

**ESCOLA POLITÉCNICA
DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ENERGIA E
AUTOMAÇÃO ELÉTRICAS



**Interface Gráfica para Base de Dados
de Redes Elétricas**

Rodrigo de Sanctis

PROJETO DE FORMATURA / 2005

**ESCOLA POLITÉCNICA
DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ENERGIA E
AUTOMAÇÃO ELÉTRICAS



PROJETO DE FORMATURA / 2005

**Interface Gráfica para Base de Dados
de Redes Elétricas**

ALUNO: Rodrigo de Sanctis
ORIENTADOR: Carlos Eduardo de Moraes Pereira
COORDENADOR: Lourenço Matakas Jr.

Dedico esta obra à minha família e meus amigos e amigas,
que me mostraram os verdadeiros caminhos da felicidade
e nunca permitiram que eu desistisse dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha família e meus amigos pelo apoio que me concederam durante todo o curso, mesmo nos momentos de maior dificuldade. Agradeço também aos meus mestres por todo o conhecimento passado e ao meu orientador e coordenador pelo modo como me guiaram e me ajudaram a conduzir este trabalho, possibilitando assim alcançar um melhor resultado ao seu término.

RESUMO

Este projeto tem como objetivo principal propiciar, através de um programa de interface gráfica baseado na linguagem Delphi, um modo simples e prático de modelar e montar uma rede elétrica de potência. Essa interface gráfica terá disponível em seu acervo os elementos presentes em uma rede elétrica em forma de ícones e desenhos dos seus símbolos característicos para que seu projeto e sua construção fiquem extremamente simples e amigáveis, chegando até a serem auto-explicativos e possibilitando o uso do programa para qualquer usuário com mínimos conhecimentos da linguagem com que o programa foi construído. Bastará a ele saber conceitos básicos de uma rede de sistema de potência. O projeto tem ainda como propósito ter uma base de dados vinculada a ele para que toda a montagem da rede, feita graficamente, possa ter seus dados e valores salvos e armazenados para que o programa crie, a partir disso, um arquivo de saída, na forma de um arquivo de texto, que contenha todos os dados sobre os componentes que sejam necessários para que esse arquivo possa ser carregado, como um arquivo de entrada, em programas baseados em MS-DOS já existentes e usados para fins didáticos.

ABSTRACT

This project has as main objective to propitiate, through a program of graphic interface based on the Delphi language, a simple and practical way to model and to set up an electric net of potency. That graphic interface will have available in its collection the present elements in an electric net in form of icons and drawings of their characteristic symbols so that its project and its construction are extremely simple and friendly, even being self-explanatory and making possible the use of the program for any user with short knowledge of the language in which the program was built. It will be enough to him to know basic concepts of a power system network. The project still has as purpose to have a base of data linked on it so that the whole assembly of the net, done graphically, can have their data and values saved and stored for the program to create, starting from that, an exit file, in the form of a text file, that contains all the data on the components that are necessary so that that file can be carried, as an entrance file, in programs based on MS-DOS already existent and used for didactic ends.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE SÍMBOLOS

