

Incorporação do Programa de Análise de Falhas Simultâneas (ANAFAS) a um Ambiente Integrado de Interface Gráfica e Banco de Dados

F.R.M.Alves¹, CEPEL; S.P.Romero², CEPEL; C.F.P.Araújo, NCE; J.S.S.Assis, NCE; R.N.Martino, UFRJ; D.M.P.Gomes, UFRJ; M.S.Cauzin, CEPEL e F.M.Ferreira³, LIGHT

Resumo- A modernização de aplicações computacionais para operação e planejamento de sistemas elétricos de potência é uma alternativa para contornar os altos custos de recodificação e preservar investimentos de tempo e recursos já realizados. A maioria destas aplicações teve seu desenvolvimento iniciado em FORTRAN e apresentam limitações quanto à incorporação de novas formas de interação com o usuário e gerência de bases de dados. Neste trabalho são discutidas as alternativas para este processo de modernização e apresentadas as soluções adotadas para a adaptação de um programa comercial de curto-circuito a um ambiente integrado de banco de dados e interface gráfica. A partir da expansão do modelo de dados e da interface gráfica do ambiente integrado SAPRE, foram criadas as condições para a integração do programa ANAFAS, resultando em uma flexível ferramenta para cálculo de curto-circuito, incluindo um editor de diagramas unifilares e recursos para gerência de redes, casos e usuários.

Palavras-chave- Banco de Dados, Curto-Circuito, Fluxo de Potência, Interface Gráfica, Modelo de Dados

I. INTRODUÇÃO

Durante suas duas primeiras décadas de existência o CEPEL investiu pesadamente no desenvolvimento de aplicações computacionais para operação e planejamento de sistemas elétricos de potência, com o objetivo de suprir as necessidades do setor elétrico brasileiro, contemplando suas especificidades. Estes desenvolvimentos geraram programas comerciais largamente utilizados no setor e que representam o que existe de mais moderno em termos de técnicas de solução dos problemas específicos aos quais se aplicam. No que diz respeito a interface gráfica e gerência de dados, o CEPEL passou a ser solicitado a dotar estas aplicações de facilidades condizentes com as novas necessidades de compartilhamento de dados, análise e visualização de resultados. Diante desta necessidade, concluiu-se que a melhor forma de dotar tantos programas destas características seria a criação de uma plataforma comum e expansível que acumulasse as funções de interface gráfica, editor de diagramas e gerência de dados. Para isso, seria necessário definir um modelo de dados também comum e expansível e uma interface gráfica sensível ao contexto, com uma lógica de funcionamento comum a todas as aplicações,

reduzindo desta forma o esforço cognitivo do usuário ao iniciar o uso de uma nova aplicação. Estabelecidas estas condições de contorno, o CEPEL deu início às atividades de desenvolvimento desta plataforma integrada para programas de operação e planejamento de sistemas elétricos de potência, denominada SAPRE – Sistema de Análise e Projeto de Redes Elétricas [1]. Este trabalho apresenta os conceitos básicos relacionados com o modelo de dados e com a interface gráfica que suportam este desenvolvimento e as atividades específicas para integração do programa ANAFAS – Análise de Falhas Simultâneas [2] a esta plataforma.

II. MODELO DE DADOS

Para desenvolver um modelo de dados comum e expansível foi necessário definir um universo de aplicações que seriam futuramente integradas a esta plataforma. Foi decidido que este universo seria composto por aplicações para operação e planejamento de sistemas elétricos de potência, que utilizassem um modelo unifilar, ou seja, a maioria dos programas desenvolvidos pelo CEPEL. Em seguida era importante escolher uma aplicação base, cujo conjunto de dados fosse suficientemente representativo para ser a base do modelo de dados relacional a ser desenvolvido. Foi selecionado o programa ANAREDE – Programa de Análise de Redes Elétricas [3] e o trabalho de modelagem de dados foi realizado sobre seu conjunto de dados.

A. Modelagem de Dados

O trabalho de modelagem de dados consiste na identificação de entidades, relacionamentos e atributos existentes no conjunto de dados de uma aplicação computacional. Quando a aplicação é projetada originalmente para utilizar sistemas gerenciadores de bancos de dados, esta fase é naturalmente integrada ao processo de desenvolvimento. No caso do SAPRE, o trabalho de definição do núcleo do modelo de dados foi realizado sobre um conjunto de dados já existente, no caso o conjunto de dados do programa ANAREDE. Assim, foram tomadas precauções para que eventuais incoerências deste conjunto de dados não influíssem de forma negativa sobre o modelo de dados a ser desenvolvido. O modelo de dados relacional do SAPRE [1,4] foi criado em torno da entidade Barra_CA, a qual possui relacionamentos não obrigatórios com entidades representativas de elementos “shunt” e série. Uma parte deste modelo de dados pode ser vista na Figura 1, que mostra a entidade Barra_CA e algumas entidades

Este trabalho foi financiado pela LIGHT no âmbito do projeto 22/2003 de sua carteira de projetos de P&D acompanhados pela ANEEL.

CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica; NCE – Núcleo de Computação Eletrônica da UFRJ; UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro; LIGHT – Light Serviços de Eletricidade S.A.

(1) e-mail: frma@cepel.br (2) e-mail: spr@cepel.br

(3) e-mail: fernando.martins@light.com.br

representativas de equipamentos “shunt” que com ela se relacionam.

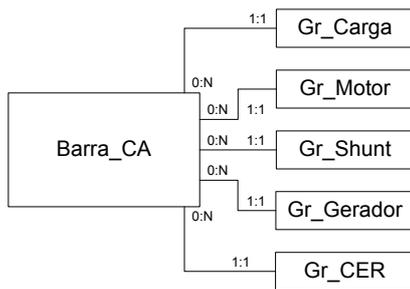


Figura 1. Modelo de Dados de Barra CA

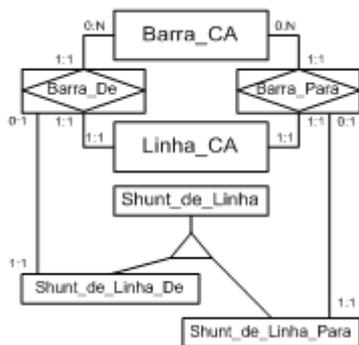


Figura 2. Modelo de Dados de Linha CA

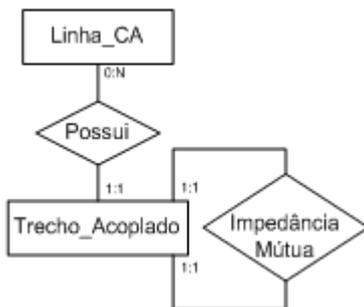


Figura 3. Modelo de Dados de Trecho Acoplado

Muito embora a maior parte dos programas do CEPEL considere um único elemento equivalente de cada tipo por barra (uma única carga, um único “shunt”, etc), o modelo de dados foi concebido da maneira mais flexível possível, permitindo mais de um elemento de cada tipo por barra. Desta forma, as possíveis conseqüências da evolução dos programas, aproximando seus modelos de dados particulares da realidade de campo, já estão previstas no modelo de dados do SAPRE. Enquanto as aplicações não dispõem desta facilidade, a possibilidade de conexão de mais de um elemento de cada tipo por barra é inibida por software.

O modelo de dados de linha CA, parcialmente visto na Figura 2, apresenta aspectos interessantes devido à necessidade de representação das entidades associativas barra_de e barra_para. Entidades associativas [4] nada mais são que relacionamentos que, em certas situações, assumem comportamento de entidade. Neste caso particular, a necessidade se impõe pelo fato de que uma instância da entidade Shunt_de_Linha deve estar relacionada com uma

instância do relacionamento entre Linha_CA e Barra_CA. Também é interessante notar que a entidade Shunt_de_Linha é especializada nas entidades Shunt_de_Linha_De e Shunt_de_Linha_Para.

O processo de tradução dos dados armazenados na base de dados para o formato dos arquivos de entrada de cada programa integrado ao SAPRE é função deste último, tornando mínimas as alterações no código-fonte da aplicação integrada. São necessárias ainda alterações para geração dos arquivos de resultados a serem capturados pelo SAPRE.

B. Extensão do Modelo de Dados para Curto-Circuito

Uma vez definido o núcleo do modelo de dados do SAPRE, na verdade o modelo de dados para Fluxo de Potência, foi necessário realizar uma revisão da modelagem de dados de forma a adequar o modelo às necessidades de uma aplicação para cálculo de curto-circuito, no caso, o programa ANAFAS. A principal mudança foi a modelagem dos dados de seqüência zero, que consistiu basicamente na criação de novos atributos em entidades já existentes no modelo de dados básico do SAPRE. Uma entidade adicionada e digna de nota por seus aspectos especiais foi Trecho_Acoplado. Esta entidade apresenta a característica de possuir o auto-relacionamento Impedância_Mútua. Cada instância deste auto-relacionamento conecta duas instâncias da entidade Trecho_Acoplado, uma situação não facilmente encontrada em modelos de dados relacionais [4]. O relacionamento desta nova entidade com o restante do modelo de dados, através do relacionamento com a entidade Linha_CA, pode ser visto parcialmente na Figura 3, abaixo.

Para implementar a funcionalidade de Ponto de Monitoração do programa ANAFAS, foram incluídas as entidades Ponto_de_Monitoração, Grandeza e Fator, mas sua conexão ao núcleo do modelo é simples, apesar de sua importância.

