

# ENSINO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA EM DISCIPLINAS DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**Fernando Luis Spolador<sup>1</sup>; Anésio dos Santos Júnior<sup>2</sup>**

UNICAMP, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação  
Departamento de Engenharia de Sistemas  
Av. Albert Einstein, 400 – Cidade Universitária Prof. Zeferino Vaz  
13083 852 – Campinas – SP

<sup>1</sup>spolador@densis.fee.unicamp.br; <sup>2</sup>anesio@densis.fee.unicamp.br

**Resumo:** Neste artigo é apresentada a proposta de um software interativo para utilização em disciplinas de engenharia elétrica. Sua função básica é a simulação de sistemas elétricos de transmissão de potência visando possibilitar uma melhor análise do desempenho destes diante de cenários operativos distintos. O software proposto possui um conjunto de recursos como interfaces gráficas amigáveis com o usuário e manipulação de base de dados. Ele se constitui em uma ferramenta ágil para manipulação de sistemas elétricos de transmissão de potência e pode ser usado em cursos de graduação, pós-graduação e treinamento de operadores de sistemas elétricos de transmissão. Com os recursos presentes no software procura-se fornecer uma ferramenta que facilite a aprendizagem dos conteúdos transmitidos em sala de aula, facilitando a comunicação da experiência do professor para os alunos, permitindo que estes, através de simulações computacionais, enfrentem situações muito próximas daquelas com potencial de ocorrência. Simulações computacionais são uma forma fácil, barata e rápida de auxiliar as tarefas de um engenheiro. O protótipo implementado e apresentado neste trabalho procura demonstrar a facilidade da realização destas simulações de acordo com eventuais dúvidas e interesses dos alunos durante as aulas.

**Palavras-chave:** Ensino em Engenharia Elétrica, Sistemas de Transmissão de Energia Elétrica, Interfaces Gráficas com Usuários, Engenharia de Software.

## 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de Transmissão de Energia Elétrica, operando no mundo real, são de alta complexidade associada a inúmeros fatores dentre os quais citamos:

- exigência de operação com segurança e confiabilidade conjunta com os sistemas de geração, junto às usinas de suprimento, e distribuição, junto aos consumidores;
- exigência de controle das tensões em níveis adequados em todo o sistema interligado de dimensões continentais;
- dimensionalidade devido a sua dependência de milhares de variáveis e parâmetros mantidos em níveis adequados pelas entidades responsáveis pela supervisão e controle da operação;

A representação em regime permanente do funcionamento dos sistemas elétricos de transmissão de energia é feita através de modelos de circuitos elétricos. Com o uso desses modelos é possível calcular, para uma determinada previsão de cargas, boas estimativas das variáveis de tensão e fluxos de potência em redes de transmissão interligadas de dimensões reais. O sistema de transmissão interligado brasileiro, um exemplo dessas redes, é

denominado de Sistema Interligado Nacional (SIN) que pode ser um pouco conhecido no endereço [http://www.ons.org.br/conheca\\_sistema/o\\_que\\_e\\_sin.aspx](http://www.ons.org.br/conheca_sistema/o_que_e_sin.aspx). Esse sistema é operado e supervisionado pelo ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico que também pode ser melhor conhecido no endereço [http://www.ons.org.br/institucional/o\\_que\\_e\\_o\\_ons.aspx](http://www.ons.org.br/institucional/o_que_e_o_ons.aspx).

O ensino de técnicas de análise de sistemas elétricos de transmissão de energia, em disciplinas de graduação e pós-graduação, compreende, além de outros temas, o cálculo das tensões e fluxos de potência em redes de transmissão supostas operando em regime permanente. Essas técnicas pressupõem o estudo dos modelos de representação do sistema, da formulação do problema de cálculo do fluxo de potência e dos métodos matemáticos de solução. A ferramenta computacional que contém os modelos de representação juntamente com o algoritmo de cálculo da solução da rede é denominada de rotina de cálculo do fluxo de potência.

A aprendizagem na análise de sistemas elétricos de transmissão pode ser auxiliada por ferramentas computacionais que calculem a solução do fluxo de potência diante de simulações de cenários operacionais que envolvam alterações de configurações da rede, alterações de cargas, alterações de parâmetros do modelo, alteração do perfil de gerações de potência, alteração do perfil de tensões controladas, dentre outras alterações. Através dessas simulações é que os estudantes vão poder adquirir alguma sensibilidade em relação a eventuais impactos que ocorrem cotidianamente na operação de sistemas elétricos como, por exemplo, variações atípicas de cargas.

A questão que se coloca aqui é como utilizar essas ferramentas computacionais de cálculo cuja aplicação envolve um grande volume de dados de entrada e alterações sugeridas. As simulações através dessas ferramentas geram um correspondente volume de dados que representam o resultado associado ao cenário que se quer analisar. Em um ambiente de aprendizado, os estudantes necessitam lidar com esses dados em uma forma sintética que esteja associada aos conceitos de modelagem, de análise e de aplicação de métodos que é foco principal nesse contexto.

É diante desse contexto, que envolve a perspectiva dos estudantes e o foco de seu aprendizado, que surge a necessidade de interfaces amigáveis para as ferramentas de cálculo do fluxo de potência. Estas, de modo simbólico e em linguagem comunicativa e acessível, devem possibilitar uma boa interação entre os resultados numéricos processados e os usuários de forma a não comprometer o foco principal do aprendizado.

Neste trabalho propomos um software para simulação de sistemas de potência, composto por interfaces amigáveis com o usuário, que possibilite fornecer ferramentas para uma melhor representação das tarefas de grande exigência cognitiva (STEINBERG e GITOMER (1993)).

## **2. ESTUDOS DO SISTEMA ELÉTRICO DE TRANSMISSÃO**

Dentre as várias aplicabilidades para softwares que possibilitem a visualização científica nos estudos de sistemas de transmissão, podemos começar destacando a análise dos perfis de tensão e do suporte de potência reativa da rede. Para as mais diversas configurações de carga, geração e topologia da rede são extremamente importantes o cálculo dos fluxos de potência que cada circuito está carregando.

