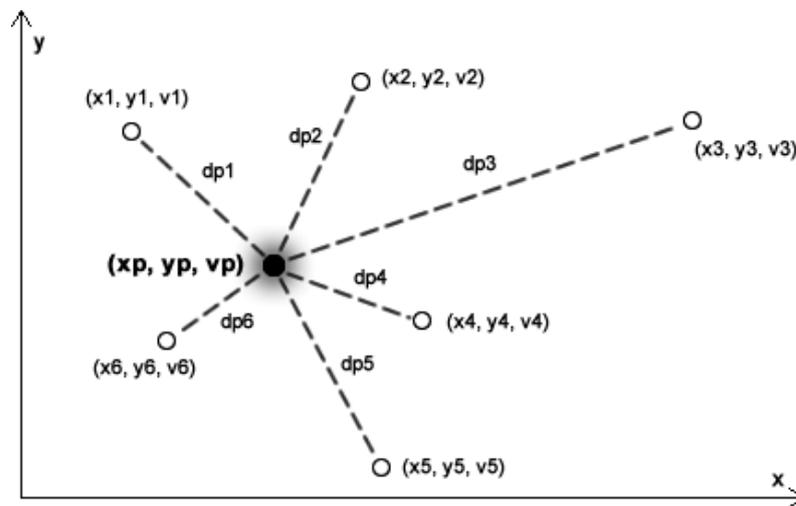


Figura 4.10: Representação visual do valor virtual (vp) a ser calculado na posição (x_p, y_p) , considerando os pontos de referência utilizados (neste caso: p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 e p_6).

Uma vantagem do contorno é poder visualizar uma falha no sistema, mesmo em um sistema grande e complexo. Novamente a chave para o sucesso de aplicações de contorno é mostrar somente as informações de interesse.

Com a implementação deste algoritmo foi possível construir as visualizações mostradas nas Figuras 4.11 e 4.12, sendo que este contorno está considerando a voltagem como a grandeza do sistema elétrico.

4.1.4 Visualização de Grandezas Elétricas com Polígonos de Thiessen

O uso de contornos, como dito anteriormente, traz uma grande vantagem, pois o ser humano possui uma grande facilidade no trabalho com padrões visuais, sendo exatamente isso que os contornos produzem, a construção de uma representação em padrões visuais de dados ou informações acerca dos sistemas de potência.

Em nossa abordagem, utilizamos uma nova técnica para visualização de grandezas a partir de polígonos de Thiessen, na qual, será utilizado o mapeamento

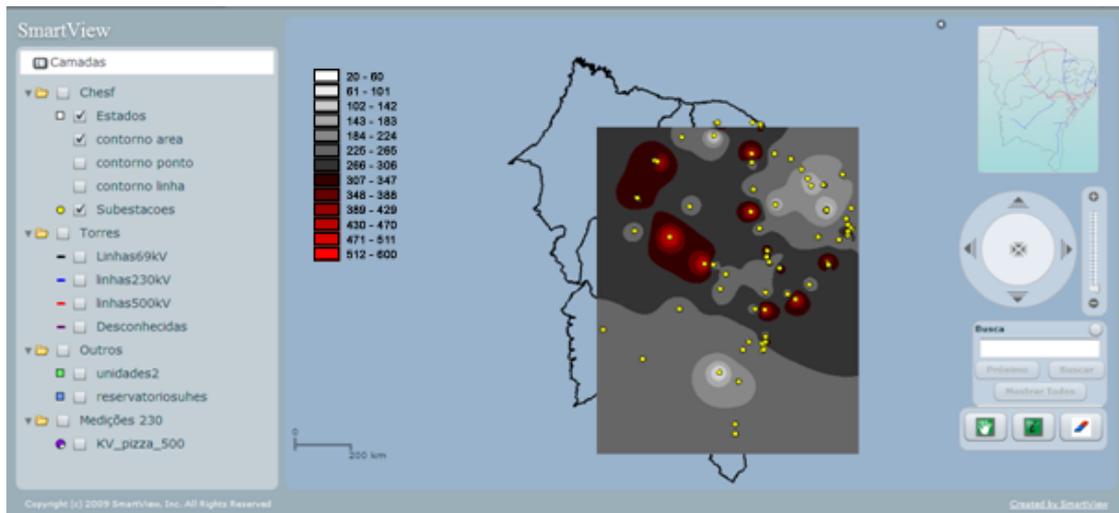


Figura 4.11: Visualização do Contorno em área calculado sem utilização de transparência ($\alpha = 100\%$).

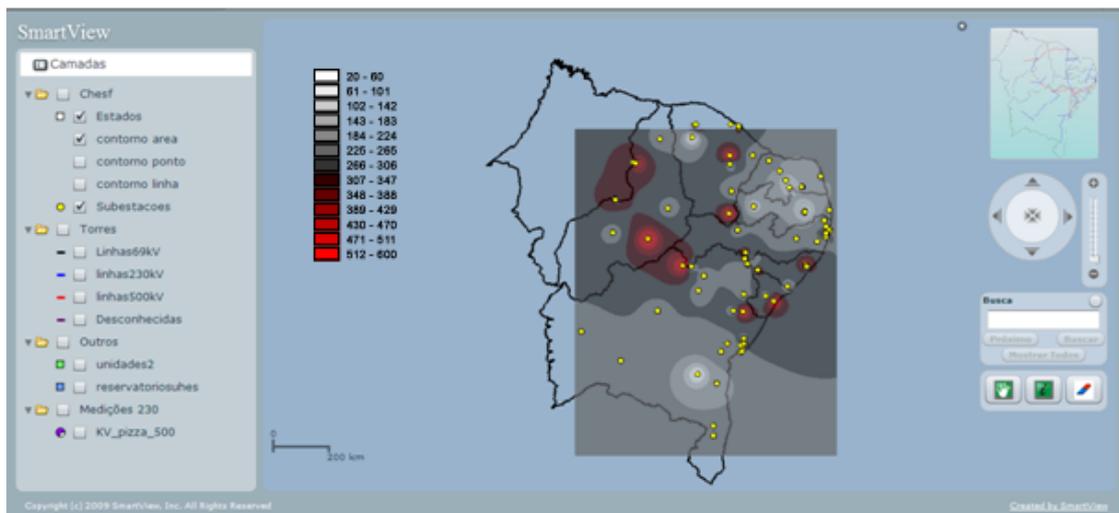


Figura 4.12: Visualização do Contorno em área calculado utilizando transparência ($\alpha = 75\%$).

das cores, com base nos valores passados a cada polígono gerado e a cor mapeada será utilizada para a colocação do respectivo item.

Os diagramas de Voronoi foram inicialmente criados para resolver um problema simples, que era como dividir uma cidade em áreas irregulares de forma que a área coberta por um carteiro vinculado a uma determinada agência de correio seja otimizada.

A solução foi proposta por (Voronoi 1896) em sua tese de doutorado, na qual, sugeriu um método em que, com base em uma triangulação pré-existente de pontos que representam os centros de algum elemento de utilidade (no caso da primeira aplicação, agências de correio), se determina qual a área de influência de cada um destes centros em função da posição dos outros centros, delimitando de forma geométrica cada área de influência.

O diagrama de Voronoi possui ainda extrema utilidade no reconhecimento de padrões para delimitar as áreas de categorias ou classes em uma representação geométrica de suas distribuições.

Sendo um conjunto de padrões constituído de um elemento típico para cada categoria que queremos representar, podemos utilizar o diagrama de Voronoi para determinar a extensão de cada uma das categorias. A implementação do diagrama de Voronoi parte do conjunto de elementos, gerando inicialmente uma triangulação. Para isto, utilizamos o método da Triangulação de Delaunay, que pode ser visualizado na Figura 4.13 destacada em vermelho.

Após a realização da triangulação - cujo algoritmo básico é mostrado nas Figuras 4.14 e 4.15 - são traçadas linhas que formarão as fronteiras das células do diagrama de Voronoi. Estas fronteiras são geradas por linhas perpendiculares ao ponto médio de cada aresta da triangulação produzida anteriormente, sendo que, as intersecções destas perpendiculares formam os vértices das células do diagrama de Voronoi.