III. INTERFACE GRÁFICA

A interface gráfica do SAPRE teve seu núcleo baseado nas funcionalidades necessárias para o programa ANAREDE. Somente após a implementação destas características principais o conjunto de funcionalidades foi estendido para contemplar as necessidades do programa ANAFAS. A estrutura básica da interface é composta de três partes básicas: uma Área de Trabalho, uma Área de Filtro e um Modelo Reduzido.

A Área de Trabalho (Figura 4) está integrada à Janela Principal do SAPRE, a qual também contém os menus e a barra de ferramentas. Assim como todos os componentes da interface, os menus e a barra de ferramentas são sensíveis ao contexto, alterando sua aparência de acordo com o Modo de Execução selecionado. O Modo de Execução, selecionado através de um menu, especifica o comportamento da interface, as legendas disponíveis e a aparência dos elementos do diagrama unifilar, as opções disponíveis nos menus e o programa que será invocado pelo SAPRE quando for acionado o menu Análise.

A Área de Filtro (Figura 5) permite ao Usuário a seleção dos equipamentos que serão visualizados na Área de Trabalho, as grandezas que serão visualizadas e as unidades em que estas grandezas serão exibidas. Finalmente, o

Modelo Reduzido (Figura 6) permite ao Usuário a visualização de todo o sistema elétrico representado graficamente, em pequenas dimensões, possibilitando o posicionamento adequado da Área de Trabalho.

Este conjunto de janelas (Figura 7) proporciona ao Usuário os meios necessários para interagir de forma ágil com o editor de diagramas e com o gerenciador de acesso à base de dados.