A análise de contingências, por exemplo, por tratar-se de um tópico crítico e de grande importância, se beneficiaria muito da utilização de recursos computacionais que permitissem aos estudantes verificar o estado para o qual o sistema caminha após a ocorrência de uma contingência, e mais, que permitissem o estudo das atitudes que devem ser tomadas sobre tais circunstâncias e como elas impactariam o sistema (SUN e OVERBYE (2004)) e (LI et al (1988)).

Outra aplicação para softwares com as características discutidas aqui é o ensino e treinamento de planejadores e operadores de sistemas de potência. Dessa maneira, cria-se a oportunidade para que estudantes, planejadores e operadores percebam e entendam, de forma intuitiva, o funcionamento dos sistemas de potência possibilitando o reforço do conteúdo transmitido em sala de aula (OVERBYE (2003)). Um sistema capaz de representar dados de simulações em redes complexas pode também fazer representações análogas para redes mais simples, funcionando dessa forma como uma ferramenta de ensino (STEINBERG e GITOMER (1993)) e (LI et al (1988)).

Pode-se dizer que existem dois principais objetivos quando se trata de estudos de fluxo de potência em sistemas elétricos de transmissão. O primeiro diz respeito à necessidade de planejar as futuras expansões da rede e o segundo objetivo é descobrir a melhor maneira de operar o sistema existente (STEVENSON JR. (1982)) e (KOBBER et al (2003)). As duas principais informações obtidas através destes estudos são o módulo e a fase da tensão nos nós do sistema e os fluxos de potência ativa (MW) e reativa (MVAR) nas linhas de transmissão e transformadores.

Um sistema de transmissão pode operar com várias configurações que se caracterizam por especificações nas variáveis de controle, níveis de carga pré-fixados os em determinados valores e na topologia da rede. Os níveis de carga se apresentam nos parâmetros associados aos nós da rede e são definidos de acordo com as necessidades do mercado, ou seja, dos consumidores de energia. Os parâmetros dos nós de geração são dados pelos níveis de injeção de potência ativa (MW) injetados na rede e pelas magnitudes de tensão controladas no sistema. Simulações de variação nesses parâmetros, com o software proposto podem ser realizadas com os dados de cada uma das 24 horas do dia, desconsiderando a transitoriedade do sistema.

Outro fator a ser considerado e que pode gerar novas configurações é a mudança na topologia da rede. Estas mudanças de topologia dizem respeito às contingências que um sistema está sujeito, ou seja, a perda de uma linha ou mudanças severas em suas características, o que acaba por influenciar os fluxos de potência em todo o sistema.

Para poder validar o sistema elétrico nas mais diversas configurações, simulações devem ser feitas. É possível, dentro do sistema proposto, criar cenários para cada configuração, simular, analisar os resultados e compará-los com os resultados de outras configurações, armazenando os dados relativos aos cenários operativos viáveis no banco de dados, ou seja, o estudante pode observar e aplicar, através de simulações computacionais de baixo custo, o conteúdo transmitido durante um curso.

Quando temos um nó de consumo no qual o valor da magnitude de tensão não respeita os limites definidos é possível, através de simulações, determinar uma medida a ser adotada para eliminar essa infactibilidade. Por exemplo, procurar na vizinhança do respectivo nó um dispositivo com controle de tensão e neste atuar para corrigir a infactibilidade. Ao encontrar esse dispositivo o estudante pode alterar a sua referência de controle e verificar como esta modificação altera o perfil de tensão de todo o sistema, comparando com outros resultados armazenados.

A manutenção do perfil de tensão nos nós de consumo dentro dos limites é importante, por exemplo, no momento do planejamento da expansão do sistema, para verificar como a inserção de novos nós e circuitos devem ser realizadas para que a tensão continue respeitando seus limites operacionais (MONTICELLI (1983)).

### **3. ESTRATÉGIA DO SOFTWARE INTERATIVO**

A finalidade do software interativo desenvolvido é permitir que estudantes tenham a oportunidade de, através de procedimentos ágeis para a realização de simulações, entender o funcionamento de um sistema de transmissão de potência. Isto requer uma visualização dos níveis de potências ativas e reativas que agem sobre o sistema definindo o seu funcionamento e, além disso, que obtenham cenários operativos viáveis que atendam ao modelo do fluxo de potência e aos limites operacionais.

Um cenário operativo é caracterizado por:

- um conjunto de variáveis controladas, que são a capacidade de geração e tensão no nós de geração, que será representado por um vetor definido por:

$$u = \begin{cases} P_k^{Ger}, k \in \{NósdeGeração\} \\ V_k, \in \{NósdeGeração, Nódereferência\} \end{cases}$$

onde  $P_k^{Ger}$  é a potência ativa gerada no nó  $k$  e  $V_k$  é o valor da tensão no nó  $k$ ;

- uma configuração topológica com os respectivos parâmetros dos circuitos do sistema aqui representadas simbolicamente como  $p$ .
- uma configuração de cargas representadas como potências  $P_k^{Carga}$  e  $Q_k^{Carga}$ , que representam as necessidades do mercado consumidor por potência ativa e reativa, respectivamente, aqui também considerados simbolicamente em  $p$ , assim como no item anterior;
- perfil de tensão  $V_k$  dos nós de consumo calculado a partir das equações do fluxo de potência, importantes por representar um restrição operacional do sistema, ou seja, a tensão da energia entregue ao consumidores deve, obrigatoriamente, estar dentro de certo limites operacionais, e, aqui, este perfil de tensão é representado por um vetor como:

$$x = [V_k, k \in \{NósdeConsumo\}]$$

- desse modo um cenário operacional se caracteriza pela definição de  $u^{def}$  e  $p^{def}$  iniciais e pelo cálculo de  $x$  a partir das equações do problema do fluxo de potência que passam a ser representada como:

$$g(x, u^{def}, p^{def}) = 0$$

A estratégia para a geração de cenários operativos factíveis através do software interativo proposto pode ser ilustrada pelo diagrama apresentado na Figura 1.