Além desta implementação utilizada, os diagramas de Voronoi têm outras implementações, como apresentado em (Rackovic and Surla 1993), que utiliza a delimitação do fecho convexo¹ inicialmente de um conjunto de pontos no espaço

¹Fecho Convexo: Menor polígono convexo que engloba pontos dispersos em um plano

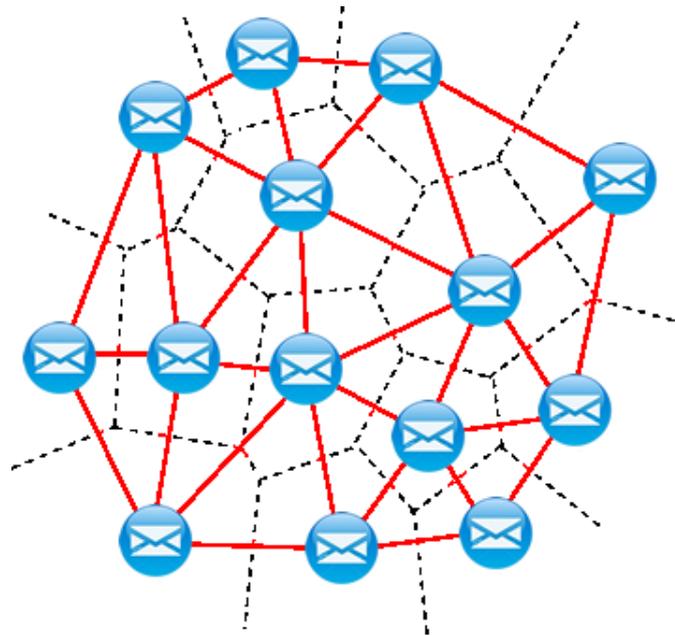


Figura 4.13: Problema inicial das agências de correio e a sua solução com a geração do diagrama de Voronoi no plano.

definido e são então calculados os segmentos internos ao feixe, gerando o diagrama de Voronoi em um plano.

A utilidade dos diagramas de Voronoi, conforme demonstrado, é imensa. Neste trabalho ele é utilizado como uma proposta para a visualização de grandes quantidades de informações nos sistemas elétricos de potência.

Como dito, os contornos são excelentes para uma visualização detalhada e visualmente atraente, mas possuem, principalmente quando se trata de grande quantidade de informações, um alto nível de processamento e demandam de grande quantidade de tempo para execução deste processamento.

A utilização dos polígonos de Thiessen pode ajudar em tais casos, com a obtenção de uma visualização rápida e que apresenta o mapeamento de áreas com pesos elevados. Neste caso, estamos tratando das subestações do sistema de potência, considerando as tensões em cada uma delas.

Desta forma, os passos utilizados para a geração dos polígonos de Thiessen são obter inicialmente o valor da grandeza elétrica em cada ponto considerado no

```

Entrada: Conjunto P de n pontos
Saída: Triangulação de Delaunay de P
1. Seja pa,pb,pc três pontos que definem um triângulo contendo
   todos pontos de P
2. Inicialize T como uma triangulação com um o triângulo
   pa,pb,pc
3. Calcule uma permutação p1,p2,..., pn de P
4. FOR r:= 1 TO n
5. DO // Inserir pr em T
6.   Encontre um triângulo pipjpk que contém pr
7.   IF pr esta no interior do triângulo pipjpk
8.   THEN adicione arestas de pr para pi,pj,pk, criando três
   triângulos
9.       LEGALIZEARESTA(pr ,aresta(pi,pj), T)
10.      LEGALIZEARESTA(pr ,aresta(pj,pk), T)
11.      LEGALIZEARESTA(pr ,aresta(pk,pi), T)
12.   ELSE // pr esta sobre uma aresta
13. Adicione aresta de pr para pk e para o vértice p1 do
   triângulo adjacente
14.      LEGALIZEARESTA(pr ,aresta(pi,p1), T)
15.      LEGALIZEARESTA(pr ,aresta(p1,pj), T)
16.      LEGALIZEARESTA(pr ,aresta(pj,pk), T)
17.      LEGALIZEARESTA(pr ,aresta(pk,pi), T)
18. Delete pa,pb,pc e suas arestas incidentes de T

```

Figura 4.14: Etapas e Algoritmo para triangulação de Delaunay.

problema (neste caso, as subestações). É feito então a triangulação de Delaunay e, posteriormente, após finalizado o cálculo do diagrama de Voronoi, é feita a classificação do valor da grandeza e então mapeada na escala definida a cor que deverá colorir cada polígono de Thiessen.

Na Figura 4.16, podemos observar a comparação do mesmo mapa gerado com o algoritmo proposto com os polígonos de Thiessen e com o algoritmo de contorno tradicional.

Embora a visualização do gráfico de contorno seja mais agradável, o gráfico com os polígonos de Thiessen é mais compatível com o fenômeno visualizado. Um exemplo, disso é quando duas subestações estão muito próximas e, no cálculo do contorno tradicional a grandeza observada não fica claramente identificada em uma visão geral, dificultando a compreensão nestes casos. Já no algoritmo de Thiessen, é feita a divisão entre as duas subestações com polígonos diferentes.

```

LEGALIZEARESTA(pr ,aresta(pi,pj) , T)
1. IF aresta(pi,pj) é ilegal
2. THEN Seja pipjpk o triangulo adjacente a prpipj adjacente a
   aresta(pi,pj)
3.         Troque aresta(pi,pj) por (pr ,pk)
4.         LEGALIZEARESTA (pr , aresta(pi,pk) , T)
5.         LEGALIZEARESTA (pr , aresta(pk,pj) , T)

```

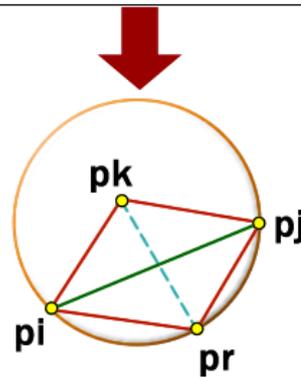


Figura 4.15: Função de atualização de arestas utilizada na triangulação de Delaunay.

Para verificar o desempenho do novo algoritmo proposto foram considerados os valores de tensão de subestações e gerados os gráficos de Contorno tradicional e com a utilização dos polígonos de Thiessen. Os testes foram feitos em diferentes resoluções, sendo Java a tecnologia usada nos 02 (dois) problemas e utilizando o processamento de um computador Intel Core Duo com 2 gigabytes de memória, sendo computados somente o tempo de cálculo das técnicas de visualização, consideradas sem o mapeamento relacionado à tensão, que seria o mesmo nos dois casos, descartando o cálculo da divisão automática das faixas mostrado anteriormente.

O Quadro 1 a seguir mostra os resultados obtidos com o teste realizado.

Com isso, podemos observar que o tempo de cálculo cresce bastante com o aumento da área de abrangência no contorno e o algoritmo proposto possui um

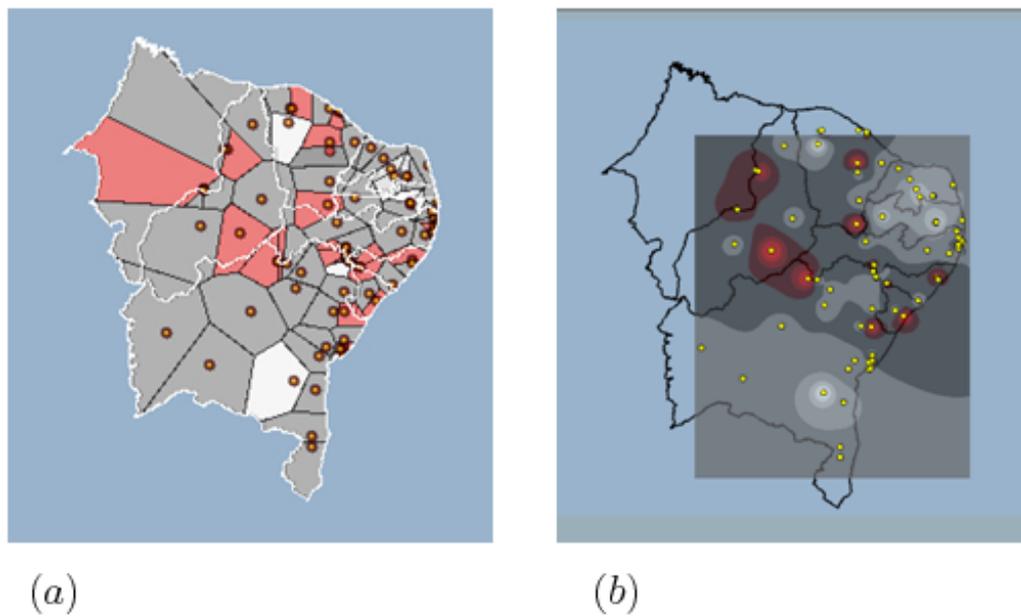


Figura 4.16: Visualizações de Contorno. a) Utilizando polígonos de Thiessen. b) Utilizando o contorno tradicional em área.