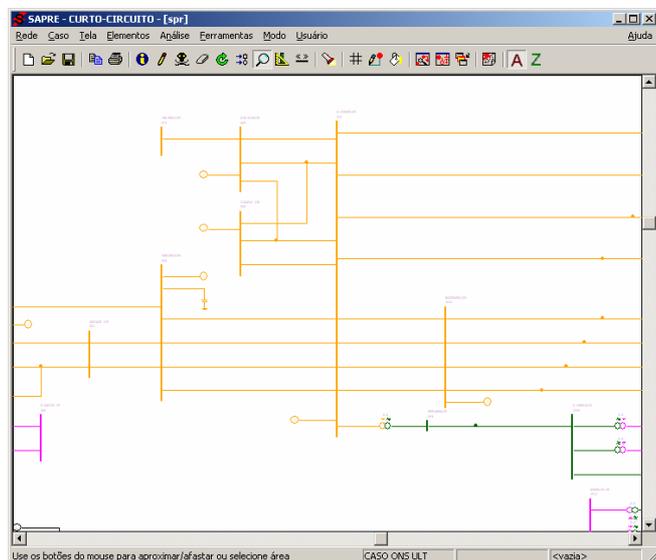


Figura 4. Área de Trabalho do SAPRE

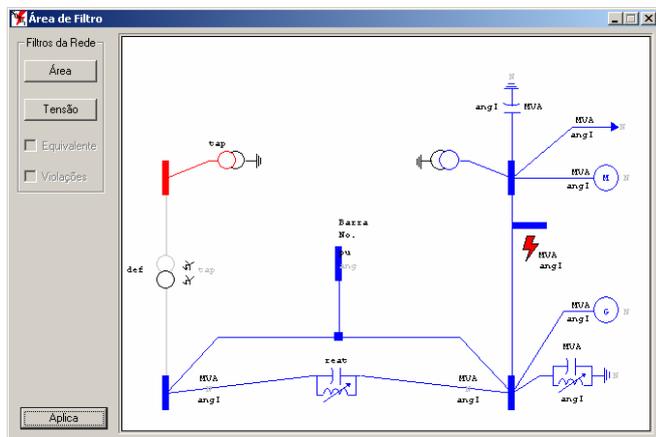


Figura 5. Área de Filtro do SAPRE

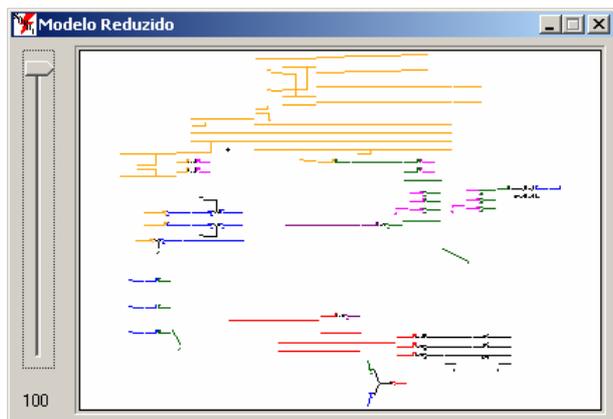


Figura 6. Modelo Reduzido do SAPRE

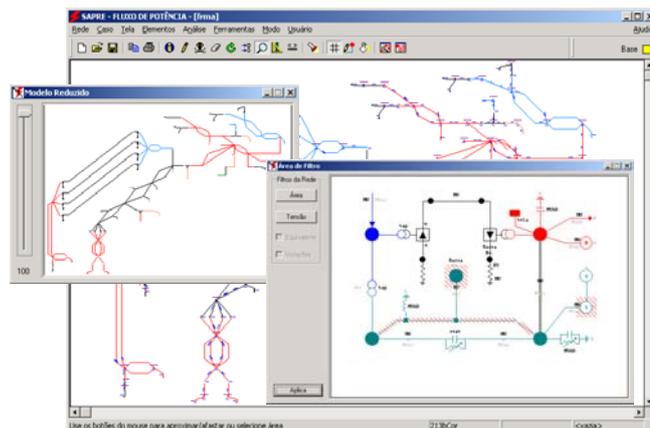


Figura 7. Área de Trabalho, Área de Filtro e Modelo Reduzido

A. Especialização da Interface Gráfica para Curto-Circuito

O núcleo da interface gráfica, desenvolvido a partir dos requisitos de uma aplicação de fluxo de potência, foi modificado para incorporar as características específicas necessárias à visualização de resultados de estudos de curto-circuito. Dentre estas características, merece destaque a possibilidade de visualização de grandezas para as fases A, B e C e para as seqüências positiva, negativa e zero. A seleção da visualização de grandezas por fase / seqüência é feita através de botões localizados na barra de ferramentas da aplicação (Figura 8).



Figura 8. Barra de Ferramentas no Modo de Execução Curto-Circuito

A barra de ferramentas e os menus se alteram em função da troca para o Modo de Execução Curto-Circuito. O mesmo ocorre com a aparência da representação gráfica de elementos da rede elétrica e a composição dos diálogos de dados. O exemplo mais claro disso é o transformador de dois enrolamentos, cuja representação gráfica mostra o esquema de ligação. A janela de dados mostra, ainda, dados específicos para estudos de curto-circuito. A Figura 9 mostra a representação gráfica de um transformador para estudos de fluxo de potência e curto-circuito e a Figura 10 mostra a diferença entre os diálogos de dados de transformador para os Modos de Execução Fluxo de Potência e Curto-Circuito. Outra característica importante é a adaptação topológica do diagrama unifilar quando da exibição da seqüência zero, ficando inibidos os ramos não existentes nesta seqüência.

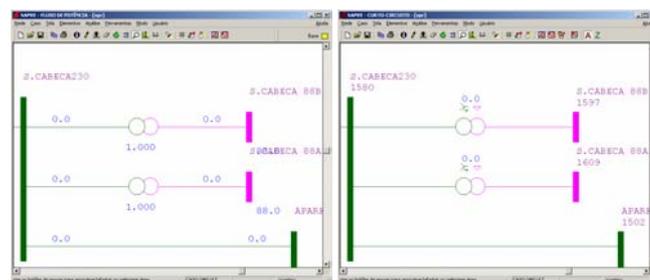


Figura 9. Representação Gráfica de Transformador nos Modos de Execução Fluxo de Potência e Curto-Circuito

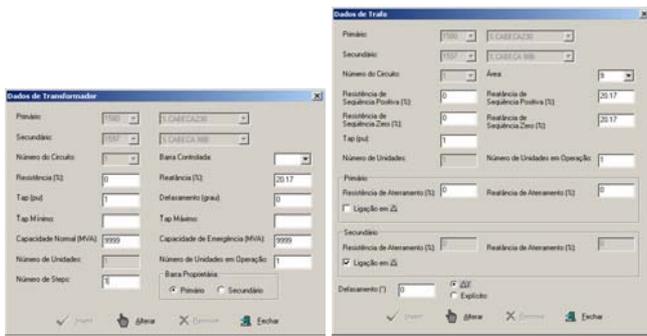


Figura 10. Diálogo de Dados de Transformador nos Modos de Execução Fluxo de Potência e Curto-Circuito

O programa ANAFAS permite a realização de Estudos Individuais (Defeito Shunt, Abertura, Defeito Intermediário e Remoção) e Estudos Macro (Em Barra e Intermediário), com necessidades distintas de visualização de resultados.

A especificação de um Estudo Individual pode ser feita através de menus, tanto para os elementos representados graficamente quanto para aqueles não representados no diagrama unifilar (Figura 11).