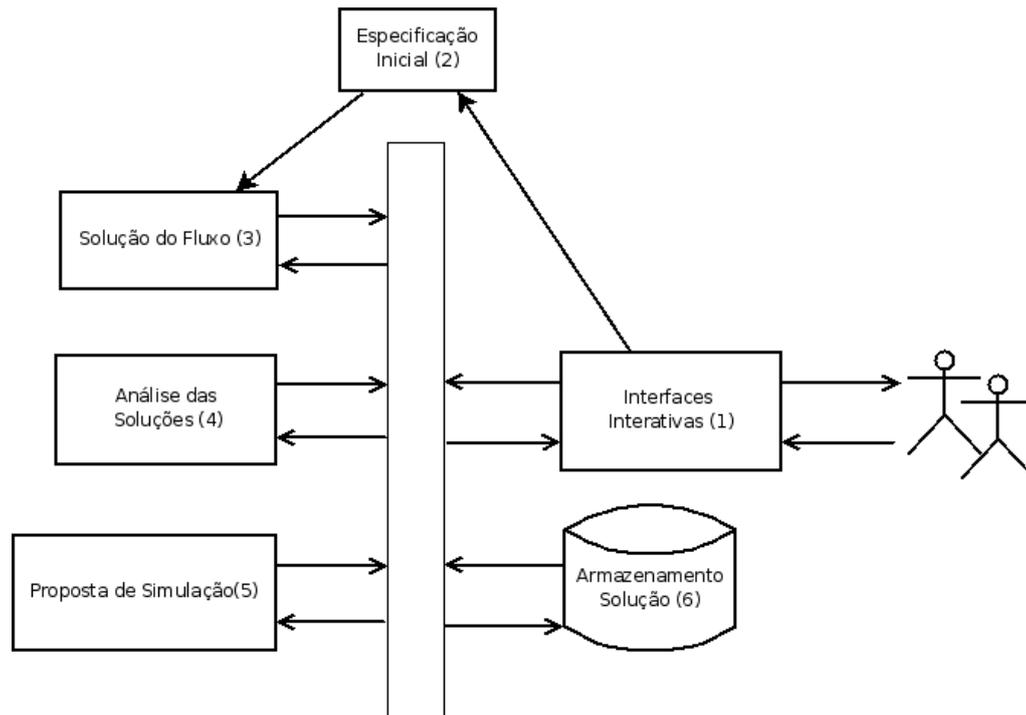


Figura 1: Descrição da Estratégia de Interação

Abaixo segue a descrição de cada um dos passos descritos na Figura 1:

1. As inactibilidades presentes no sistema elétrico de transmissão de potência são traduzidas em termos gráficos através de interfaces interativas permitindo que ações sejam tomadas sobre as variáveis de controle, as configurações de carga e, caso necessário, sejam feitas alterações na topologia da rede, que também é exibida graficamente pelo sistema;
2. É especificada uma proposta de configuração inicial ( $u^{def}$  e  $p^{def}$ ) fornecidas pelas necessidades do mercado e onde os outros parâmetros ficam a cargo do estudante, a partir dos conhecimentos adquiridos em sala de aula estimar seus valores;
3. A solução do fluxo de potência se dá de acordo com o módulo de cálculo carregado no sistema;
4. É feita a análise do cenário operativo, através das disponibilidades das interfaces interativas, verificando a observância dos critérios de operação definidos para aquele sistema, onde o usuário do sistema, no caso o estudante, deve identificar possíveis elementos inactíveis;
5. A partir da análise das variáveis e das possibilidades de alterações nos diversos elementos do sistema, com as ferramentas fornecidas pela interface interativa, o estudante propõe uma nova configuração baseada nos conhecimentos que estão sendo transmitidos em sala de aula. Esta nova configuração será simulada e terá seus resultados analisados e assim o processo se repete sucessivamente;
6. Caso o resultado da simulação seja factível e/ou seja de interesse, é possível armazenar a configuração e os dados da simulação no banco de dados.

De uma maneira geral, todas as variáveis dos elementos que compõem o sistema elétrico podem ter seus valores alterados. Ao se considerar um novo sistema elétrico o software cria no banco de dados um caso base, ou uma configuração base. Assim, quando qualquer alteração nos dados ou na topologia da rede é feita o software pode armazenar estas alterações no banco de dados, como uma subconfiguração do caso base. Toda simulação realizada é

associada a uma configuração ou subconfiguração, permitindo relacionar os dados obtidos nas simulações com os dados fornecidos como parâmetros.

No software proposto há possibilidade da inserção de outros algoritmos para o cálculo do fluxo de potência, permitindo a comparação não só de configurações diferentes da rede elétrica como também de implementações e abordagens diversas para a obtenção dos resultados.

#### 4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SOFTWARE

O sistema foi todo projetado usando orientação a objetos. Para o desenvolvimento de softwares específicos para sistema de potência, a orientação a objetos trás diversas vantagens como: a maior facilidade em se escrever código reusável, o uso de objetos permite modelar sistemas complexos, como são os sistemas de potência (KOBBER et al (2003)).

O protótipo proposto foi implementado em C++, por ser uma linguagem que em essência procura facilitar o processo de construção de grandes e complexos sistemas (SCHILDT (1998)). A linguagem também permite a implementação dos principais princípios da orientação a objeto, que são o encapsulamento, polimorfismo e herança, suportando abstração de dados e a programação genérica (STROUSTRUP (1997)). Foram utilizados recursos e bibliotecas distribuídas de acordo com a licença GPL (do Inglês: *Gnu Public License* disponível em <http://www.gnu.org/licenses/gpl.html> ), ou distribuídos de acordo com uma de suas variantes.

##### 4.1 Casos de Uso

Conforme pode ser observado na Figura 2 o sistema fornece seis grupos de funcionalidades principais. São elas: inserção de modelos de sistemas elétricos de transmissão de energia, controle de simulações, controle dos momentos ou estados do sistema elétrico, inserção de algoritmos para a realização das simulações, apresentação dos resultados e interação com os modelos de sistemas elétricos inseridos.

