

# Sistema Elaborador de Seqüenciamento de Manobras

A. L. Oliveira, GAGTD/EPUSP; L. C. Magrini, GAGTD/EPUSP; M. L. B. Meloni, CTEEP; J. A. Jardini GAGTD/EPUSP.

**Resumo** - Um sistema computacional foi desenvolvido tendo como objetivo auxiliar o processo de análise e elaboração do programa de manobras, que é o documento onde consta a seqüência lógica de comandos e ações a serem executadas por operadores de subestação quando do impedimento ou normalização de qualquer equipamento do sistema elétrico. A ferramenta computacional elaborada permite ao usuário interagir visualmente com os equipamentos manobráveis através de uma interface gráfica. Nesta interface, para cada manobra simulada, este programa analisa o estado de energização resultante para todos os equipamentos à jusante e apresenta graficamente o fluxo de energia. O sistema também colabora com a segurança através da verificação automática das regras de intertravamento da subestação.

**Palavras-chave** - Manutenção, programação de manobras, simulação, subestação, teoria dos grafos.

## I. INTRODUÇÃO

Freqüentemente um ou mais equipamentos de uma subestação necessitam ser impedidos para uma manutenção preventiva ou corretiva. Dentre os diversos procedimentos necessários para o impedimento ou normalização de qualquer equipamento do Sistema Elétrico, a Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista (CTEEP) necessita elaborar um documento (Programa de Manobras) contendo a seqüência lógica de comandos e ações a serem executadas pelos Operadores de Subestação. Atualmente a CTEEP elabora e digita manualmente os Programas de Manobras que são inseridos no sistema do Programa de Impedimento Operativo (PIO), responsável pelo gerenciamento. Desta forma, a etapa de elaboração da seqüência de manobras está sujeita a uma falha humana seja ela de natureza técnica ou de digitação.

O sistema PIO é disponibilizado na Intranet corporativa da CTEEP. Este sistema gerencia todos os procedimentos necessários para a realização de intervenções em equipamentos ou instalações, para possibilitar a execução de serviços. Solicitações, autorizações e agendamentos referentes a impedimentos são devidamente registrados no PIO, bem como o Programa de Manobras.

Com o objetivo de acelerar a elaboração do Programa de Manobras, de maneira segura e confiável, foi desenvolvida uma ferramenta computacional que permite à equipe técnica interagir visualmente com o diagrama unifilar da subestação desejada. Nesta interface gráfica, para cada manobra simu-

lada, este programa irá analisar o estado de energização resultante para todos os equipamentos à jusante e refleti-la graficamente, de modo que os equipamentos (barramentos, disjuntores, transformadores e chaves) por onde houver fluxo de corrente serão exibidos no diagrama unifilar na cor vermelha e os desenergizados na cor verde. A possibilidade de se empregar os próprios diagramas unifilares, já existentes, para a criação da interface gráfica do sistema, traz como benefícios: familiaridade ao usuário na utilização da interface, além de tornar desnecessário o retrabalho na construção e manutenção de uma interface gráfica específica da ferramenta, para cada uma das subestações.

Foi desenvolvido um algoritmo de simulação de conectividade da subestação baseado na Teoria dos Grafos, que capacita o sistema a extrair as ligações elétricas entre os equipamentos da subestação, a partir do diagrama unifilar, e dessas conectividades gera um grafo de modelagem da subestação.

Sendo que a simulação da manobra leva em conta os intertravamentos lógicos ou elétricos existentes entre as instalações da subestação, bem como possíveis impedimentos de outros equipamentos na subestação que deveriam participar da manobra. As regras de intertravamento da subestação podem ser programadas através de uma outra tela da interface gráfica, e salvas numa base de dados auxiliando o planejamento do sequenciamento das manobras por parte do usuário.

Associado ao sistema foi criada uma base de dados central para o armazenamento dos diagramas unifilares utilizados como interface gráfica. Bem como para o registro das regras de intertravamento.

O sistema foi integrado com o Sistema de Supervisão e Controle da CTEEP, para que este apresente graficamente ao usuário o estado corrente das chaves e disjuntores da subestação, como estado inicial da seqüência de manobras. Além disso, este sistema está integrado ao PIO para que após o usuário definir qual é o conjunto de manobras adequado ao impedimento desejado, estes resultados são transferidos diretamente para o sistema gerenciador de manobras da concessionária, evitando assim erros de digitação na transferência destas informações. Atualmente não existe um produto similar no mercado que possibilite a integração com o Sistema de Supervisão e Controle (SSC), e que ainda permita a interação visual com o diagrama unifilar da subestação desejada e que exporte as manobras simuladas com sucesso, diretamente ao PIO.

A estrutura deste artigo segue as diferentes etapas de implementação do projeto: A seção II trata da interface gráfica do sistema. A seção III trata modelagem e simulação elétrica da subestação. A seção IV descreve o tratamento dos intertravamentos da subestação. A seção V apresenta o processo de elaboração de manobras através do sistema desenvolvido.

A. L. Oliveira, L. C. Magrini e J. A. Jardini pertencem ao Grupo de Automação em Geração, Transmissão e Distribuição Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (e-mail: alex.lobes@poli.usp.br).