Resolução (em pixels) x Técnica	Contorno em Área	Polígonos de Thiessen
300 x 400	0.9 s	0.031 s
700 x 500	2.6 s	0.078 s
1000 x 1000	7.6 s	0.109 s

Quadro 1: Quadro Comparativo entre as gerações utilizando o algoritmo de contorno em área e a visualização utilizando os polígonos de Thiessen em diferentes resoluções (testes realizados para 194 subestações).

tempo de resposta melhor em todos os casos de teste. Nos testes considerados foram utilizadas 194 subestações, cada uma com uma tensão utilizada como grandeza elétrica do sistema para o mapeamento final da coloração dos polígonos de Thiessen.

Para a implementação da visualização dos polígonos de Thiessen, utilizamos o trabalho de (Chew 2009) que disponibiliza a técnica descrita anteriormente para a visualização do diagrama de Voronoi e foi construída a conexão com a base SIG das coordenadas de cada subestação, passando o respectivo peso da grandeza elétrica

para o mapeamento da cor em cada polígono, de forma similar ao trabalho feito no cálculo dos contornos tradicionais, sendo que, a grande diferença é que nesta abordagem não é feito o cálculo ponderado considerando outras subestações em relação a uma subestação específica, sendo considerado somente o peso definido da subestação em questão.

Como resultado observa-se que, além de mais informativa, a visualização por Thiessen permite facilitar sua utilização em sistemas de visualização em tempo real.

4.2 Técnicas de Visualização Tridimensional

A utilização de visualizações tridimensionais traz novas possibilidades para a forma de exibição dos dados, como serão mostradas a seguir. Neste trabalho foram desenvolvidas visualizações 3D para serem utilizadas no Ambiente Virtual.

4.2.1 Contorno em Área projetado em Modelo Digitais de Terreno (MDT)

O conceito inicial de modelagem digital do terreno teria surgido em finais da década de 50 (Miller *et al.* 1978), sendo o termo originalmente associado à representação do terreno por perfis. Modelos digitais de terreno são quaisquer conjuntos de dados em suporte numérico que, para uma dada zona, permita associar, a qualquer ponto definido sobre o plano cartográfico um valor correspondente à altitude (Mikhail *et al.* 1978).

Os problemas fundamentais no domínio dos modelos digitais de terreno são a modelagem de um fenômeno geográfico com distribuição contínua, a aquisição e processamento de elevada quantidade de informação. De acordo com (Aspiazú *et al.* 1990), os modelos em perspectiva são conhecidos como Modelos Digitais do Terreno (Digital Terrain Model), ou Modelos Digitais da Superfície (Digital Ground Model), sendo que, o termo Modelo Digital do Terreno é o mais utilizado.

Os MDTs vêm sendo utilizados há muitos anos na escolha dos percursos mais convenientes para estradas, permitindo levar em consideração fatores ambientais e cênicos (Mikhail *et al.* 1978). Eles são também usados para calcular volumes de terra a serem removidos para o traçado de estradas e volumes de água contidos em reservatórios.

Com relação aos recursos naturais, as aplicações estão constituídas, essencialmente, por análises topográficas. A análise de declividades permite determinar as condições de acesso a regiões potencialmente aptas para alguma finalidade. A análise da orientação direcional de um dado local quanto ao aspecto, por exemplo, tem grande importância com relação aos fatores micrometeorológicos atuantes na região (radiação solar incidente, temperatura e umidade do ar e ventos).

O padrão X3D, utilizado na elaboração deste trabalho possui o elemento `ElevationGrid` mostrado anteriormente que implementa perfeitamente uma solução para geração de um MDT.

Nesta visualização o processo de implementação foi efetuar o cálculo do contorno em área, de uma região do sistema considerando as tensões nas subestações novamente como grandeza considerada do sistema elétrico e mapear a grade calculada para a construção do elemento `ElevationGrid` no documento X3D da visualização, conforme mostrado no esquema apresentado na Figura 4.17.

As informações necessárias para geração desta visualização são as coordenadas (x e y), a cor (que pode estar associada a outra variável do sistema) e o valor do evento observado (que será mapeado na altura do MDT), como mostrado na Figura 4.18.

A coloração para a geração do MDT é feita utilizando a triangulação entre os pontos constituintes da malha, sendo feito o cálculo da coloração destes triângulos. No X3D, a utilização desta coloração é implementada no elemento `ElevationGrid`, sendo baseada na técnica de (Gouraud 1971), que gera triângulos utilizando os pontos da malha e faz a interpolação entre as cores dos pontos.

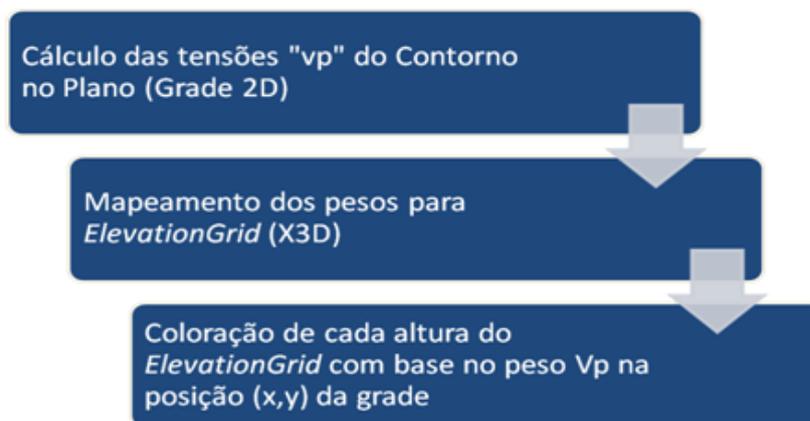


Figura 4.17: Etapas para a geração da projeção do Contorno no ElevationGrid para geração do MDT.

Na abordagem deste trabalho são utilizadas a altura e a coloração com base na mesma grandeza, mas ressalta-se que esta visualização traz novas possibilidades de visualização de eventos no sistema elétrico e pode ser utilizada com a finalidade de observar variáveis distintas em uma mesma visualização simultaneamente.

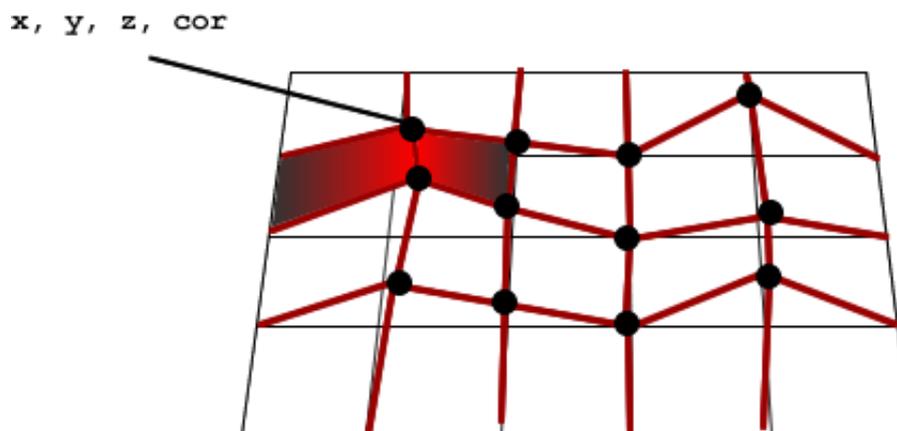


Figura 4.18: Informações necessárias para geração do contorno em MDT. Coordenadas (x, y) , altura (z) , coloração (cor)

A visualização obtida com esta abordagem pode ser visualizada na Figura 4.19.

A visualização demonstra variações ao longo do mapa visualizado nas

subestações conseguidas com uso do contorno projetado e utilizado para a construção do MDT. Possibilita ainda, uma análise com maior grau de detalhamento, visto que, esta visualização poderia ainda utilizar outras variáveis para análise de problemas e visualizar simultaneamente 02 (duas) grandezas do sistema elétrico.

De acordo com (Venkatesh *et al.* 2009), a utilização de visualizações tridimensionais em sistemas de potência, podem ajudar na operação e análise dos dados destes sistemas, sendo a busca por melhoria na forma de manipulação das informações destes sistemas um dos objetivos deste trabalho.