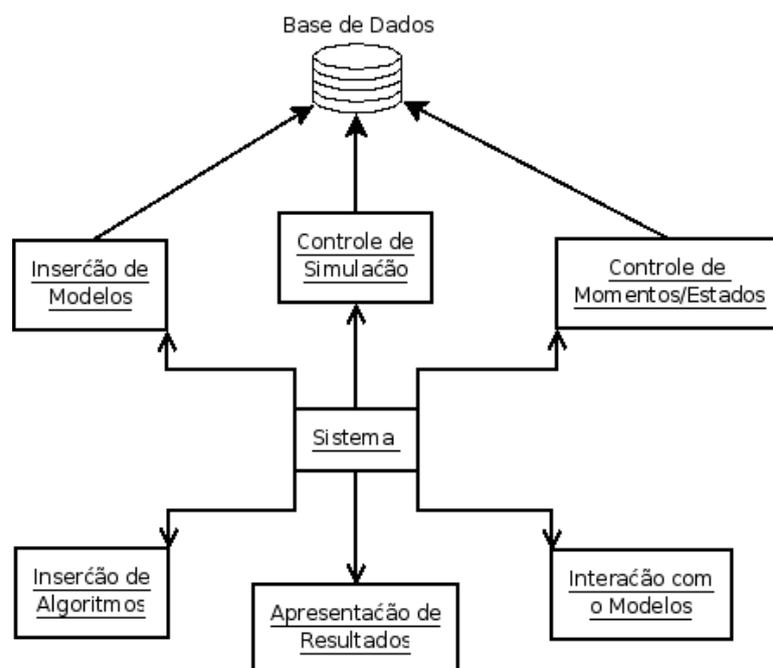


Figura 2: Visão do Usuário das Funcionalidades do Sistema

O sistema conta com o apoio de um bando de dados relacional. Atualmente o sistema gerenciador de banco de dados (SGBD) utilizado é o *Firebird*, porém foi projetada uma camada de software que permite independência quanto ao SGBD utilizado.

A funcionalidade que permite a inserção de novos modelos de redes elétricas de transmissão de potência ao sistema, foi projetada para que essa inserção se dê através de arquivos em formato texto que descrevem o modelo. Foram inicialmente implementados suporte para o formato IEEE, um padrão fortemente difundido.

O controle de simulação permite que sejam acessadas as simulações já realizadas para cada modelo, assim como o controle das simulações que ainda estão ocorrendo, permitindo ao estudante a inserção de limite de tempo ou iterações para a execução, o que possibilita, não somente o estudo dos resultados do fluxo de potência, mas o estudo de como o algoritmo de cálculo utilizado reage, em termos de iterações, por exemplo, as modificações inseridas no sistema de potência.

Outro grupo de funcionalidades diz respeito ao controle das configurações do sistema, permitindo ao estudante a modificação, remoção e inserção de configurações para um determinado modelo de rede elétrica.

A funcionalidade de interação com o modelo permite a inserção de novos elementos, de contingências e as modificações dos dados do modelo de rede elétrica que está sendo estudado.

A apresentação dos resultados consiste no grupo de interfaces de uma forma geral, mas com um enfoque maior nos gráficos dos resultados, que permitem a análise de uma ou mais simulações, facilitando comparações. Possibilitando que se verifique como as alterações dos dados alteram o funcionamento do sistema.

A última funcionalidade da visão do usuário refere-se a inserção de novos módulos de cálculo o que permite que ocorram testes e comparações de algoritmos e rotinas de cálculo usando as ferramentas descritas anteriormente. O sistema possui uma rotina de cálculo pré-estabelecida, porém, através desta funcionalidade o estudante pode testar sua implementação da rotina de cálculo do fluxo de potência.

## **5. DESCRIÇÃO DAS FUNCIONALIDADES**

O protótipo implementado visa possibilitar a análise de vários aspectos da simulação de um sistema de potência, buscando que os objetivos descritos na seção anterior sejam alcançados. Para isto foram construídos módulos gráficos que permitem a visualização dos resultados, a comparação destes resultados com resultados obtidos em simulações de diferentes momentos do sistema, a alteração de parâmetros de elementos do sistema, assim como também, da topologia da rede.

Uma outra funcionalidade que existe é a exportação dos gráficos gerados para um formato de imagem o que possibilita fácil manipulação, permitindo a inserção destas figuras em documentos e relatórios.

Foi implementada, também, uma funcionalidade que permite ao estudante a análise da sensibilidade do modelo elétrico estudado, possibilitando a inserção de contingências em circuitos, ou até mesmo em nós, o que acaba por caracterizar, na maioria dos casos, em uma contingência muito severa ao sistema, impossibilitando a realização de simulações. É permitida também a inserção de novos nós e circuitos ao sistema, ficando a cargo do estudante a definição dos dados destes elementos para que as simulações realizadas sobre estes casos tornem-se viáveis computacionalmente.

A inserção de novos módulos de cálculo se dá de maneira transparente. Não sendo necessário nem mesmo reiniciar o software, logo após a inserção de um novo módulo, o estudante pode utilizá-lo em suas simulações.

## 5.1 Visualização do Modelo

Esta interface permite que o modelo unifilar do sistema elétrico de transmissão de potência que está sendo estudado seja manipulado. O usuário possui quatro grupos de funcionalidades agrupados, conforme Figura 3.