M. L. B. Meloni trabalha no Centro de Operação do Sistema de Bom Jardim da Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista (e-mail: mmeloni@ctEEP.com.br).

A seção VI apresenta a integração do sistema com os sistemas legados da CTEEP. A seção VII apresenta as conclusões do projeto e a seção VIII é dedicada as referências bibliográficas.

## II. INTERFACE GRÁFICA

A decisão de se utilizar diagramas unifilares, de representação das subestações, para a geração da interface gráfica do sistema, traz como benefícios:

- familiaridade ao usuário na utilização da interface, por ser idêntica ao principal documento de consulta na elaboração do Programa de Manobras;
- torna desnecessário o retrabalho de construção e manutenção de uma interface gráfica específica para o sistema a ser desenvolvido, para cada uma das subestações. No caso da CTEEP, mais de 100 subestações estão sob sua coordenação.

A partir desta decisão foi estudado como seria feita a interface gráfica do sistema, a partir de diagramas gerados por ferramenta CAD, de maneira automática pelo próprio sistema desenvolvido. Foram consideradas as exigências do sistema, expostas nos seguintes itens:

- identificação no símbolo dos equipamentos manobráveis;
- reconhecimento da conectividade elétrica entre estes elementos;
- possibilidade de interação do usuário com os equipamentos manobráveis graficamente, via mouse.

Os programas tipo CAD trabalham com arquivos gráficos em formato vetorial, os principais formatos são o DWG, DWF e DXF. O formato DWG é um formato proprietário. O desenvolvimento de aplicativos associados a este formato não é recomendado, pois não existe uma padronização deste formato entre diferentes versões, nem tampouco com outros fabricantes de software que sigam o padrão CAD. O DWF é proposto como a formatação padrão para visualizar os desenhos CAD na Internet. Este padrão privilegia a visualização pela Web, eliminando do desenho original uma série de elementos e compactando outros, o que compromete a manipulação deste arquivo por parte de outro aplicativo. Diante disto optou-se pela utilização do formato DXF, "Drawing Exchange Format", um protocolo aberto no qual o diagrama é representado por uma descrição textual possibilitando a troca de arquivos entre um sistema CAD e outros programas [1].

Quanto à identificação no desenho dos elementos manobráveis foi adotada uma padronização. Cada equipamento manobrável teve o seu conjunto de primitivas geométricas (linhas, polígonos, etc.) de representação gráfica, agrupados em blocos. Cada bloco foi nomeado com a própria identificação do equipamento atribuída pela empresa. A versatilidade da utilização dos blocos, que atuam como entidades do sistema CAD, está principalmente na rapidez de localização dos elementos, já que passam a ter os mesmos nomes dos equipamentos. Que permite inclusive a identificação do tipo do equipamento.

Foi desenvolvido um recurso computacional, no próprio sistema desenvolvido, que gera automaticamente as conexões elétricas entre equipamentos a partir dos diagramas unifilares. Este recurso é acionado somente uma única vez, identificando os elementos geométricos de conexão elétrica, e verificando as suas conectividades procurando agrupá-las em grupos de nós elétricos. Cada nó elétrico recebe uma identificação única, que será utilizada na identificação da conectividade elétrica dos equipamentos.

Assim este algoritmo faz uma varredura no diagrama, localizando todos os equipamentos manobráveis e identificando os nós elétricos aos quais este equipamento está conectado. O par de nós que compõe a conexão elétrica do equipamento é registrado em um próprio atributo do bloco (atributo *flag*), ficando desta forma registrada no próprio arquivo da interface gráfica. A interface gráfica gerada é mantida no formato DXF.

Para a manipulação dos arquivos no formato DXF, que atendessem as especificações iniciais do projeto, principalmente no que se refere à possibilidade de interação do usuário com os elementos manobráveis via mouse, foi escolhida a ferramenta computacional VectorDraw® [2].

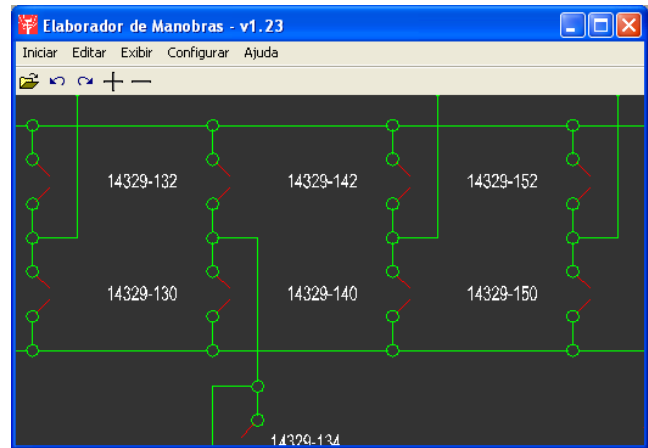


Figura 1. Interface gráfica do sistema.