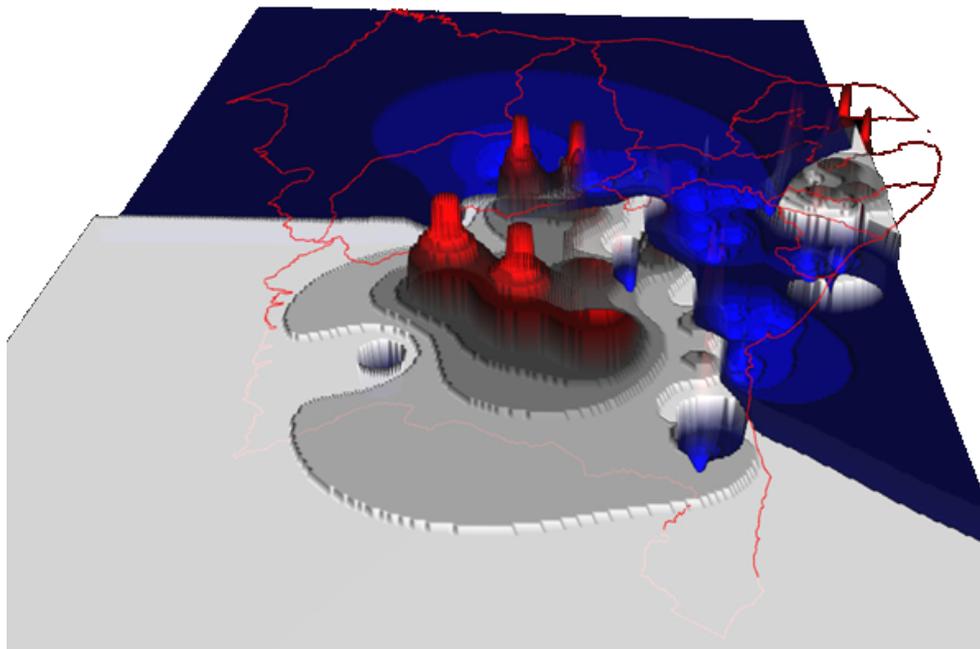


Figura 4.19: Geração do Modelo Digital de Terreno com a projeção do Contorno calculado sobre o mapa.

4.2.2 Voltagem em subestações (3D)

A visualização de voltagem em subestações utiliza o mesmo conceito da visualização de contorno em ponto, com a diferença que, na terceira dimensão utilizada, ou o eixo Y, podemos colocar a altura do cilindro de representação de acordo com o valor mapeado na escala.

Esta representação em barras tridimensionais pode ainda ser utilizada para a visualização de geradores nos diagramas unifilares. Destaca-se que a utilização de visualizações de ambientes virtuais e tridimensionalidade permite ao usuário captar informações adicionais referentes à altura do cilindro mapeado proporcionalmente à alguma variável do sistema elétrico. Nesta técnica de visualização dos geradores, por exemplo, como mostrado em (Weber and Overbye 1999) uma visualização freqüentemente utilizada é visualização de potência reativa e a capacidade máxima reativa do gerador.

Nesta implementação é utilizada a altura do cilindro referente à voltagem que este apresenta, como pode ser visualizado na Figura 4.20.

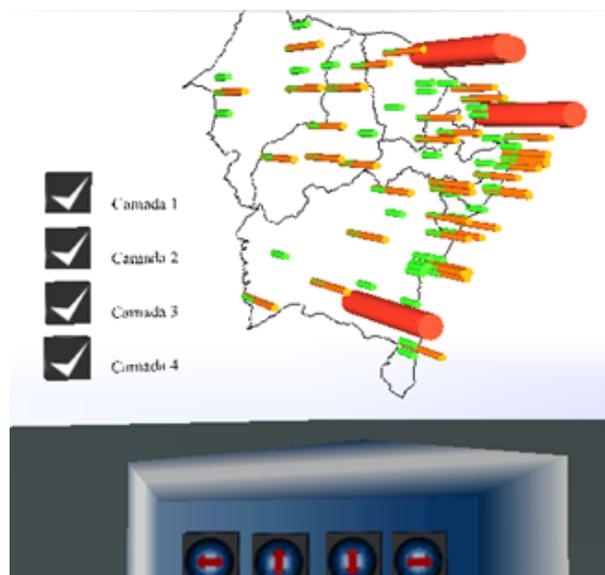


Figura 4.20: Visualização das barras 3D no Ambiente.

Ambiente 3D para visualização de Sistemas Elétricos de Potência

Nesta seção é apresentada uma proposta de melhoria para o controle e gerenciamento das visualizações presentes nas salas de controle dos sistemas de potência. São apresentadas as diferentes perspectivas de funcionamento do ambiente, como é feita a manipulação dos elementos e uma análise sobre a melhoria na interação humano-computador sugerida neste trabalho aos sistemas elétricos.

5.1 Visão geral do ambiente

O ambiente virtual de controle proposto constitui-se em uma sala, na qual o usuário, operador do sistema elétrico, está inserido e poderá incluir as visualizações presentes no ambiente manipulando-as da maneira que lhe aprouver.

Para o desenvolvimento de um protótipo de validação do ambiente virtual, foram desenvolvidas na camada de aplicação do sistema, módulos de geração de duas visualizações: barras tridimensionais, indicando o valor da grandeza elétrica das subestações e o gráfico de contorno de voltagem das subestações projetado

em um MDT.

Neste protótipo, o usuário inserido na sala possui à sua disposição um armário que contém as visualizações que poderão ser adicionadas à sala, ficando a critério deste usuário a inserção das visualizações através da interação com os itens contidos neste armário. Cada tipo de visualização adicionada através da seleção possui uma estrutura base que contém os controles de interação com a visualização selecionada, o que possibilita efetuar manipulações como, por exemplo, a rotação em torno do eixo da visualização escolhida.

Estas manipulações podem ainda ser incrementadas posteriormente com a adição de controles que deverão ser incluídos na camada responsável pela geração das visualizações em X3D.

Ainda com relação à manipulação de objetos, o usuário pode arrastar os objetos adicionados à sala ou visualizar o item selecionado do armário separadamente, como mostrado no diagrama de caso de uso da Figura 5.1 que trata das ações que podem ser realizadas pelo usuário no ambiente em execução.

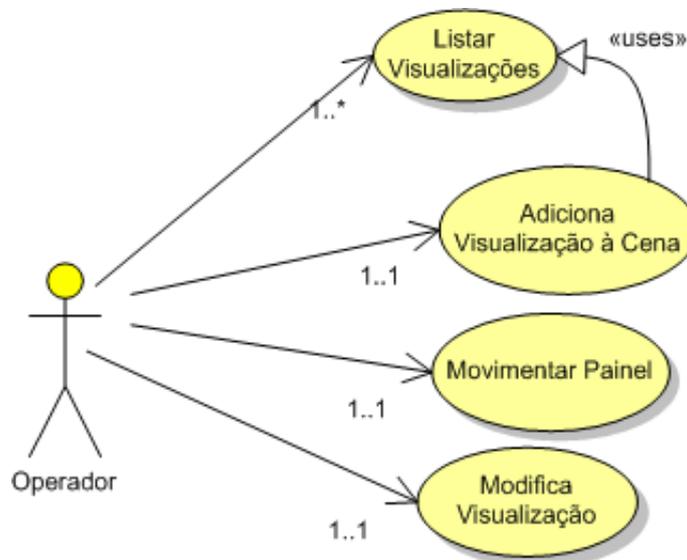


Figura 5.1: Diagrama de Casos de Uso para o Operador do Ambiente Virtual.

Esta opção de visualização separada pode ser utilizada para que o operador possa analisar individualmente com maior nível de detalhes a visualização

escolhida. Com isso, ao detectar algum comportamento anormal no sistema percebido com uso os diversos mapas visualizados simultaneamente no ambiente virtual, o operador pode selecionar esta visualização para uma análise mais apurada com a finalidade de observar alguma característica ou variável presente na visualização. Esta forma detalhada da representação dos suportes inseridos no ambiente (Figura 5.2) pode ser importante para a tomada de decisões, evitando ou minimizando desta forma a possibilidade de ocorrência de falhas.