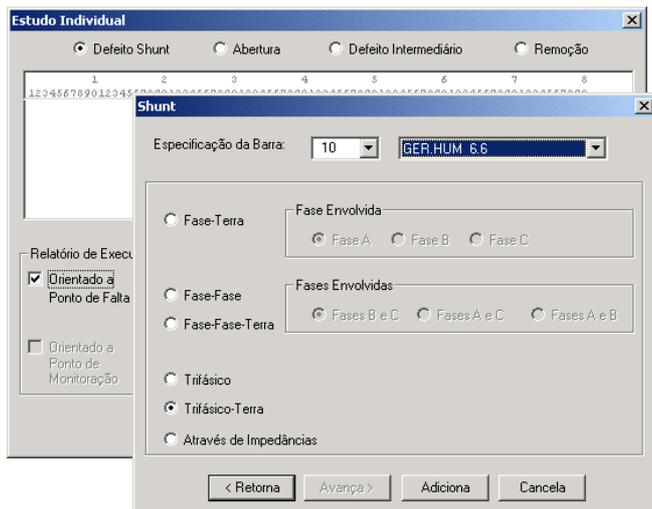


Figura 11. Diálogos de Especificação de Estudo Individual de Curto-Circuito

Se o elemento estiver representado graficamente é possível especificar um defeito shunt (Barra CA), defeito intermediário ou em final de Linha CA e defeito com remoção de componente atuando sobre sua representação gráfica no diagrama unifilar. Neste caso a identificação do elemento é automaticamente preenchida no diálogo e fica inibida para edição.

Uma vez executada a simulação, a falta é representada por um raio vermelho, próximo ao elemento no qual foi aplicada. Este objeto (Figura 12) pode ser movido pelo Usuário e sua legenda é a corrente de curto-circuito.

Clicando com o botão direito do mouse sobre qualquer legenda de resultado, é possível obter o diagrama fasorial da grandeza correspondente, como pode ser visto na Figura 13.

A especificação de um Estudo Macro é necessariamente feita através de janelas de diálogo. O objetivo de um Estudo Macro é simular defeitos em diversos pontos do sistema em uma mesma execução do programa. É possível definir Estudos Macro em Barra e Intermediários. O Estudo Macro

Intermediário permite a aplicação de uma “falta deslizante” ao longo da linha, definindo-se o percentual do comprimento da linha para a aplicação do primeiro defeito, o incremento percentual para a aplicação sucessiva de defeitos e o percentual do comprimento da linha referente ao último defeito a ser aplicado. O diálogo de especificação de Estudo Macro Intermediário pode ser visto na Figura 14.

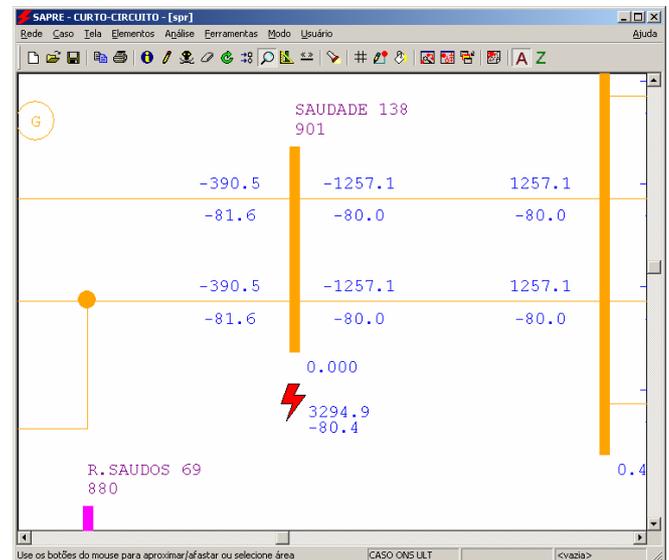


Figura 12. Símbolo de Resultado de Curto-Circuito

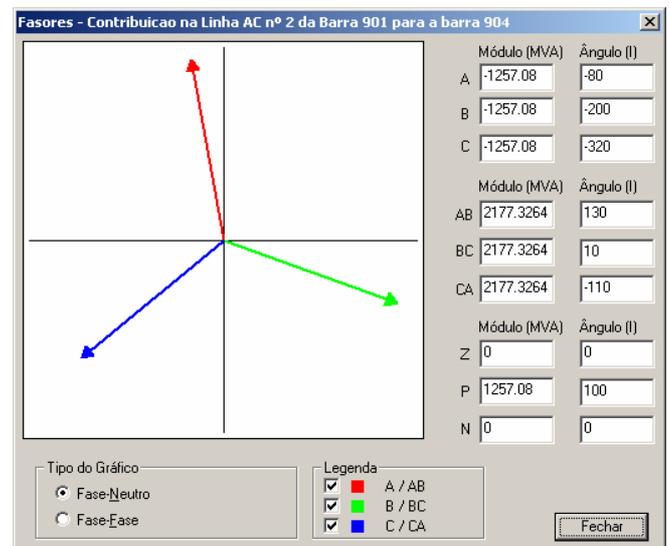


Figura 13. Diagrama Fasorial de uma Grandeza de Curto-Circuito

Uma vez executado um Estudo Macro, os resultados tornam-se disponíveis no SAPRE. Estes resultados são organizados em uma árvore de Casos do Estudo Macro, que pode ser vista na Figura 15. Clicando sobre um caso da árvore, o resultado passa a ser exibido na Área de Trabalho, nos mesmos moldes do que foi descrito para o Estudo Individual, na Figura 12.