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO	13
2.1	Layout	15
3.	DEFINIÇÕES E EXPLICAÇÕES DOS COMPONENTES E SUAS TABELAS	17
3.1	Gerador	17
3.2	Transformador de 2 enrolamentos	17
3.3	Transformador de 3 enrolamentos	18
3.4	Cargas	19
3.5	Reatores	20
3.6	Capacitores Série	20
3.7	Barras	21
3.8	Linhas	21
3.9	Potência de Base	22
4.	RESULTADOS OBTIDOS	23
4.1	Exemplo 1	24
4.2	Exemplo 2	27
4.3	Exemplo 3	32
5.	CONCLUSÕES	49
6.	ANEXOS	51
7.	ANEXO A – ANAREDE E ANAFAS.....	52
8.	ANEXO B – Especificações das tabelas do ANAREDE e ANAFAS	54
9.	ANEXO C – O que é o DELPHI.....	57
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Fluxograma	14
Figura 2	– Exemplo criado num editor gráfico	15
Figura 3	– Imagem capturada do programa	16
Figura 4	– Rede criada em editor gráfico para o 1º exemplo.....	24
Figura 5	– Rede criada no programa com a interface gráfica para o 1º exemplo	25
Figura 6	– Rede criada em editor gráfico para o 2º exemplo.....	28
Figura 7	– Rede criada no programa com a interface gráfica para o 2º exemplo	29
Figura 8	– Rede criada em editor gráfico para o 3º exemplo	33
Figura 9	– Rede criada no programa com a interface gráfica para o 3º exemplo	34
Figura 10	– Dados da tabela do Anarede	54
Figura 11	– Continuação dos dados da tabela do Anarede	55
Figura 12	– Dados da Tabela do Anafas	56
Figura 13	– Continuação dos dados da Tabela do Anafas	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Tabela de Geradores	17
Tabela 2	– Tabela de Transformadores	18
Tabela 3	– Tabela de Transformadores de 3 enrolamentos	19
Tabela 4	– Tabela de Cargas	20
Tabela 5	– Tabela de Reativos	20
Tabela 6	– Tabela de Capacitores Série	21
Tabela 7	– Tabela de Barras	21
Tabela 8	– Tabela de Linhas	22
Tabela 9	– Tabela da Potência de Base	22
Tabela 10	– Tabela de Linhas para o 1º exemplo	25
Tabela 11	– Tabela de Geradores para o 1º exemplo	25
Tabela 12	– Tabela de Cargas para o 1º exemplo	25
Tabela 13	– Tabela de Reativos para o 1º exemplo	26
Tabela 14	– Tabela de Barras para o 1º exemplo	26
Tabela 15	– Tabela de Transformadores para o 1º exemplo	26
Tabela 16	– Tabela da Potência de Base para o 1º exemplo	26
Tabela 17	– Tabela de Linhas para o 2º exemplo	29
Tabela 18	– Tabela de Geradores para o 2º exemplo	30
Tabela 19	– Tabela de Cargas para o 2º exemplo	30
Tabela 20	– Tabela de Reativos para o 2º exemplo	30
Tabela 21	– Tabela de Barras para o 2º exemplo	30
Tabela 22	– Tabela de Transformadores para o 2º exemplo	30
Tabela 23	– Tabela da Potência de Base para o 2º exemplo	31
Tabela 24	– Tabela de Linhas para o 3º exemplo	34
Tabela 25	– Tabela de Geradores para o 3º exemplo	35
Tabela 26	– Tabela de Cargas para o 3º exemplo	35
Tabela 27	– Tabela de Reativos para o 3º exemplo	35
Tabela 28	– Tabela de Capacitores Série para o 3º exemplo	35
Tabela 29	– Tabela de Barras para o 3º exemplo	35
Tabela 30	– Tabela de Transformadores para o 3º exemplo	36

Tabela 31 – Tabela de Transformadores de 3 enrolamentos para o 3º exemplo	36
Tabela 32 – Tabela da Potência de Base para o 3º exemplo	36

LISTA DE SÍMBOLOS

kV	–	kilovolt, ou 10^3 Volts
V	–	Volt, unidade de medida de tensão
MVA	–	mega volt-Amper, ou 10^6 Volt-Amperes
VA	–	Volt-Amper, unidade de medida de potência aparente
MVAr	–	mega volt-Amper reativo, ou 10^6 Volt-Amperes
VAr	–	Volt-Amper reativo, unidade de medida de potência reativa
MW	–	megawatt, ou 10^6 Watts
W	–	Watt, unidade de medida de potência ativa
Ω /km	–	Ohms por quilômetro
Ω	–	Ohm, unidade de medida de resistência
nF/km	–	nanofarads por quilômetro
nF	–	nanofarad, 10^{-9} Farads
F	–	Farads, unidade de medida de capacitância
delta	–	Modo de ligação de um elemento trifásico
Yat	–	Modo de ligação de um elemento trifásico



INTRODUÇÃO

No curso de Energia e Automação (PEA) da Escola Politécnica, alguns professores utilizam programas de computador para poder, através deles, propiciar ao aluno um modo de aprendizado um pouco diferente do tradicional, ou seja, utilizando o quadro negro ou transparências.