## III. MODELAGEM E SIMULAÇÃO ELÉTRICA

Os modelos de simulação fornecem o estado de um sistema elétrico a um conjunto de informações de entrada, que incluem regras de decisão, permitindo ao tomador de decisão examinar as consequências de diversos cenários de um sistema existente ou de um sistema em projeto [3].

A simulação tem como objetivo apresentar o comportamento discreto da subestação, tendo como variáveis de entrada os estados de seccionadores e disjuntores (aberto / fechado e desligado / ligado), e de saída o estado dos equipamentos elétricos (energizado ou desenergizado). Sendo que os estados de saída dependem também do arranjo elétrico da subestação, pois estabelecem os possíveis caminhos do fluxo elétrico que circula entre os equipamentos da subestação.

Para cada manobra realizada em um equipamento há uma alteração do conjunto dos possíveis caminhos de circulação do fluxo elétrico, sendo que o algoritmo deve identificar todos os possíveis caminhos de circulação entre os equipa-

mentos compreendidos entre a entrada e saída da subestação.

Inicialmente foram avaliadas as opções de modelagem do sistema a partir das suas particularidades a serem abordadas na simulação. O problema proposto pode ser classificado como um problema de identificação de todos os possíveis caminhos, entre as entradas e saídas da subestação, do fluxo de corrente elétrica. Diversas teorias e estudos já foram realizados na análise de problemas de fluxo em redes (elétricas, hidráulicas, de dados, etc) como uma aplicação da Teoria dos Grafos[4]. Grafos são estruturas matemáticas, que podem ser definidas como apresentado em (1)

$$G = (X, A) \quad (1)$$

onde  $X$  é o conjunto de nós  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  e  $A$  é o conjunto de arcos  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ .

Cada arco  $a_k$  pode ser definido por um par de nós do conjunto  $X$ , isto é  $a_k = (x_i, x_j)$ . A estes arcos podem ser associados pesos numéricos que devem ser considerados por algoritmos que visam cumprir determinada tarefa [5].

Para a modelagem de uma subestação foram feitas as seguintes considerações:

- Nós: barras, linhas de transmissão, linhas de interligação, primário / secundário dos transformadores, ou seja, qualquer ponto de conexão elétrica;
- Arcos: seccionadores, chaves de aterramento e disjuntores sendo que para cada arco seria associado um dos possíveis valores:
  - 1 – fechado / ligado
  - 0 – aberto / desligado
- Os demais equipamentos série, para efeito de conectividade, são considerados elementos passivos que interligam dois nós. Como por exemplo, transformadores, reatores, banco de capacitores.

A cada manobra realizada ocorre uma alteração da topologia do grafo representativo do arranjo da subestação. A partir das informações contidas na própria interface gráfica, referentes à conectividade elétrica dos equipamentos, e do estado atual dos equipamentos é gerada uma Lista de Adjacências de representação do grafo. A Lista de Adjacências, que especifica todos os nós adjacentes a cada nó do grafo, foi escolhida como forma de representação do grafo por apresentar neste problema particular um desempenho melhor em relação à Matriz de Adjacências. A Lista de Adjacências é recomendada em tarefas em que há a necessidade de processar nós adjacentes a um nó  $x_n$  [5], e faz parte do domínio do problema a propagação do fluxo elétrico pelos nós adjacentes.

A literatura ressalta que a Matriz de Adjacências apresenta um melhor desempenho no que se refere à manutenção da mesma, quando é necessário inserir ou retirar nós, pois nesta representação basta mudar de 0 para 1 (ao inserir) ou de 1 para 0 (ao retirar). No caso do sistema desenvolvido empregando a Lista de Adjacências, não ocorreram problemas de desempenho na geração da mesma, pois a lista é gerada a partir das informações da conectividade elétrica que já existem.

A partir das linhas de transmissão que suprem a subestação (nós iniciais), seguindo o sentido da corrente, o algoritmo percorre cada um dos caminhos possíveis formados pelo conjunto dos arcos associados, sendo que os arcos de valor 0 (aberto) não serão considerados como caminhos possíveis. Em termos da Teoria dos Grafos percorrer um grafo consiste em visitar cada nó somente uma vez, e para que isso ocorra, cada nó visitado é marcado, no caso deste algoritmo somente os nós que estiverem na cadeia de adjacência do nó inicial (energizado) serão visitados e identificados como energizados.

Baseando-se no algoritmo de busca em profundidade, a partir do nó inicial será visitado um nó adjacente, segundo o caminho estabelecido pelo arco. Se um nó tiver todos os seus nós adjacentes visitados retorna-se para o nó predecessor. O percurso está terminado se este processo de visita e retorno levar ao primeiro vértice de onde o percurso se iniciou.

#### IV. INTERTRAVAMENTOS

A inteligência do sistema estará sempre presente orientando o usuário quanto aos intertravamentos pré-estabelecidos, auxiliando o planejamento do sequenciamento das manobras. Uma das formas adotadas pela CTEEP de representar as regras de intertravamento, associada a cada equipamento, é através de um diagrama lógico. Neste diagrama as variáveis de entrada correspondem aos estados dos disjuntores e seccionadores necessários para que o seccionador possa ser aberto (variável de saída), como pode ser observado na figura abaixo:

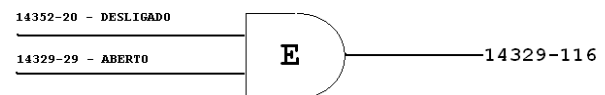


Figura 2. Representação lógica de um intertravamento.