Uma característica do programa ANAFAS, transportada para o ambiente SAPRE, é a possibilidade da utilização de Pontos de Monitoração. Um Ponto de Monitoração permite o cálculo automático de grandezas definidas como uma combinação linear de medições de tensão ou corrente, na própria localização do ponto ou em locais remotos. Além disso as grandezas, uma vez calculadas, podem ser

monitoradas através do estabelecimento de limites. Estes limites podem dizer respeito à parte real, imaginária, módulo ou ângulo de fase da grandeza.

(Figura 18), na qual podem ser visualizados os resultados das grandezas e suas respectivas expressões.

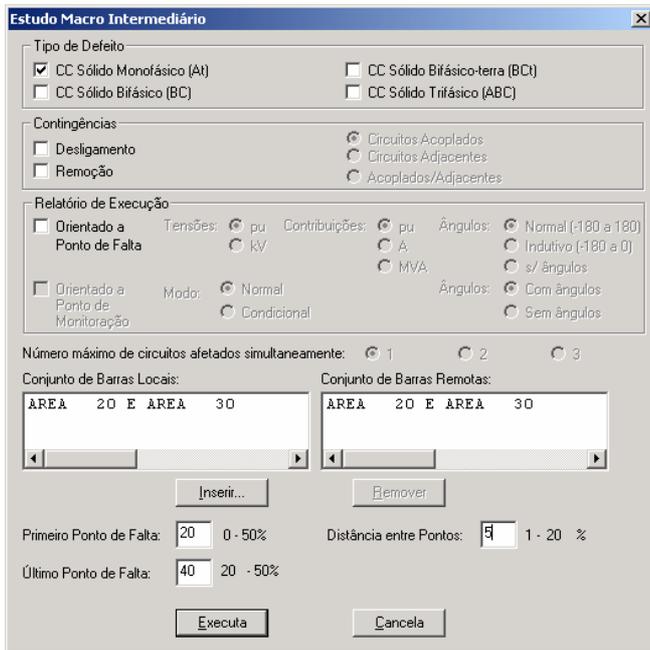


Figura 14. Diálogo de Definição de Estudo Macro Intermediário

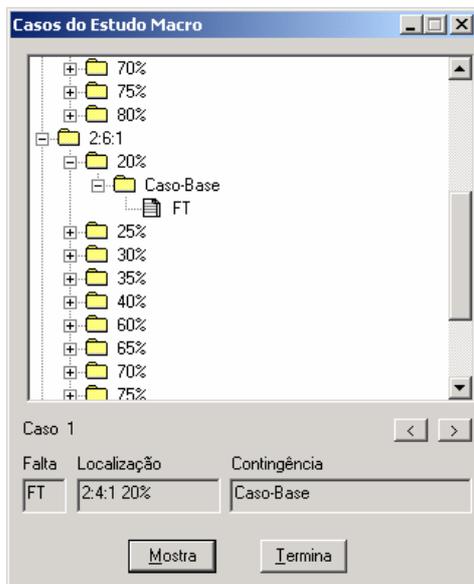


Figura 15. Árvore de Casos de Estudo Macro

A definição de um Ponto de Monitoração e das grandezas a ele associadas é feita através do diálogo visto na Figura 16. No que diz respeito à interface gráfica, um Ponto de Monitoração é representado como um quadrado preto e vazado conectado ao terminal de um circuito. O interior do quadrado é preenchido em vermelho quando passam a existir resultados calculados para o Ponto de Monitoração. Isto ocorrerá sempre que um defeito estiver no raio de observação do Ponto de Monitoração. Na Figura 17 pode-se observar um Ponto de Monitoração para o qual existem resultados em função da aplicação de um defeito em uma barra próxima. Clicando sobre o ponto, o Usuário tem acesso à árvore de resultados das grandezas monitoradas