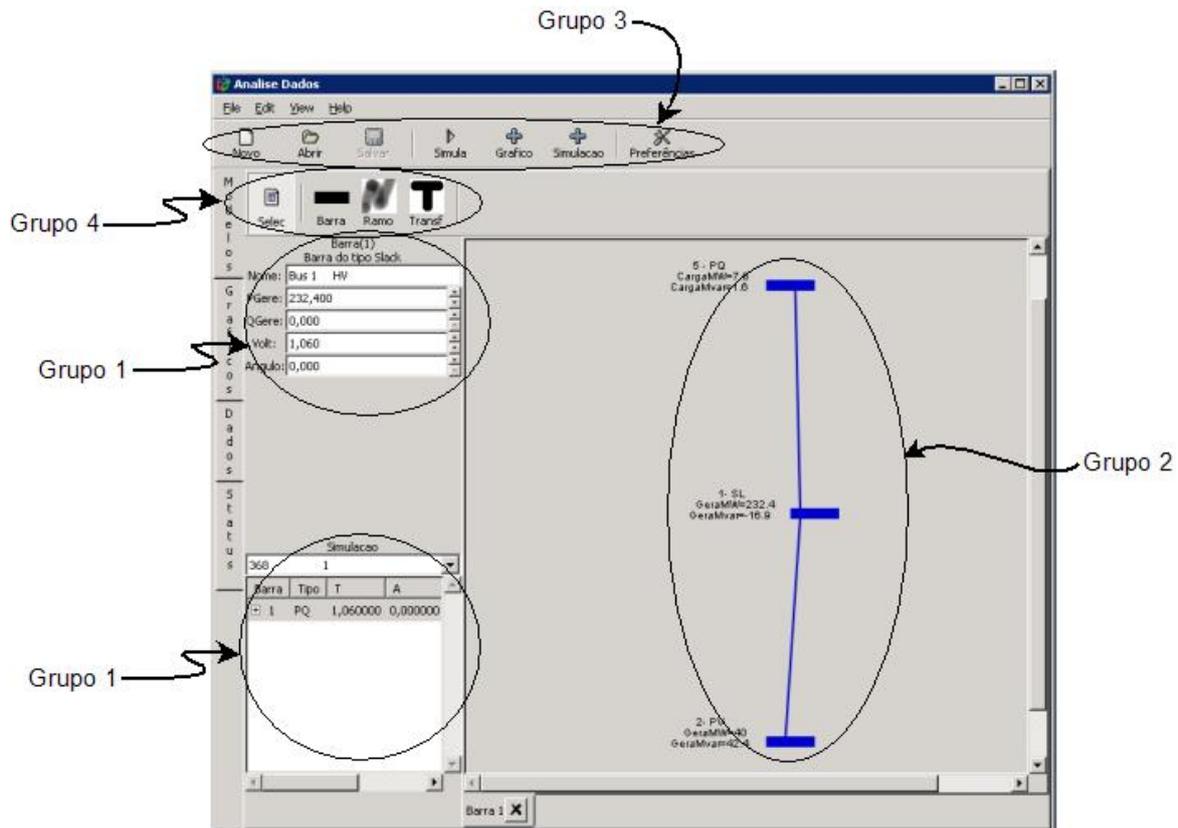


Figura 3: Interface para Agrupamento de dados do Modelo, com grupos destacados.

No primeiro grupo é possível manipular os dados dos elementos do sistema elétrico de potência que foi selecionado. Os dados informados devem variar de acordo com o tipo de elemento, assim quando um nó de consumo é selecionado são exibidos os dados relevantes a este tipo de elemento do sistema e, conseqüentemente, são diferentes dos dados exibidos quando um nó de geração é selecionado. Há também, neste grupo, a possibilidade de selecionar a simulação que se deseja colocar em destaque, assim serão exibidos os dados desta simulação junto as representações dos nós exibidos no grupo 2, conforme Figura 3.

O nó no centro do desenho, como pode ser observada no grupo 2 da Figura 3, é considerada o nó principal da representação, sendo exibidas os seus vizinhos, permitindo dessa forma que o estudante explore as vizinhanças dos nós, por exemplo, quanto esteja procurando os nós de geração vizinhos a um nó de consumo com tensão infactível, aplicando dessa forma as técnicas de solução de infactibilidades aprendidas em sala de aula. O nó principal dá nome à aba, conforme pode ser observado na Figura 3. É possível verificar a vizinhança de qualquer nó, solicitando ao sistema a sua exibição, conforme pode ser observado na Figura 4.

Junto à representação gráfica de cada nó é possível exibir dados do modelo e resultados da simulação selecionada através da caixa de seleção do grupo 1. É também possível exibir as

diferenças entre os dados da configuração selecionada, representado pela simulação selecionada no grupo 1, e a configuração original. Também é possível destacar as diferenças nos resultados da simulação sobre os dados da configuração original do sistema e os resultados das simulações sobre os dados da configuração selecionada. O conjunto de informações exibidas junto à representação gráfica de cada barra pode ser específico para cada tipo.