Um dos módulos do sistema é o de supervisão de intertravamento. Este módulo é responsável pelos seguintes itens:

- Programação e edição das regras de intertravamento, através de uma interface visual, que as converte e armazena na forma de equação booleana;
- Verificação automática do cumprimento das regras durante a elaboração da manobra.

Uma regra de intertravamento é uma expressão lógica que mostra a interdependência entre os diversos equipamentos de uma subestação elétrica. Quando algum destes equipamentos precisa ser manobrado, um ou mais equipamentos precisam estar em algum tipo de estado (ligado, desligado, aberto ou fechado). Esta expressão booleana pode ser representada como um diagrama lógico como visto na figura 2. Em certos casos essas regras podem ser bastante complexas envolvendo vários equipamentos e com várias funções booleanas em cascata.

A solução proposta foi criada com o intuito de minimizar o impacto da nova interface com o usuário e ao mesmo tempo minimizar os possíveis erros que poderiam ser cometidos durante o cadastramento e manutenção das regras de intertravamento. O sistema desenvolvido fez uso da biblioteca gráfica FlowChartX Standard [6] para a representação visual dos intertravamentos, por ser bastante genérica e flexível de forma a possibilitar a criação de diagramas lógicos de qualquer nível de complexidade. Na figura 3 pode-se observar o módulo de cadastro, edição e visualização das regras de intertravamento.

O sistema foi desenvolvido com a intenção de ser, visualmente e tecnicamente, o mais próximo possível com o padrão de documentação adotada para as regras de intertravamento das subestações. O diagrama lógico é criado pelo usuário em forma de árvore horizontal, quando salvo um algoritmo que percorre o primeiro nó da árvore e monta gradativamente uma expressão lógica equivalente. Exemplo de uma expressão lógica, montada a partir de um diagrama, pode ser vista abaixo, onde consta a identificação numérica dos equipamentos, enquanto Aberto, Fechado, Ligado e Desligado sinalizam o estado obrigatório dos respectivos equipamentos:

**14352-45** = (14329-38/Aberto **E** 14329-236/Fechado **E** 14352-4/Desligado) **OU** (14352-8/Ligado **E** 14329-226/Fechado) **OU** (14329-138/Aberto **E** 14329-210/Fechado **E** 14329-230/Fechado)

A representação do diagrama lógico na forma de uma expressão lógica permite que facilmente a regra seja armazenada no banco de dados do sistema. Bem como agilizando o processo de verificação automática das regras.

Um exemplo de representação gráfica da regra de intertravamento pode ser observado na figura 4.

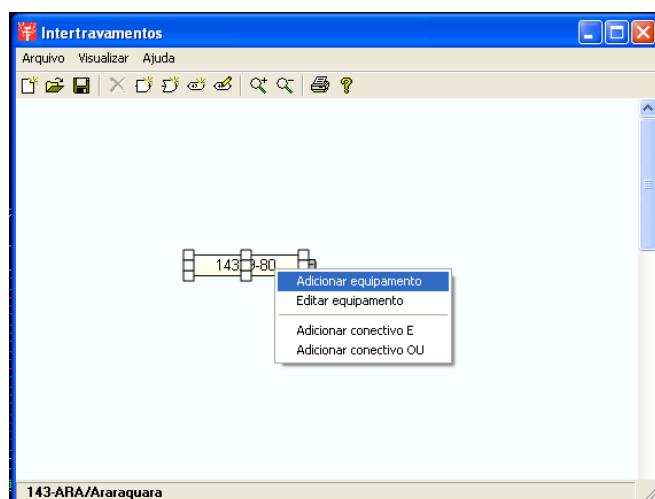


Figura 3. Módulo de cadastro, edição e visualização das regras de intertravamento

Com estas expressões lógicas representando os diagramas lógicos de regras de intertravamento, o sistema terá as informações suficientes para que cada manobra realizada nas subestações seja devidamente e imediatamente validada pela regra. Caso a regra não seja atendida, a manobra será blo-

queada e o usuário do sistema será informado de quais equipamentos violam as pré-condições de manobra.

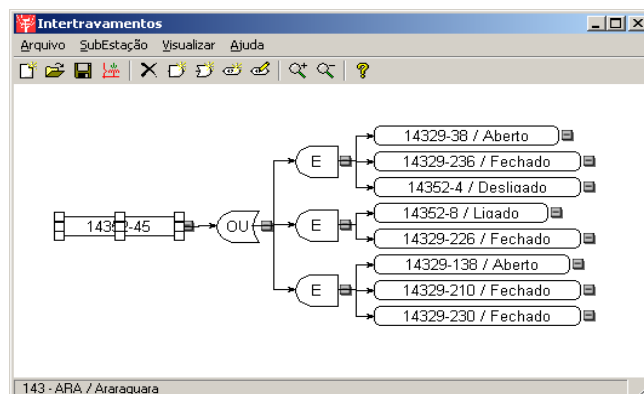


Figura 4. Módulo de intertravamento

## V. ELABORAÇÃO DA MANOBRA

O Programa de Manobras pode ser definido como o documento que contém o conjunto de tarefas que devem ser executadas para que uma condição de impedimento seja atendida. Neste conjunto de tarefas constam também todas as ações necessárias para a liberação e normalização de equipamentos ou instalações. A condição de impedimento, que deve ser atendida nestas tarefas, pode ser definida como estado no qual o equipamento / instalação deve permanecer durante o período de realização dos serviços (de manutenção e/ou ensaios).