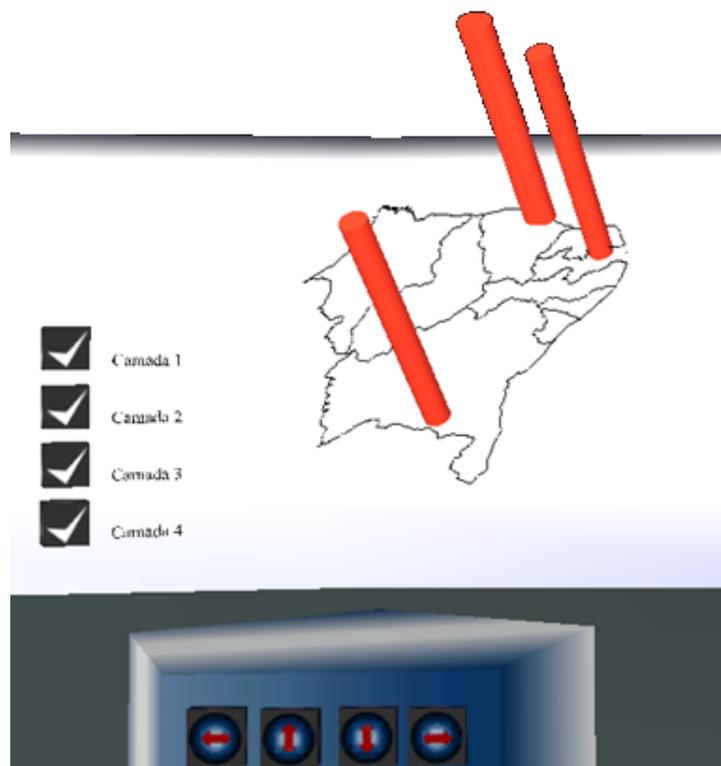


Figura 5.2: Manipulação dos objetos inseridos na cena (seleção de camadas e rotação).

O mapa visualizado aparece então flutuando sobre o suporte que contém os comandos de interação, o que pode ser observado na Figura 5.2 que trata a manipulação de objetos na cena. Na Figura 5.2 e Figura 5.3 são mostrados os controles de seleção de camadas da visualização escolhida e uma visão do Ambiente Virtual, respectivamente.

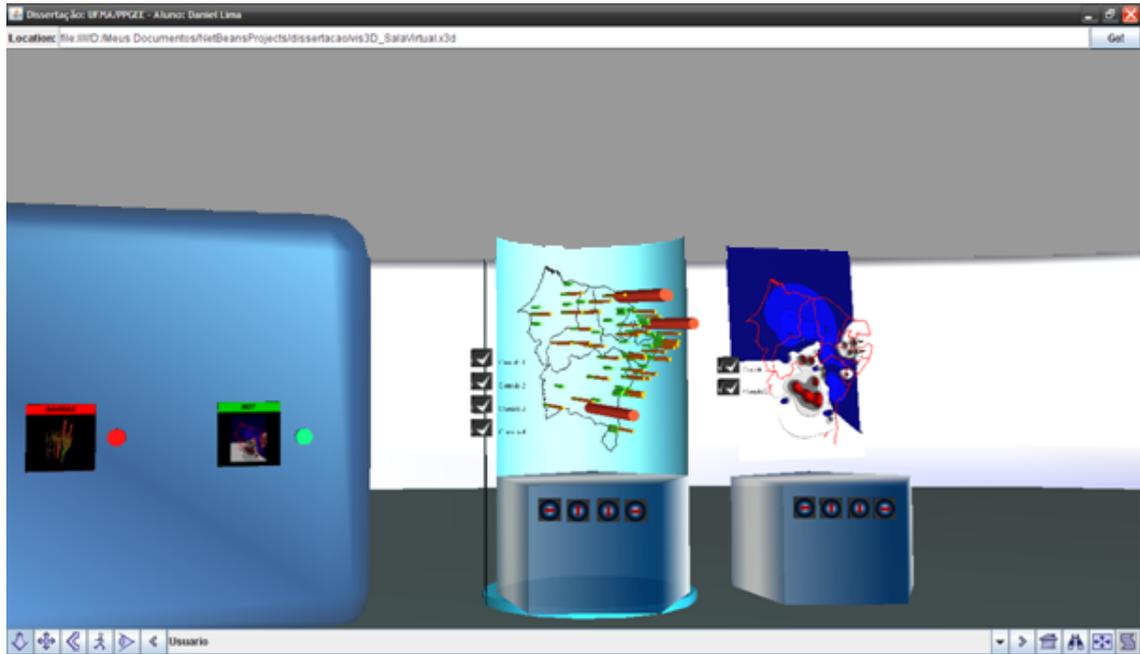


Figura 5.3: Visão geral do Ambiente Virtual.

Em nosso trabalho visamos a melhoria de dois processos da IHC: a interação usuário-sistema e o desenvolvimento do próprio sistema, haja vista que a interação do operador com o sistema é feita de maneira mais natural, evitando a utilização de botões e *widgets*¹ 2D. A respeito do processo de desenvolvimento do sistema foi utilizado o padrão X3D, que é um padrão aberto visando uma maior facilidade para inclusão de novas visualizações ao ambiente virtual.

Esta melhoria proposta deve ser avaliada por um estudo de usabilidade no âmbito do controle e gerenciamento dos sistemas elétricos de potência. O ambiente foi construído utilizando o conceito de Realidade Virtual não-imersiva, e as melhorias da IHC podem futuramente ser implementadas como a aplicação e configuração do sistema em um ambiente totalmente imersivo, ampliando a sensação de imersão e envolvimento do usuário e toda a interação feita dentro do

¹ *Widget* é um componente de uma interface gráfica do usuário, sendo os mais comuns janelas, botões, menus, ícones, barras de rolagem, dentre outros.

próprio ambiente.

No ambiente, a interação do usuário com a cena e os elementos visualizados é descrito de acordo com a Figura 5.4.

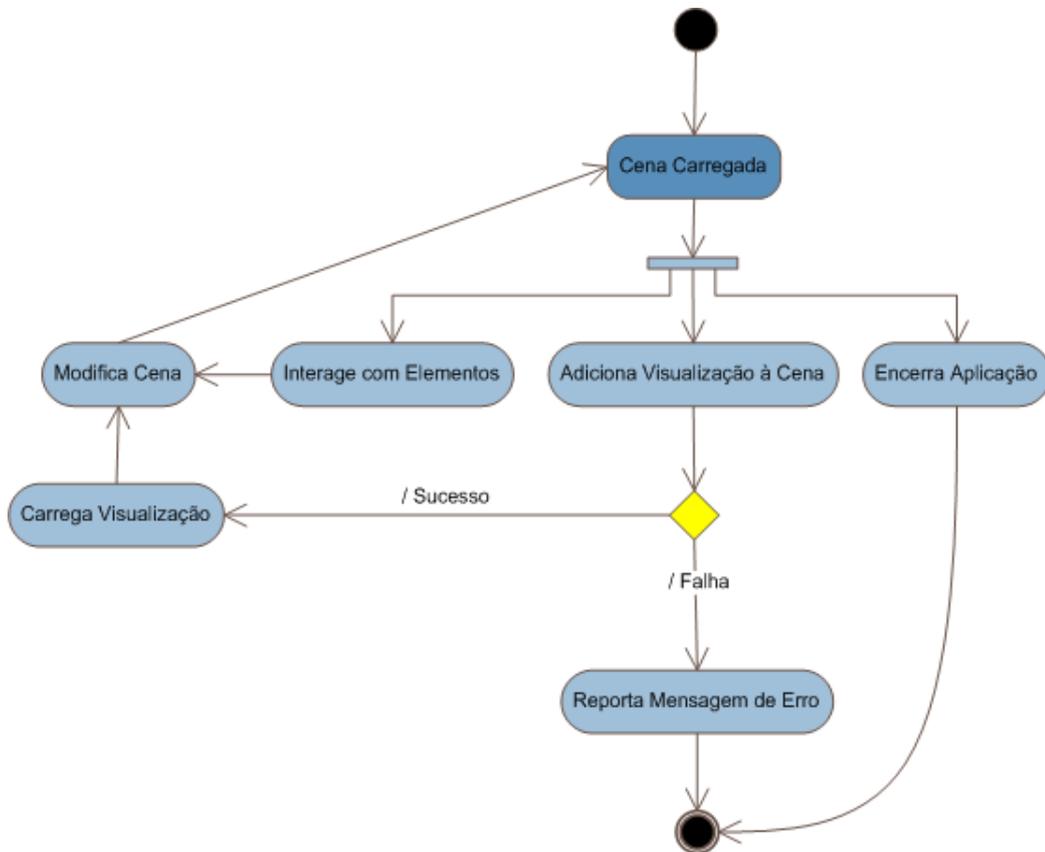


Figura 5.4: Diagrama de atividade do ambiente criado e as modificações da Cena Carregada para o usuário.

Ressaltamos ainda que os sistemas de potência possuem ainda diversas outras visualizações que não foram implementadas neste trabalho e poderão ser adicionadas ao ambiente virtual, desde que sejam incorporados os módulos de geração das visualizações na camada de aplicação e os módulos *listeners* na camada de apresentação. A maneira como o ambiente está construído e como estas alterações podem ser feitas será descrito na próxima seção referente à arquitetura do ambiente virtual.