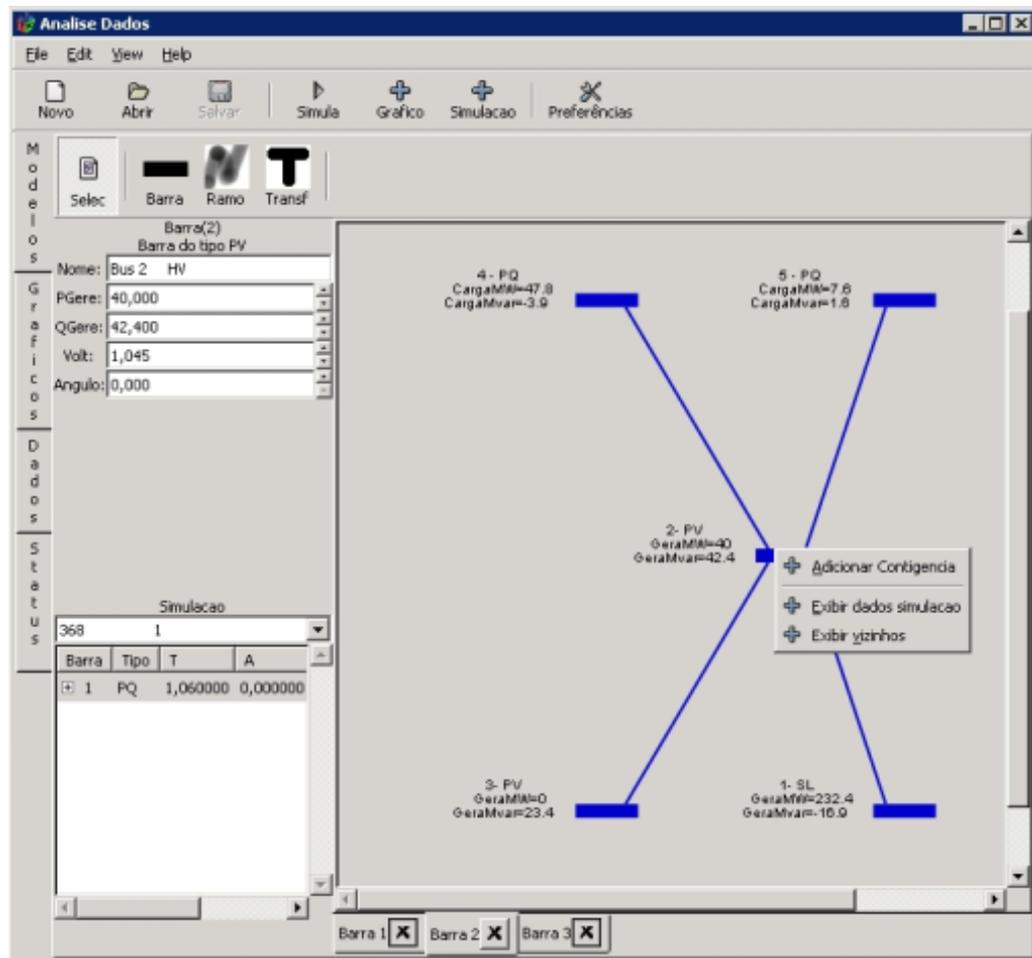


Figura 4: Interface para exibição dos nós vizinhos

É possível configurar a lista de dados a serem exibidos junto à representação gráfica através das configurações presentes no grupo 3 da Figura 3. São fornecidas diversas opções de configurações que visam facilitar a análise e a visualização dos resultados obtidos nas simulações, permitindo também que o estudante descubra e conseqüente selecione os campos que são relevantes para o estudo que ele está realizando.

Além da lista de campos a serem exibidos o protótipo implementado possibilita que o estudante selecione as cores que irão destacar os elementos de acordo com os limites operacionais selecionados.

A seleção de cores permite que seja definido um gradiente de cores para destacar os elementos do sistema que não violaram, porém que se encontram a um valor muito próximo, definido pelo usuário, de violar o limite operacional superior ou inferior, também definido pelo usuário, para os dados que estão sendo analisados.

Com esse mecanismo se procura evitar que elementos muito próximos, mas que ainda não violaram um limite de segurança do sistema, não sejam analisados de forma correta pelo

estudante. O estudante pode então verificar, se ao corrigir uma ineficiência ele não leva vários outros elementos para regiões muito próximas da ineficiência.

As definições das cores e dos limites descritos anteriormente não influenciam somente a representação gráfica dos elementos, mas também o gráfico de comparação com outras simulações que pode ser acessado através do grupo 3. Através da Figura 5 é possível verificar a exibição dos gráficos de comparação junto com a representação gráfica dos elementos do sistema elétrico.

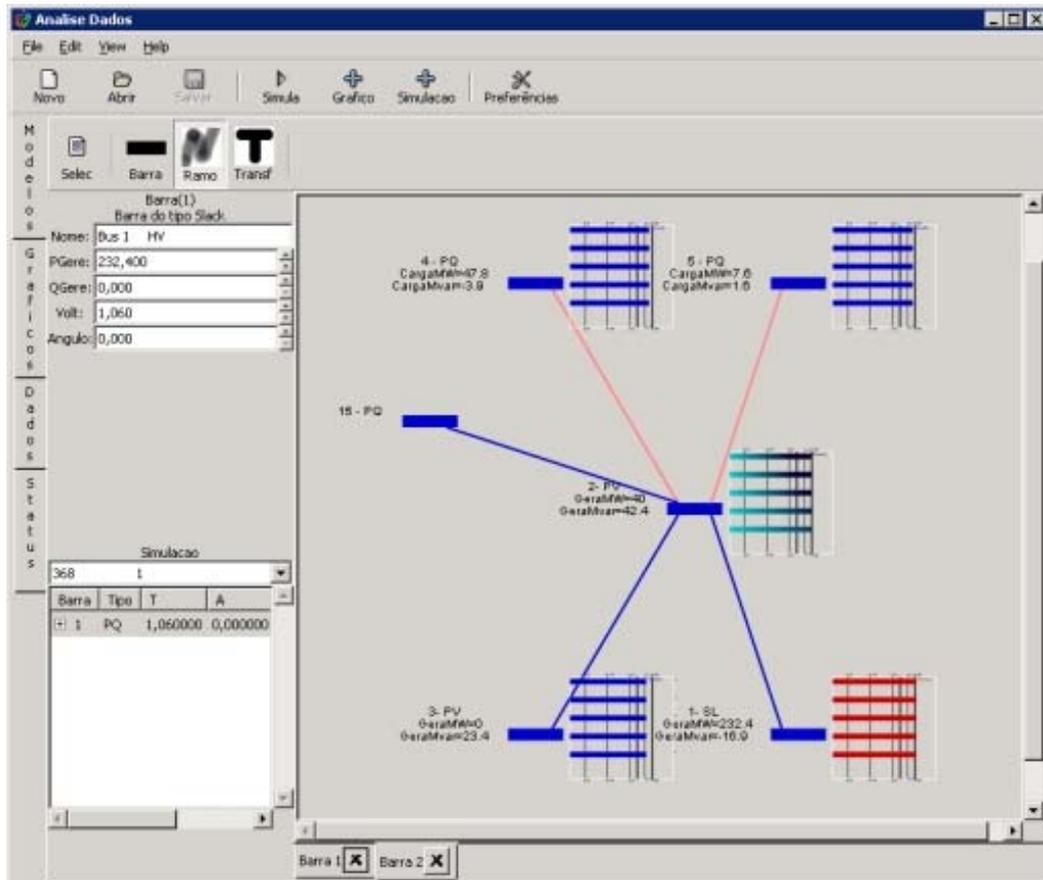


Figura 5: Exibição de Contingências e Gráficos junto aos Nós

Através das funcionalidades do grupo 3 também é possível inserir, ou retirar, novas simulações dos gráficos que estão sendo exibidos junto aos nós. Através das funcionalidades que permitem o acesso e a alteração dos dados do modelo (grupo 1), da visualização da configuração atual do sistema e das diferenças em relação à configuração base e as outras configurações do sistema (grupo 2), assim como os ajustes possíveis (grupo 3) dos elementos em exibição, procura-se dar a possibilidade ao estudante de visualizar e verificar o estado atual e como as alterações impostas alteram o sistema de potência em relação às configurações já simuladas.