Atualmente a CTEEP elabora e digita manualmente os Programas de Manobras no sistema PIO. Desta forma, a etapa de elaboração da seqüência de manobras está sujeita a uma falha humana seja ela de natureza técnica ou de digitação.

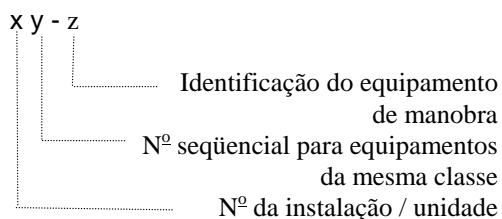
É importante salientar que as condições de impedimento só podem ser obtidas se as ações forem executadas exatamente como previstas no Programa de Manobras. Em outras palavras, a seqüência de ações definida previamente deve ser obedecida para que a conclusão da operação, como um todo, possa ser obtida com sucesso.

Não há a necessidade da elaboração do Programa de Manobras na manutenção de equipamentos em linha viva, o que não fará parte do escopo deste projeto. No caso de manobras de emergência, para isolamento do equipamento que apresentem falhas, não é necessária a elaboração prévia do Programa de Manobras. Mas por ocasião da normalização, deve ser emitido o respectivo Programa de Manobras.

O recurso de automatismo na elaboração do Programa de Manobras, integrado com a interface gráfica, segue a mesma estrutura dos comandos utilizados no método tradicional:

- A redação do Programa de Manobras segue estruturas diretas e imperativas, contendo comandos positivos, tais como “DESLIGAR 14352-46” ou “DESBLOQUEAR R-79 DO 14352-21”. A seqüência dos comandos é estabelecida seguindo critérios de proximidade física, bem como as regras de intertravamento.
- Todos os equipamentos de manobra existentes nas subestações e linhas de transmissão da CTEEP são i-

identificados através de um código numérico, que deve ser respeitado na formulação do Programa de Manobras, com a seguinte padronização:



Ex.:

ARA: DESLIGAR 14352-45

- 143:** número da instalação de Araraquara;
- 52:** número de identificação do equipamento, no caso disjuntor de linha;
- 45:** número de identificação única do disjuntor na instalação de Araraquara.

A partir de uma lista (figura 5) com todas as subestações da CTEEP, composta pelo código da subestação, sigla e nome, o usuário poderá selecionar a subestação para a qual ele deseja elaborar a manobra. Após a seleção será aberta a interface gráfica de elaboração da manobra da subestação selecionada, conforme apresentado na figura 6.

A interface gráfica permite a visualização do diagrama unifilar da subestação, com a possibilidade do usuário utilizar recursos de zoom.

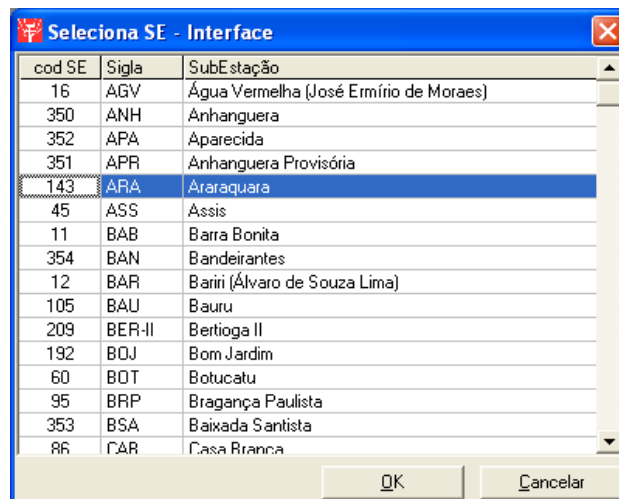


Figura 5. Seleção da interface da subestação

Antes de iniciar a elaboração da manobra é necessário informar ao sistema quais são as Linhas de Transmissão ativadas, isto é, energizadas. O sistema considera por default que todas as Linhas de Transmissão estão ativadas, mas ele permite que este cenário seja alterado manualmente (no caso, por exemplo, em que uma Linha de Transmissão esteja isolada). O que permite que a manobra seja realizada pelo sistema de maneira mais realista possível.