5.2 Arquitetura do Ambiente

Para a criação da arquitetura deste ambiente tridimensional de realidade virtual voltado para a visualização de sistemas de potência foi utilizada uma abordagem baseada em camadas cliente/servidor, típica de aplicações Web.

A arquitetura do ambiente é baseada em um modelo com três camadas:

- Apresentação: responsável pelo gerenciamento do conteúdo X3D utilizado no ambiente virtual;
- Aplicação: possui o código Java que implementa a camada de negócios do sistema representando o modelo de dados ao nível de aplicação, controlando a lógica do sistema e gerando os conteúdos X3D que serão utilizados na apresentação;
- Dados: consiste em um banco de dados com suporte a sistemas de informações geográficas e os módulos de conexão que podem conectar-se a outras fontes de dados a serem integradas através de *plugins* de conexão, conforme mostrado na Figura 5.5, referente à arquitetura geral do ambiente.

Estas camadas da arquitetura tem como base o padrão de projeto MVC (Model-View-Controller), que proporciona a extensibilidade do sistema, com a redução do acoplamento dos dados com a lógica do sistema e interface gráfica, como mostrado também no Diagrama de Classe na Figura 5.6.

De acordo com o Diagrama de Classe, a camada de dados é composta pelas classes *PluginPGis* e *Conexao*, que são responsáveis pelo tratamento dos dados adquiridos na base de dados. Na camada de aplicação existem as classes *SceneGenerator*, que utiliza o *plugin* de conexão ao banco e o tratamento dos tipos de geometrias e as classes de geração das visualizações *ContornoMDT* e *Barras3D*, que são utilizadas para geração dos documentos X3D. E finalmente na camada de apresentação temos as classes *SceneLoader*, responsável pelo gerenciamento da cena virtual e as classes *Listeners* para cada visualização adicionada ao ambiente.

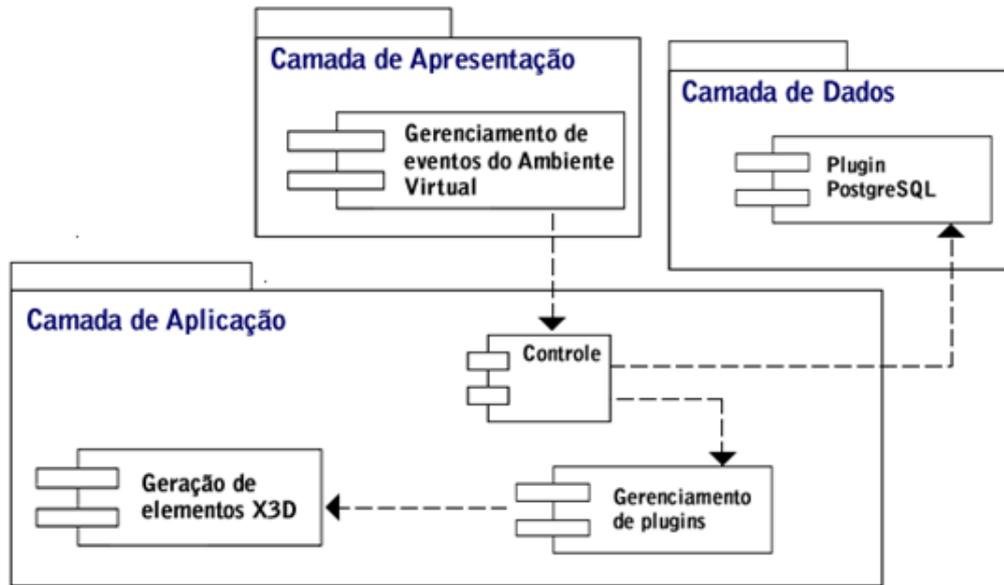


Figura 5.5: Arquitetura do Ambiente Virtual.

Desta forma, na camada de aplicação existe o controle da geração de conteúdo X3D e, na camada de apresentação, o gerenciamento das formas visualizadas que foram gerados (*listeners*) que controlam os mapas inseridos no ambiente virtual e as interações realizadas pelo usuário, com implementação feita em código Java utilizando a tecnologia SAI (Scene Access Interface) para controle da cena gerada em formato X3D, como mostrado no Diagrama de Sequência da Figura 5.7.

Cada tipo de visualização implementada nas classes de geração possui responsabilidade de maneira isolada do restante do mundo virtual por construir as informações, tratar os seus próprios eventos e consultar o banco de dados para geração dos objetos X3D que serão posteriormente acoplados ou anexados à cena para serem exibidos.

Com base nesta arquitetura é possível atualizar o conteúdo X3D gerado dos mapas e, desta maneira, possibilitar a atualização de dados adicionados à cena X3D para o manuseio do usuário. Assim, o ambiente funciona também para a integração de dados de diversas fontes por meio de uma tecnologia aberta e de fácil manipulação, possibilitando a inclusão dos dados de outros sistemas de controle

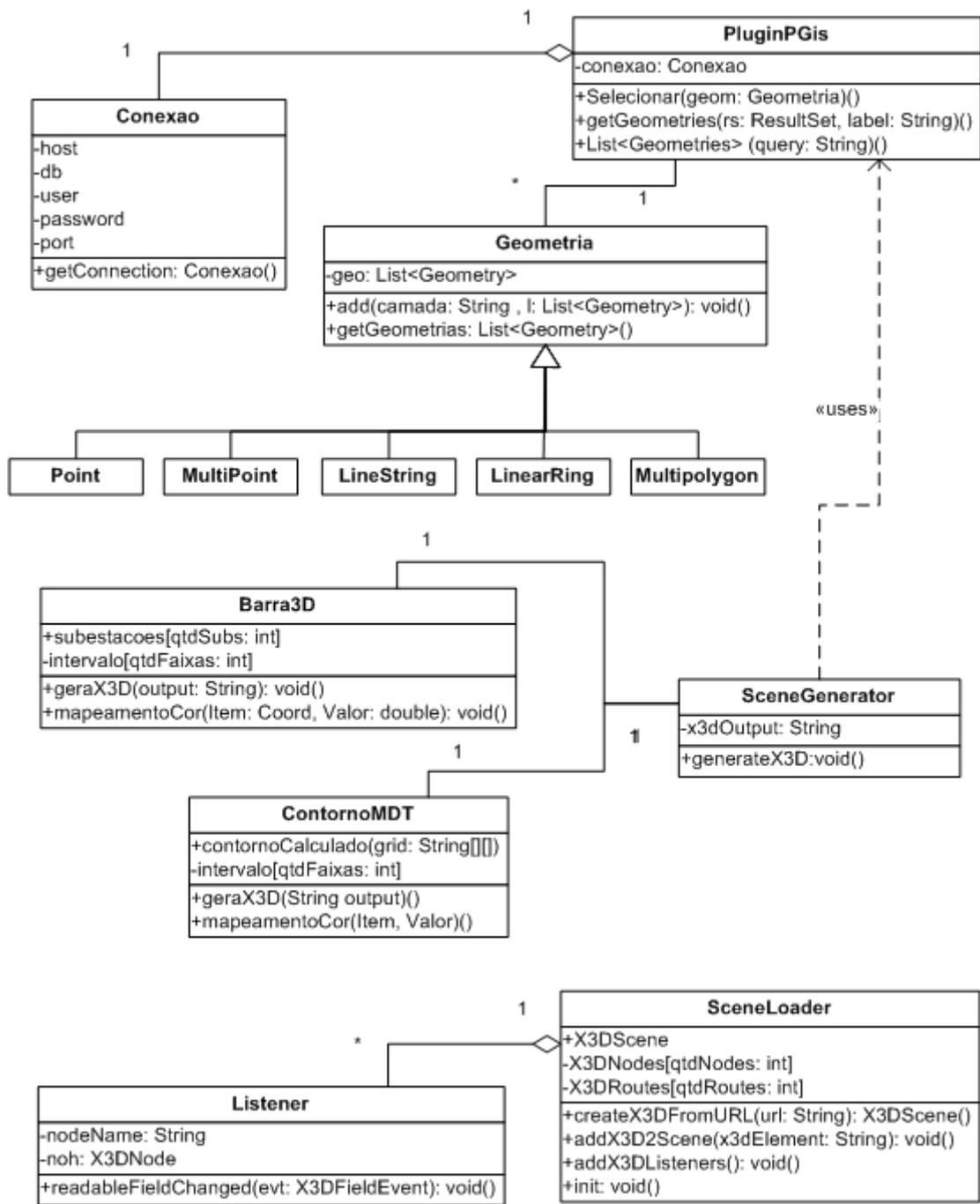


Figura 5.6: Diagrama de Classe do Ambiente Virtual.

e operação.