Através da interface que estamos analisando também é possível à inserção de contingências no modelo. Estas contingências podem ser inseridas ou retiradas, conforme exemplifica a Figura 5. É importante ressaltar que o sistema não impede que sejam inseridas contingências em todos os ramos de um determinado nó, nestes casos o nó, durante a simulação, é excluído dos dados, podendo esta contingência extremamente severa comprometer a capacidade de convergência do algoritmo utilizado.

No quarto e último grupo de elementos de janela estão presentes os elementos que possibilitam complementar a análise de sensibilidade do modelo, permitindo a inserção novos elementos. Para inserir um novo ramo, ou um novo transformador, basta selecionar o novo

elemento desejado na barra de elementos exibidos pelo grupo 4, clicar sobre o nó inicial e sobre a final e o novo circuito será inserido ligando estes dois nós. Não é feita qualquer tipo de verificação da semântica deste tipo de ligação.

A inserção de um novo nó se dá de maneira análoga ao que foi descrito para os ramos e transformadores, porém neste caso basta clicar uma vez na representação gráfica do modelo para que o nó seja inserido. Durante a inserção do nó é necessário informar sua natureza, ou seja, se é de geração ou de consumo.

Sobre nenhum novo elemento inserido no sistema é feito qualquer tipo de verificação no que tangem aos dados elétricos deste elemento. O sistema basicamente seta todos os dados para um valor *default*, fica a cargo do estudante fornecer dados aos novos elementos de forma que a convergência do modelo seja viável. Um exemplo de novos elementos inseridos pode ser observado através da Figura 5.

## 5.2 Visualização dos Gráficos

É possível criar vários gráficos dentro de uma mesma janela de análise. A aba de exibição dos gráficos pode ser observada através da Figura 6.

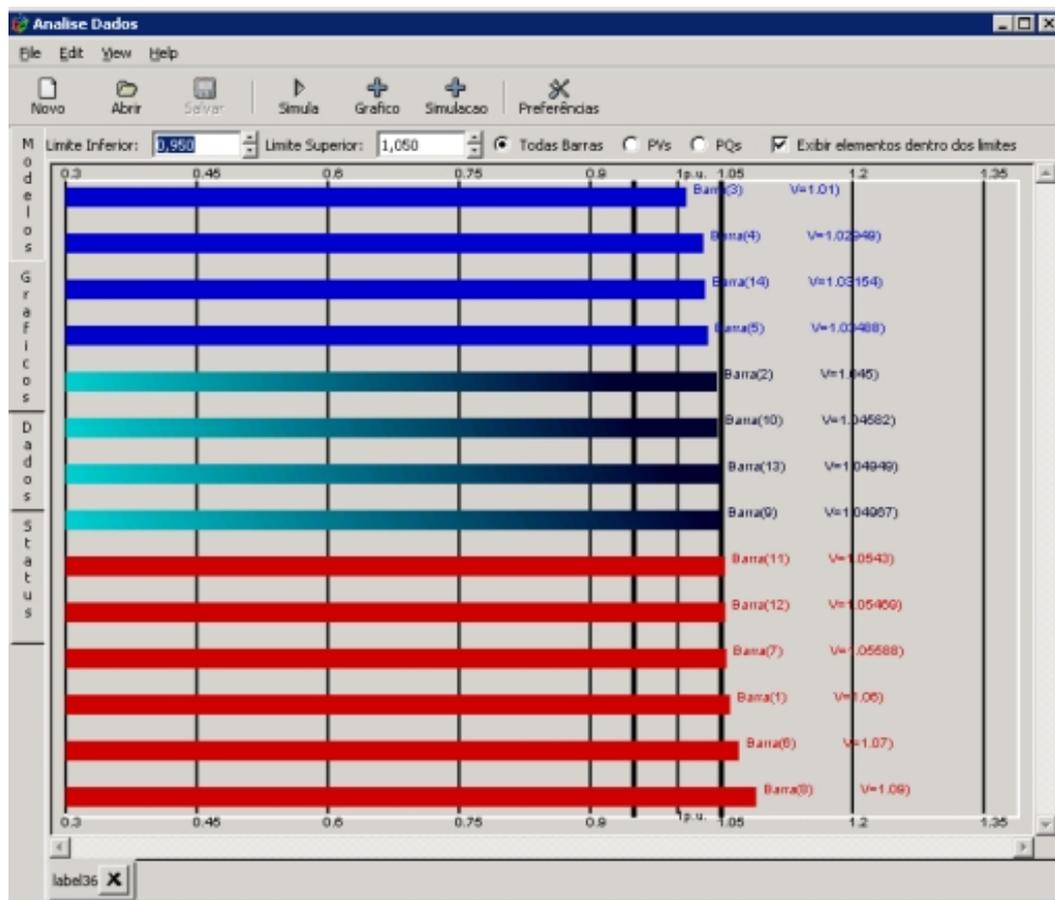


Figura 6: Interface para Exibição de Gráficos

O esquema de cores segue o mesmo padrão definido na subseção anterior para a visualização do modelo. O usuário pode definir uma cor para identificar os elementos que se encontram dentro do limite pré-estabelecido para o tipo de dado da rede elétrica que está sendo exibido, uma cor para os elementos do sistema elétrico que violam o limite e um gradiente de cores para os elementos que se encontram próximos de romper o limite pré-estabelecido.

Como pode ser observado na barra de ferramentas da Figura 6 é dada a possibilidade para que o estudante altere os valores de maneira interativa para o limite inferior e superior dos dados que estão sendo exibidos, fazendo com que o sistema redesenhe imediatamente o gráfico, verificando qual o estado dos elementos com os novos limites.

O estudante pode também definir qual a classe de nós será exibida, decidindo se deseja ver os nós de consumo, ou de geração, ou ainda, nos casos em que isto for interessante para a análise, todas os nós. A última opção permite que o usuário determine a exibição, ou não, dos nós que estão respeitando os limites para os dados sob análise.

Observando os resultados das simulações no gráfico o estudante pode desejar que sejam exibidas as vizinhanças de um determinado nó buscando, assim, uma melhor capacidade de analisar o estado do sistema, permitindo desta forma que ele analise a situação que levou o nó a aquele estado, buscando solucioná-lo alterando as configurações do nó e de seus elementos vizinhos.