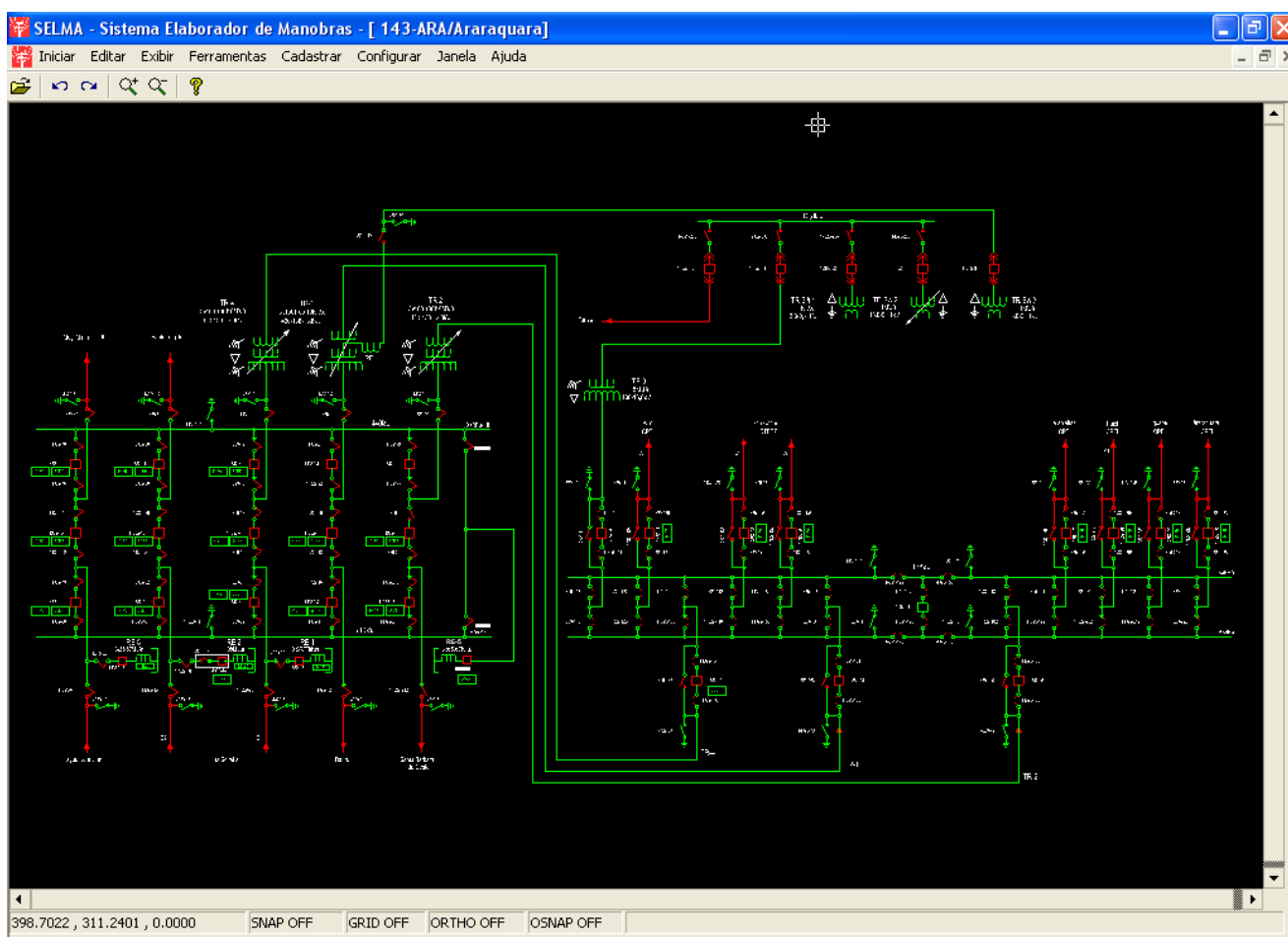


Figura 6. Interface gráfica do sistema



No momento de inicialização a funcionalidade do sistema, que permite a integração com o SSC/SSA, pode ser utilizada. É possível configurar o estado dos equipamentos manobráveis, antes da elaboração da manobra, através da captura do estado dos equipamentos pelo SSC (figura 7). O SSC informará o estado destes no exato momento da captura.



Figura 7. Selecionando captura SSC

Uma outra maneira de preparar a interface do sistema para a posterior elaboração da manobra é a partir da definição do modo de operação da subestação. Basicamente definir o modo de operação consiste estabelecer a configuração inicial da subestação, através do estado de seccionadores e disjuntores, para em seguida realizar as manobras virtuais pelo sistema. A definição do Modo de Operação pode ser realizada de duas maneiras: manual, onde o usuário define para cada seccionador e disjuntor o estado desejado para a realização da manobra, ou automático, onde o usuário resgata um modo de operação previamente salvo na base de dados do sistema.

O estado dos equipamentos manobráveis (seccionadores e disjuntores) é representado na interface com a seguinte legenda de cores:

TABELA I

LEGENDA DE EQUIPAMENTOS

EQUIPAMENTO	ESTADO	COR
Disjuntor	Ligado	Vermelho
	Desligado	Verde
Seccionador	Fechado	Vermelho
	Aberto	Verde

Os demais equipamentos e conexões elétricas quando energizados são representados pela cor vermelha, já quando estão desenergizados seguem a cor verde.