O ambiente pode ser apresentado resumidamente com dois componentes

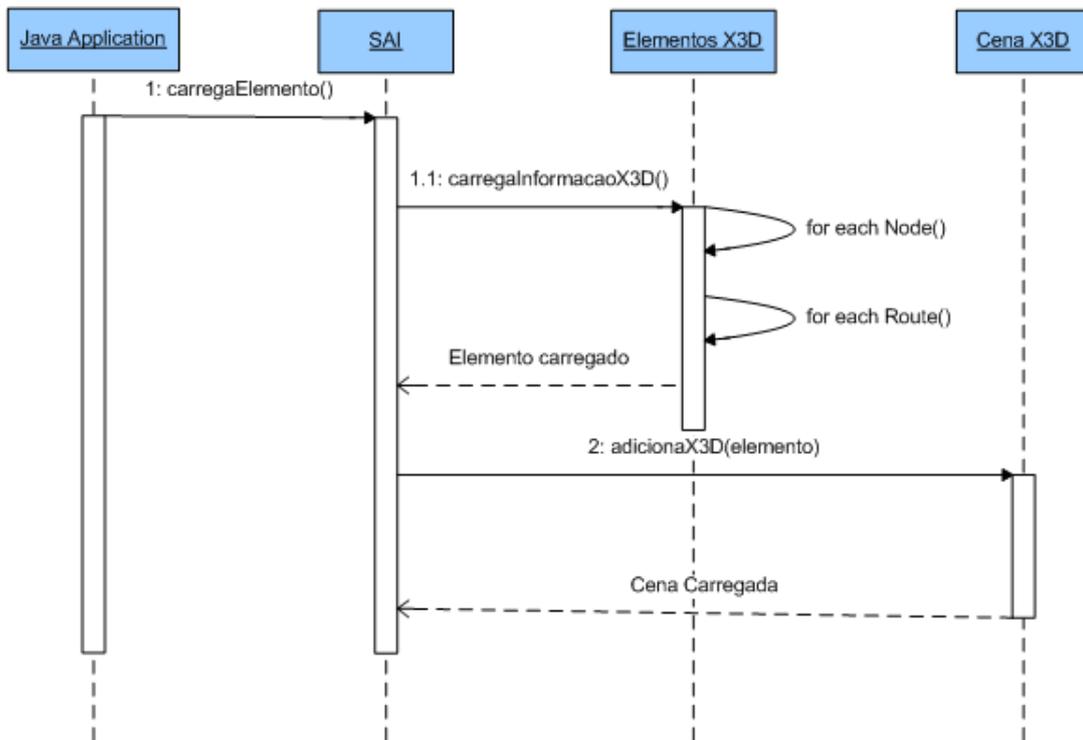


Figura 5.7: Diagrama de Sequência mostrando a adição de elementos X3D à cena do ambiente virtual.

principais: gerenciadores de eventos (*listeners*) e um conjunto de *plugins* de geração de visualização, os quais são responsáveis por suas implementações individualmente e para cada nova visualização devem ser adicionados na camada de aplicação e apresentação.

Desta maneira torna possível a adição de novos *plugins* de visualização, garantindo uma fácil extensibilidade do ambiente, ou seja, incluir novos dados e novas visualizações, além da possibilidade de acesso aos dados de forma individual e isolada.

Em nossa implementação nos mapas utilizados (Contorno MDT e Barras 3D) foram criados para construção de um protótipo que possibilite a visualização de dados de sistemas elétricos. Estes mapas permitem a visualização e manipulação das informações dentro do ambiente na forma descrita anteriormente de interação, possibilitando ao usuário manusear as informações a serem visualizadas dos

mapas.

A geração das visualizações dos sistemas de potência deve incorporar na camada de aplicação o *plugin* de geração da visualização necessária e na camada de apresentação o *listener* desta mesma visualização.

Os produtos gerados na camada de aplicação são elementos de visualização contendo as geometrias necessárias para a representação do sistema elétrico especificado pelo usuário no formato X3D, bem como os controles e comportamentos deste elemento gerado.

As visualizações geradas na camada de aplicação são construídas separadamente, como mostradas no diagrama de sequência (Figura 5.8). Desta forma, devem obrigatoriamente ser adicionados à camada de visualização os *listeners*, que permitem controlar eventos dentro do ambiente com a incorporação destes controladores ao Ambiente Virtual.

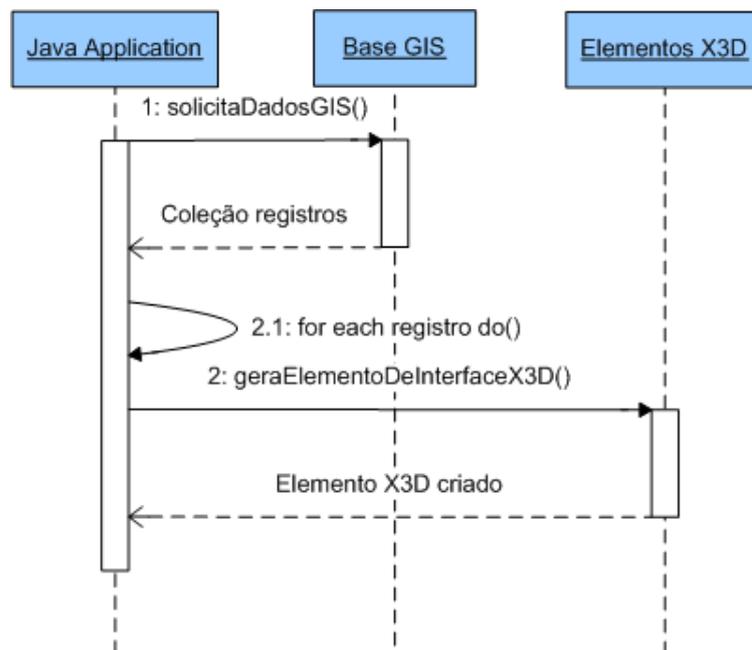


Figura 5.8: Diagrama de Sequência da geração de elementos de interface X3D.

A utilização dos *listeners* definidos no código SAI juntamente com o código Java das visualizações geradas na camada de controle são necessárias para o

tratamento das interações feitas pelo usuário nestas visualizações.

Uma função importante é adicionar elementos à cena na qual são lidos os nós do elemento X3D que será incorporado e todas as rotas de tratamentos dos eventos do novo objeto na cena.

Em nosso trabalho, a interface de acesso à cena gerencia as novas visualizações por meio de uma cena auxiliar que percorre todos os elementos do novo objeto que está sendo carregado. Nesta etapa os nós de roteamento do X3D (*routes*) são lidos e adicionados também ao ambiente por representarem comportamentos destes novos objetos.

Após o carregamento destes nós à cena auxiliar, são adicionados à cena principal do ambiente virtual e incorporados dinamicamente com os comportamentos que foram definidos na camada de controle.

Com isso, é possível alterar em tempo real o conteúdo que está sendo visualizado no ambiente, além de permitir a manipulação das visualizações incorporadas, sem descartar as funcionalidades do elemento X3D criado na camada de geração.

Como mostrado o ambiente foi desenvolvido segundo uma arquitetura em camadas de controle e visualização das visualizações do sistema elétrico, que provê a extensibilidade para posterior adição de outras novas visualizações, através da simples inclusão de módulos na camada de controle (onde também podem ser adicionadas novas fontes de dados), e na camada de visualização com adição dos *listeners* necessários.

CAPÍTULO 6

Conclusão

Este trabalho apresentou um estudo de técnicas de visualização e implementação de algumas das principais técnicas aplicadas aos Sistemas Elétricos de Potência, bem como propôs inovações com novas aplicações de técnicas e na forma de operação e controle destes sistemas.