O usuário pode construir gráficos em formas de barras horizontais, como os da Figura 6, para todos os tipos de dados obtidos com a simulação do sistema, além deste, é possível a construção de gráficos circulares, conforme Figura 7.

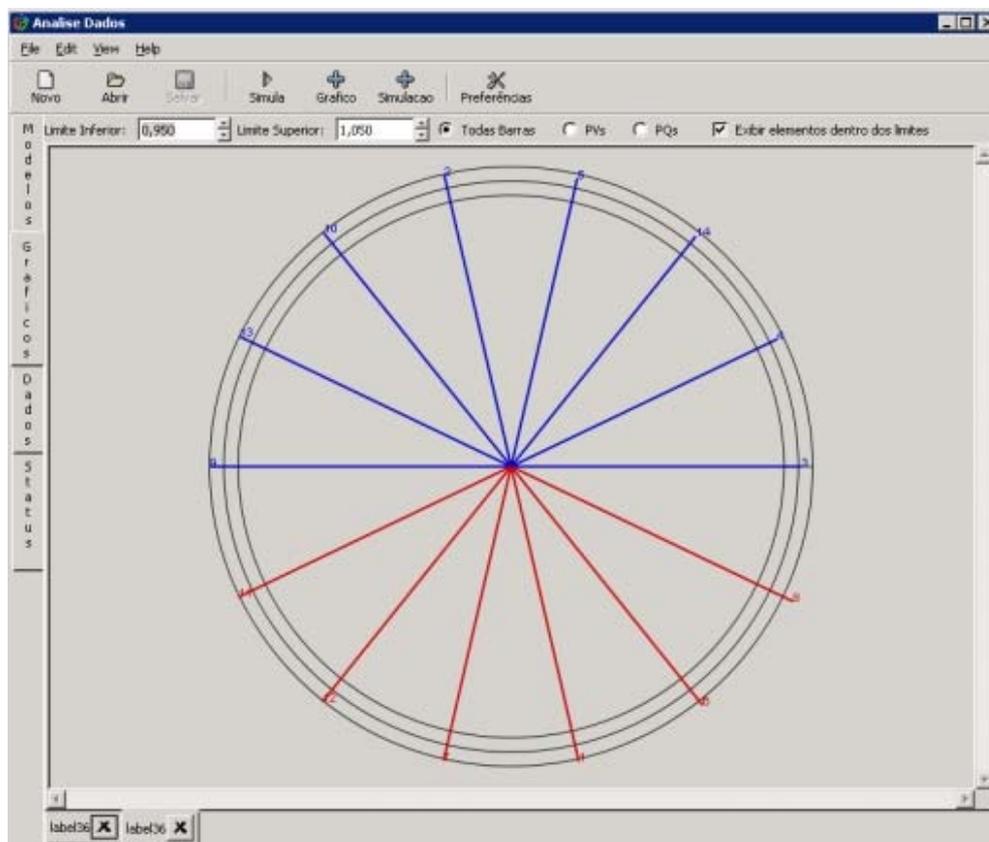


Figura 6: Interface para Exibição de Gráficos Circulares

Existem no sistema dois tipos de gráficos pré-definidos, o primeiro é destinado à análise da potência reativa onde os valores dos resultados são normalizados para que fiquem no intervalo  $[0,1]$  quando dentro dos limites definidos pelo usuário. O segundo gráfico permite a análise da variação de tensão de acordo com a variação de carga de um nó, dessa forma o estudante seleciona um conjunto de simulações onde haja alterações na carga de um nó e verifica como a tensão neste nó é influenciada, facilitando o entendimento deste tipo de relação.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitas das vezes o conhecimento transmitido em sala de aula, tanto em cursos de graduação e pós-graduação quanto em programas de treinamento, oferece um grande desafio cognitivo para o seu entendimento. Isto devido principalmente à complexidade do conteúdo do tema em si como é o caso dos sistemas elétricos de transmissão tratados neste artigo.

Um software que permite a simulação e a manipulação dos componentes do sistema elétrico por parte dos estudantes, permite também que este entendimento se dê de maneira mais natural, pois as tarefas de alta complexidade cognitiva passam a ter uma melhor representação.

Além de facilitar o aprendizado do conteúdo introdutório dos tópicos de sistemas de potência, o uso de um sistema computacional, que permite simulações de forma rápida e ágil, abre outras possibilidades. Entre elas destacamos a possibilidade de que o instrutor transmita, de forma mais clara e direta, não só o conteúdo básico do curso, mas também sua experiência com a operação de sistemas de transmissão reais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KOBER, F.; MANZONI, A.; LEMOS, F. A. B. An objected-oriented approach to development and inegration of graphical user interface and power system framework. In IEEE Bologna PowerTech Conference, 2003.

LI, X.; JIANG, J.; CANTWELL, J. R.; BOURNE, J. R.; KAWAMURA, K. Graphics-based qualitative simulation generator for power distribution systems. In Proceedings of the 1st international conference on Industrial and engineering applications of artificial intelligence and expert systems, volume 2, pages 877–884, 1988.

MONTICELLI, A. Fluxo de Carga em Redes de Energia Elétrica. Edgard Blucher, 1983.

OVERBYE; T. J. Fostering intuitive minds for power system desing. In: IEEE power and energy magazine, pages 38–43, 2003.

SCHILDT, H. C++: Complete Reference. McGraw-Hill, Inc., third edition, 1998.

STROUSTRUP, B. The C++ Programming Language. Addison-Wesley, third edition, 1997.

STEINBERG, L.S.; GITOMER, D.H. Cognitive task analysis, interface design, and technical troubleshooting. In: Proceedings of the 1<sup>st</sup> International conference of Intelligent user interfaces, p. 185-191, 1993.

STEVENSON JR., W. D. Elements of Power System analsyis. McGraw-Hill, Inc., fourth edition, 1982.

SUN, Y.; OVERBYE, T. J. Visualiazations of power system contingency analsyis data. In: IEEE Transacations on Power Systems, 19(4):1859–1866, november 2004.