Seguindo a padronização de identificação dos equipamentos, é possível identificar o tipo do equipamento (disjuntor, seccionador, etc). Como as identificações estão registradas no próprio diagrama unifilar da interface gráfica, o usuário ao simular a manobra de um equipamento o próprio sistema consegue identificar qual equipamento foi selecionado e apresentar ao usuário as opções de ação, a partir de comandos padronizados, a serem executadas para o tipo específico de equipamento (figura 8).

Para manobrar algum equipamento via interface gráfica basta o usuário clicar com o botão esquerdo do mouse sobre ele para que o seu estado será alterado (bem como a cor) para o estado oposto (Aberto => Fechado, Desligado => Ligado, etc). Neste instante uma caixa de diálogo será apresentada com as opções de manobra possíveis para o equi-

pamento manobrado, que poderão ser selecionadas pelo usuário.

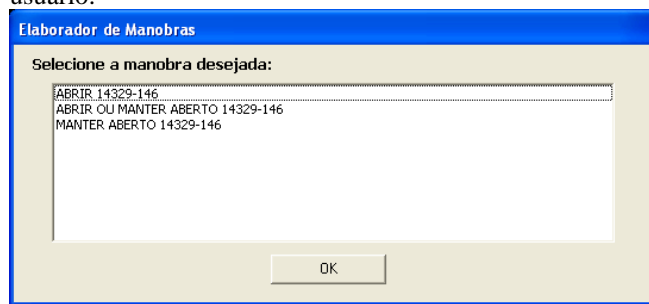


Figura 8. Interface de seleção da manobra.

No caso de manobras que não envolvem a alteração do estado do equipamento (MANTER ABERTO, MANTER DESLIGADA, BLOQUEAR COMANDO, etc) basta o usuário clicar com o botão direito no equipamento.

A partir do momento em que uma das opções é selecionada, a manobra escolhida é registrada na tela de elaboração do Programa de Manobras (figura 9). Nesta tela, comentários adicionais podem ser acrescentados, e quando finalizada a pode ser diretamente enviada ao sistema PIO.

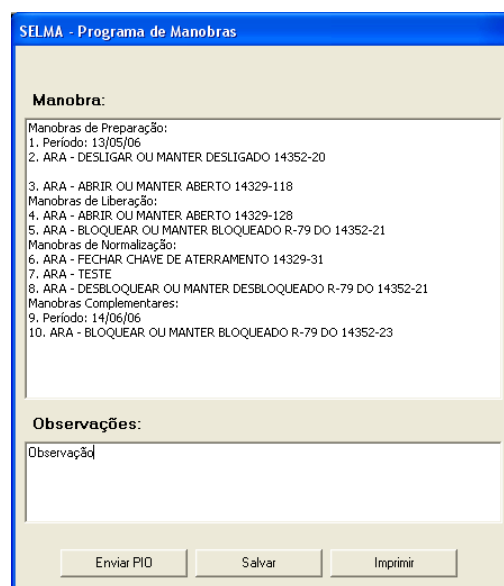


Figura 9. Interface de elaboração da manobra.

No caso de simulação de uma manobra que desrespeite alguma regra de intertravamento, pré-configurada, o sistema acusará a ocorrência (figura 10), bloqueando a manobra, e indicando o procedimento correto que deverá ser seguido.

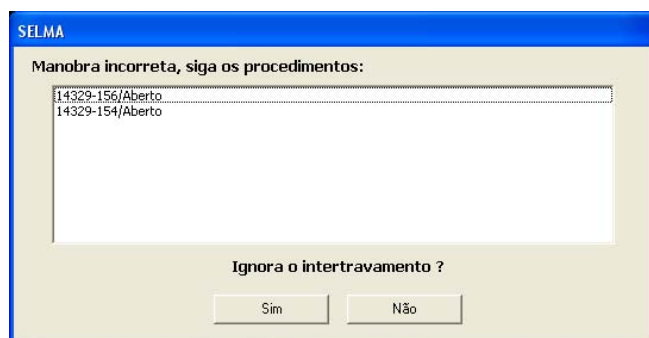


Figura 10. Mensagem de manobra incorreta

Ao finalizar a elaboração do programa de manobras o usuário além de poder salvá-lo em arquivo eletrônico e imprimir, pode cadastrá-lo ao PIO, através do módulo de integração do sistema com o PIO. Para enviar ao PIO o usuário deve informar ao sistema se o Programa de Manobras é vinculado ou não. Isto é, se esse Programa de Manobras está associado ou não a uma pré-solicitação, que já contém informações complementares sobre a manobra a ser realizada.

No caso vinculado será necessário preencher um formulário de dados complementares, referentes às condições de segurança para a execução da manobra (figura 11), com os mesmos dados que são preenchidos como de costume no PIO pelos usuários.

Figura 11. Dados complementares para o Programa de Manobras vinculado

No caso não-vinculado será apresentado um outro formulário para o qual será necessário preencher (figura 12), com os mesmos dados que são preenchidos como de costume no PIO.

Figura 12. Dados complementares para o Programa de Manobras não-vinculado.