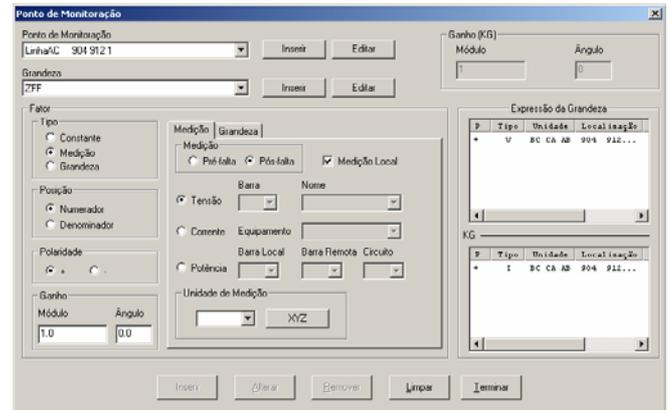


Figura 16. Diálogo de Definição de Grandezas e Pontos de Monitoração

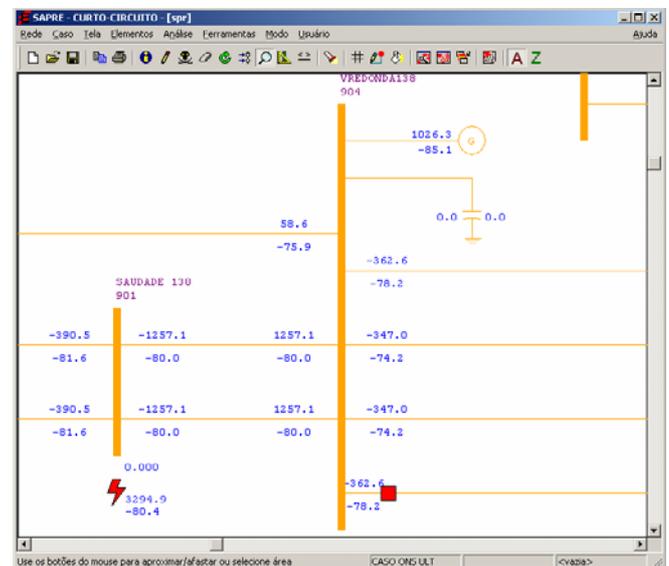


Figura 17. Ponto de Monitoração com Resultados

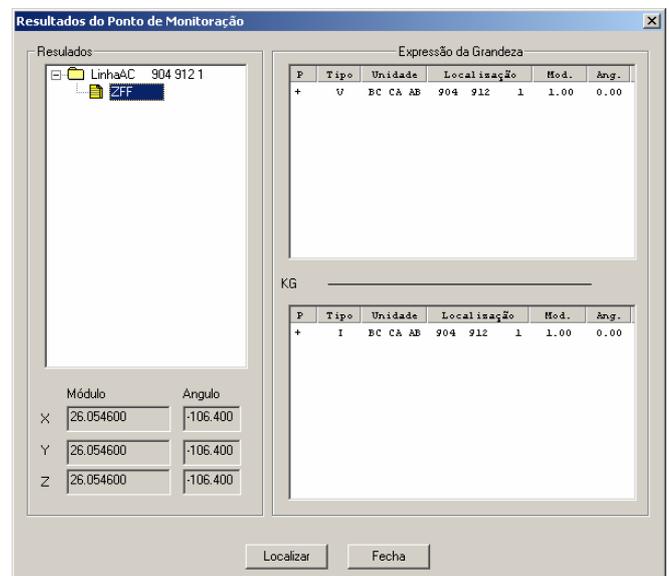


Figura 18. Árvore de Resultados das Grandezas Monitoradas

IV. GERÊNCIA DE DADOS

O ambiente SAPRE é dotado de um conjunto de facilidades para gerência de dados. Grande parte destas facilidades é proporcionada pela inclusão, no próprio modelo de dados básico, dos conceitos de Rede, Caso, Tela e Usuário. Além destes, existe ainda o conceito de Versão de Rede, muito embora o mesmo seja transparente para o Usuário. A definição destes conceitos é dada a seguir:

Rede – É uma agregação de modelos de equipamentos elétricos e suas eventuais representações gráficas, que podem ser utilizadas pelos Usuários para a realização de estudos. O conjunto de dados que representa uma Rede não inclui conceitos tais como barra “slack”, uma vez que esta é um artifício matemático e não encontra correspondência na realidade de campo.

Versão – É o conjunto de modelos de equipamentos elétricos e eventuais representações gráficas adicionados a uma Rede até um determinado instante do tempo. A partir deste instante, continua sendo possível adicionar, alterar e eliminar modelos de equipamentos e representações gráficas, mas estas modificações farão parte de uma outra Versão da mesma Rede.

Caso – Consiste em um conjunto de alterações sobre uma Rede e um conjunto de variáveis de estado, as quais representam um ponto de operação. No limite, a Rede pode não conter qualquer elemento e a rede elétrica em estudo ser completamente representada pelas alterações associadas a uma Rede Vazia. A rigor, um Caso está conectado a uma Versão de uma Rede. O objetivo desta decisão de projeto é garantir, entre outras coisas, a preservação de pontos de operação obtidos para um Caso.