As principais contribuições deste trabalho foram:

- Implementação das seguintes técnicas de visualização 2D e 3D integradas ao ambiente SIG na Web e às bases de dados de controle do SEP:
 - Gráfico de Pizza
 - Fluxo de Linhas de Transmissão
 - Contorno em Área
 - Barras 3D
 - Modelo Digital de Terreno
- Propostas de novas técnicas de visualização 2D e 3D:
 - Contorno em Ponto
 - Contorno em Linha
 - Visualização de Grandezas Elétricas com Polígonos de Thiessen

- Modelo Digital de Terreno com Contorno em Área

- Proposta de um novo ambiente para controle e operação de Sistemas Elétricos de Potência

Ressaltamos ainda, com base na revisão bibliográfica, que as contribuições citadas de novas técnicas propostas de visualização em SEPs, mais especificamente o Contorno projetado em Modelo Digital de Terreno e a utilização dos Polígonos de Thiessen para visualização de grandezas elétricas não foram utilizadas anteriormente com esta finalidade. Ressalta-se também que ao contrário dos gráficos de contorno, os polígonos de Thiessen possibilitam uma visualização mais rápida (o que favorece sua utilização em sistemas de visualização em tempo real) e eficaz do evento observado.

Além disso, foi proposto a inovação no controle e operação dos sistemas elétricos de potência por meio de um ambiente 3D que, dependendo das condições técnicas, pode ser não-imersivo, semi-imersivo ou totalmente imersivo, e sugere uma modificação na forma como os sistemas elétricos são visualizados.

Como propostas para trabalhos futuros relativos ao ambiente tridimensional podemos citar a inclusão de novas visualizações no ambiente e a inclusão de imersividade do usuário inserido no ambiente. Finalmente como proposta de novas técnicas de visualização, seria a utilização da abordagem de polígonos de Thiessen utilizada neste trabalho em Modelo Digital de Terreno.

Adicionalmente ressaltamos a necessidade de realização de testes de usabilidade das propostas aqui realizadas, de modo a validar a adequabilidade do ambiente e das visualizações propostas. E, também a realização de testes em ambiente de produção para verificar a adequabilidade do proposto de acordo com a experiência de operadores de sistemas elétricos de potência.

Por fim, foi possível verificar que ainda existe a necessidade de novas soluções de interação e visualização dos problemas inerentes aos sistemas elétricos de potência com a finalidade de fornecer informações destes sistemas, buscando a

melhor forma para isto. E essa busca por facilitação refletirá diretamente na tomada de decisões por parte dos usuários que operam tais sistemas.

Referências Bibliográficas

- Aspiazú, C., L. M. Alves and O. F. Valente (1990). Modelos digitais de terrenos - conceituação e importância. *Boletim de Pesquisa Florestal*. **21**(1), 27–36.
- Aukstakalnis, S. and D. Blatner (1992). *Silicon Mirage - The Art and Science of Virtual Reality*. Berkeley, CA, USA, Peachpit Press, 336 p.
- Bowman, D. A., E. Kruijff, J. J. Laviolla and I. Poupyrev (2006). *3D user interfaces: theory and practice*. Addison-Wesley, Pearson Education, 512 p.
- Burrough, P. A. (1986). *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Vol. 2. Oxford University Press, USA, 220 p.
- Cecconi, A. (2003). Integration of cartographic generalization and multi-scale databases for enhanced web mapping. PhD thesis. Department of Geography, University of Zurich, Switzerland.
- Chew, L. P. (2009). Voronoi delaunay application. Disponível em: <http://www.cs.cornell.edu/info/people/chew/Delaunay.html>. Acesso em 12 de fevereiro de 2010.
- Crow, M. L. and N. Shetty (2004). Electric Power Measurements and Variables. *Encyclopedia of Energy*, **2**, 245–254.
- Freitas, R. C., M. F. Q. V. Turnell, A. Perkusich and C. S. L. Xavier (2006). Representando a IHM de uma Subestação através de Modelos Formais

- e Realidade Virtual. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Campina Grande, Paraíba, Brasil, 7 p.*
- Garant, E., A. Daigle, P. Desbiens, A. V. Okapuu-Von, J. C. Rizzi, A. Shaikh, R. Gauthier, A. S. Malowany and R. J. Marceau (1995). Virtual Reality Training System for Power-Utility Personnel. *Montreal, Quebec, Canada* pp. 296–299.
- Geus, K. and J. H. Dometerco (2004). *Visualização Qualitativa em Engenharia Utilizando Realidade Virtual*. Vol. 1. Revista Espaço Energia. Disponível em: <http://www.espacoenergia.com.br>. Acesso em 13 de janeiro de 2010.
- Google (2010). Google earth. Disponível em: <http://earth.google.com/intl/pt-BR/>. Acesso em 30 de março de 2010.
- Gouraud, H. (1971). Continuous shading of curved surfaces. *IEEE Transactions on Computers*, **20 (6)**, 623–629.
- Kádár, P., T. Bessenyei and L. Oroszki (2006). Enhancement of the visualisation of an existing SCADA systems. In: *CIGRE: Paris, 8 p.*
- Kindler, E. and C. Pales (2004). 3D-Visualization of Petri Net Models: Concept and Realization. In: *ICATPN: Bologna, Italy*. Vol. 3099. pp. 454–463.
- Mikhail, E. M., U. V. Helava, J. R. Jancaitis, F. J. Doyle, R. J. Helmering, F. Ackermann and A. K. Turner (1978). Digital terrain models: an overview. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. *Encyclopedia of Energy* **44(12)**, 1481–1485.
- Miller, L. D., K. Nualchawee and C. Tom (1978). Analysis of dynamics of shifting cultivation in the tropical forests of northern thailand using landscape modeling and classification of landsat imagery. Technical report. National Aeronautics and Space Administration.

- Moran, T. (1981). The Command Language Grammars: a representation for the user interface of interactive computer systems. In: *International Journal of Man-Machine Studies*. Vol. 15. pp. 3–50.
- Navarro, V., R. Linden, G. Ferreira, M. Fatima, R. Seabra and S. Rubens (2009). Simuladores para treinamento de operadores de sistema e de instalações do setor elétrico. In: *CIGRE: Puerto Iguazú, Argentina*.
- Overbye, T. J., E. M. Rantanen and S. Judd (2007). Electric Power Control Center Visualization using Geographic Data Views. *iREP Symposium- Bulk Power System Dynamics and Control, Charleston, SC, USA*, 8 p.
- Rackovic, M. and D. Surla (1993). An algorithm for constructing the Voronoi Diagrams in plane. *Review of Research - Mathematic Series* pp. 179–188.
- SmartView, Projeto (2008). Definição da arquitetura do sistema - etapa 3, mês 4. Technical report. UFCG/CEEI/DSC. Disponível em: <http://www.lsi.dsc.ufcg.edu.br/~smartview/>. Acesso em 23 de novembro de 2009.
- Sousa, M. P. A., A. P. Junior, M. R. Filho, F. V. Reis, P. N. A. Barata and M. S. Hounsell (2007). Um ambiente de treinamento de manutenção em uma unidade hidrétrica de energia usando realidade virtual desktop. *Simposio de Realidade Virtual, Petropolis*, 9 p.
- Stovall, J. P., B. J. Kirby, T. J. Overbye, J. S. Thorp and A. G. Phadke (2006). Issues Associated with the Development of a Wide-Area Analysis and Visualization Environment. *39th Hawaii International Conference on System Sciences, Washington, DC, USA*, 10 p.
- Tate, J. E. and T. J. Overbye (2008). Contouring for Power Systems Using Graphical Processing Units. *Proceedings of the 41st Hawaii International Conference on System Sciences, University of Hawaii, Manoa*, 10 p.

- Torun, A., B. Kobben and R. Lemmens (2000). Processing Spatial Data on the Internet. . *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. **33**, 269–278.
- Venkatesh, A., G. Cokkinides and A. P. S. Meliopoulos (2009). 3D-Visualization of Power System Data Using Triangulation and Subdivision Techniques. In: *Proceedings of the 42nd Hawaii International Conference on System Sciences, Waikoloa, Big Island, Hawaii, 8 p.*
- Voronoi, G. F. (1896). Sobre uma Generalização do Algoritmo de Quebra de Cadeias. PhD thesis. Warschau, Rússia.
- Weber, J. D. and J. D. Overbye (1999). Visualization of Power System Data. *Power Systems Engineering Research Center, 7 p.*
- Weber, J. D. and J. D. Overbye (2000). Voltage Contours for Power System Visualization. *IEEE Transactions on Power Systems* **15**(1), 404–409.
- Wiegmann, D. A., T. J. Overbye, S. M. Hoppe, G. R. Essenberg and Y. Sun (2003). Human Factors Aspects of Three-Dimensional Visualization of Power System Information. *IEEE Power Engineering Society* **18**, 76–82.
- Xu, B., C. Yüksel, A. Abur and E. Akleman (2006). 3D Visualization of Power System State Estimation. *Electrotechnical Conference, MELECON 2006, IEEE Mediterranean* pp. 943–947.