Ao final do preenchimento do formulário a manobra elaborada será armazenada no sistema PIO podendo ser posteriormente resgatada pelo usuário do sistema PIO.

## VI. INTEGRAÇÃO DOS SISTEMAS

O Sistema de Supervisão e Controle (SSC/SSA) da CTEEP utiliza para sua base de dados histórica o sistema PI, sistema historiador desenvolvido pela empresa americana OSI Software [7]. O acesso ao historiador permite à ferramenta de simulação a coleta das indicações de estado dos equipamentos manobráveis da subestação no momento em que for elaborado o Programa de Manobras. A OSI Software disponibiliza o PI *Application Programming Interface* (API), que é uma biblioteca voltada ao desenvolvimento de aplicativos. Permitindo a recuperação e apresentação dos dados armazenados [8].

A API do historiador é dividida em unidades, destas unidades será utilizada a unidade *Snapshot Functions* que permite a recuperação dos estados mais recentes dos equipamentos manobráveis da subestação. Foi utilizada também a unidade *Point Database Functions* de identificação e busca das instalações de onde serão extraídas as informações. Este historiador além de informar o estado dos equipamentos estará informando o status da comunicação de dados com as unidades remotas de telemetria.

Como produto final do sistema é gerado um texto contendo o Programa de Manobras, que é inserido por meio de comandos SQL (*Structured Query Language*) na base de dados do sistema PIO. O sistema PIO já é responsável por todo o gerenciamento do *workflow* das manobras, desde a solicitação de impedimento, elaboração, aprovação por parte das hierarquias e despacho para as áreas de execução e acompanhamento.

A integração da ferramenta desenvolvida aos sistemas legados da CTEEP é transparente, não gerando necessidades de alterações nas interfaces (figura 13).

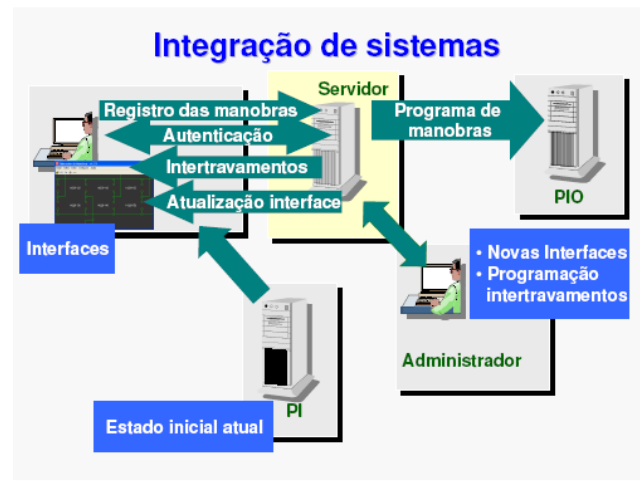


Figura 13. Integração dos sistemas

## VII. CONCLUSÕES

Procurou-se neste artigo realizar uma exposição das funcionalidades básicas do Sistema Elaborador de Sequenciamento de Manobras que abrangesse as principais características, bem como expor as soluções técnicas para os principais desafios do projeto, como por exemplo, a interface gráfica do sistema, simulação elétrica do arranjo da subestação e o registro e processamento das regras de intertravamento. Estas soluções sempre tiveram como objetivo minimizar o tempo destinado à administração e manutenção do sistema.

Bem como criar uma ferramenta flexível, que se ajuste facilmente a qualquer subestação.

Observou-se que um sistema que auxilie a elaboração do Programa de Manobras, com uma interface gráfica incorpore grandes vantagens ao processo, facilitando a tomada de decisão, aumentando a segurança e reduzindo o tempo despendido na sua elaboração. O sistema também pode ser utilizado para treinamento de operadores, como um simulador da subestação, e contribuir, dessa maneira, para uma melhor execução da seqüência de manobras.

Do ponto de vista metodológico o algoritmo para a obtenção das conectividades elétricas, associado à extração dos grafos a partir de diagramas unifilares em formato DXF possibilita que uma série de novas aplicações possam utilizar a mesma interface gráfica, a partir de um documento que já é comumente utilizado tanto pela engenharia, quanto pela manutenção e operação.

#### VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Autodesk *Autocad 2002 - DXF Reference Guide*, 2001 [Online]. Disponível:  
<http://www.autodesk.com/techpubs/autocad/dxf/dxf2002.pdf>
- [2] Home-page da Empresa VectorDraw. <http://www.vdraw.com/> Data de acesso: 20/06/2006
- [3] L.F.G. Soares, *Modelagem e simulação discreta de sistemas*, Ed. Campus, 1992, São Paulo.
- [4] R. Diestel, *Graph Theory*, New York:Wiley, 2005
- [5] A. Drozdek, *Estrutura de dados e algoritmos em C++*, Ed. Pioneira, 2002, São Paulo.
- [6] Home-page da Empresa Mindfusion. <http://www.mindfusion.org/>  
Data de acesso: 20/06/2006
- [7] Home-page da Empresa OSI Software. <http://www.osisoft.com/>  
Data de acesso: 20/06/2006
- [8] OSI Software. *PI Application Programming Interface*, Outubro 1996.