Tela – É uma agregação de representações gráficas de equipamentos elétricos associada a uma Rede. As chaves associadas às representações gráficas baseiam-se sempre nas identificações numéricas das barras. Assim, Telas criadas para uma Rede em um determinado instante do tempo, podem ser utilizadas em Versões futuras da mesma Rede. Além disso, utilizando a Rede Vazia, é possível utilizar Telas feitas para uma Rede em outra, topologicamente semelhante.

Usuário – Identificado por um nome e uma senha, permite a utilização segura de todos os elementos do SAPRE, protegendo os dados contra alterações, sem impedir o acesso de outros usuários a estes dados. Por exemplo, qualquer usuário tem acesso às Redes, Casos e Telas criados por outros usuários. No entanto, apenas o dono de uma Rede, Caso ou Tela pode alterá-los. Se outro Usuário tentar efetuar esta alteração, o máximo que será permitido é salvar a Rede, Caso ou Tela com outro nome.

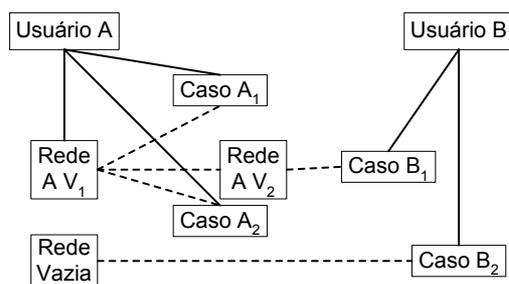


Figura 19. Redes, Casos e Versões

Alguns destes relacionamentos podem ser vistos na Figura 19. O Usuário A é dono da Rede A, a qual possui duas Versões, V₁ e V₂. Os Casos A₁ e A₂ estão ligados à Versão V₁. O Usuário B é dono de dois casos: B₁ e B₂. O Caso B₁ está ligado à Versão V₂ da Rede A e o Caso B₂ está ligado à Rede Vazia.

V. TRABALHOS FUTUROS

Em continuidade aos trabalhos desenvolvidos no âmbito deste projeto, podemos citar algumas atividades que visam incorporar as últimas implementações realizadas no programa ANAFAS ao ambiente SAPRE:

Proteção MOV – Permitirá a visualização de resultados específicos do conjunto compensador série / proteção MOV através de interação sobre o diagrama unifilar. Na versão atual estes resultados já são acessíveis através de relatório.

Abertura Monopolar – Permitirá a visualização gráfica dos modelos Π relativos aos diversos estágios do religamento monopolar. Na versão atual estes resultados já são acessíveis através de relatório.

Modelagem da Proteção – Permitirá a representação dos principais elementos da proteção do sistema na base de dados do SAPRE, de forma integrada com os resultados de curto-circuito. Este desenvolvimento permitirá a realização de estudos de coordenação de proteção envolvendo relés de distância e sobrecorrente.

VI. CONCLUSÃO

O programa ANAFAS dispõe de modernos algoritmos de cálculo faltas simultâneas e funções que permitem a realização de estudos de curto-circuito com grande agilidade. A integração do programa ANAFAS ao ambiente SAPRE agregou valor ao ANAFAS, através da disponibilização de outras facilidades tais como a visualização do defeito e a inspeção das grandezas a ele associadas no próprio diagrama unifilar. A utilização de pontos de monitoração foi particularmente beneficiada pela possibilidade de edição de dados e consulta de resultados através de interação direta com o diagrama unifilar. Os estudos macro ganharam agilidade devido à possibilidade de navegação entre os casos através da árvore de casos.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F.R.M.Alves, C.F.P.Araújo, L.A.C.Pereira e S.P. Roméro, “SAPRE-Sistema de Análise e Projeto de Redes Elétricas-Manual do Usuário”, Cepel, Rio de Janeiro, Brasil, Maio de 2005.
- [2] S.P.Roméro, J.I.Rossi, P.A.David e R.Rosa, “ANAFAS-Análise de Faltas Simultâneas V4.1-Manual do Usuário”, Cepel, Rio de Janeiro, Brasil, Março de 2005.
- [3] F.R..M.Alves, C.H.C.Guimarães, H.J.C.P.Pinto e S.Binato, “ANAREDE- Programa de Análise de Redes V06 03/98-Manual do Usuário”, Cepel, Rio de Janeiro, Brasil, Março de 1998.
- [4] C.Batini, S.Ceri, S.B.Navathe, *Conceptual Database Design: An Entity Relationship Approach*, Addison Wesley Publishing Company, 1991.