Esse método deve ser utilizado de forma que o aluno possa interagir com a aula e com o assunto a ser estudado e aprendido, visualizando e até mesmo idealizando as mais diversas situações que aquele aplicativo possa proporcionar para que ele veja soluções e situações que, ou não seriam possíveis de se estudar, ou seriam muito mais difíceis de serem aplicadas e calculadas pelos métodos convencionais.

Alguns programas, que possuem essas e outras finalidades, já são utilizados no curso por alguns professores, principalmente nas aulas de laboratório.

Hoje temos alguns programas que tratam da área de Sistemas de Potência. Alguns exemplos são o programa de Fluxo de Potência e Curto-Circuito. Esses programas foram desenvolvidos por professores e alunos para que as matérias fossem melhor mostradas e o conteúdo prático mais facilmente observado e absorvido.

Mas um porém é o fato desses programas serem baseados no MS-DOS. Assim, a sua interface é restringida por muitos pequenos parâmetros e detalhes, o que torna sua utilização menos amigável, mas ainda sim muito importante e proveitosa.

Com isso, o professor da Escola Politécnica Carlos Eduardo de Moraes Pereira teve a idéia de criar uma interface gráfica, baseada em Delphi, que pudesse propiciar ao aluno, ou usuário em geral, um modo mais agradável e amigável de poder montar uma rede de sistema de potência, com todas as vantagens e facilidades que a linguagem Delphi proporciona ao usuário, após o programa estar pronto.

A partir dessa interface gráfica, um banco de dados seria atrelado ao programa, de forma que os dados e parâmetros dos componentes da rede pudessem ser armazenados. Isso seria de suma importância, pois a chance de ter um programa que não só é capaz de montar uma rede gráfica e visualmente, mas também armazenar os dados dos seus componentes é extremamente interessante.



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas
PEA / EPUSP

Finalmente, o programa tem como propósito final ser capaz de gerar um arquivo de saída com os dados da rede planejada e montada, nos moldes e parâmetros dos arquivos de entrada dos outros programas já existentes.

Assim, este seria um arquivo de texto, capaz de ser lido por um programa baseado em MS-DOS, e já formatado nos padrão necessário, para que os programas previamente comentados sejam capazes de fazer todos os cálculos e simulações possíveis.

O intuito é criar esse programa e torná-lo uma ferramenta importante a ser utilizada pelo departamento de Energia e Automação e, conseqüentemente, seus próximos alunos.



METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

Uma das prioridades da interface gráfica, já que se trata de um projeto com propósitos didáticos, é que ela seja amigável e de simples utilização. Assim, aqui será explicado como ela deverá funcionar e o que cada elemento do programa deve fazer, ou ainda como você pode fazer determinada ação.

Na parte superior da tela existe uma barra de ferramentas com todos os componentes disponíveis para a construção da rede elétrica. São eles: gerador, transformador de 2 enrolamentos, transformador de 3 enrolamentos, carga, reativos, barra, linha e capacitor série.

Para criar a rede, deve-se clicar com o mouse na caixa do elemento desejado. Com isso, o formato da seta do mouse será a do elemento escolhido. Em seguida deve-se posicionar o elemento no ponto onde se deseja colocá-lo na tela e clicar com o botão esquerdo para confirmar.

Para selecionar um objeto, basta clicar com o botão esquerdo do mouse sobre ele. Desse modo, ele terá sua cor alterada, ficando vermelho. É possível apagar um objeto selecionado apertando a tecla *delete* do teclado.

Para se mover um objeto, além de clicar no mesmo com o botão esquerdo do mouse, deve-se arrastá-lo para o local desejado segurando o botão esquerdo.

Essas e outras funções, como alinhar todos os objetos numa mesma linha, mover os objetos para cima, para baixo ou para os lados podem ser executadas através do teclado ou de um clique com o botão direito do mouse na tela.

A conexão dos elementos deverá ser feita através da caixa de ligações. Basta clicar em uma extremidade de um elemento e, posteriormente, na extremidade do elemento que será conectado a ele. Com isso uma linha aparecerá na tela, ligando os dois componentes.

Também existe uma caixa com uma seta de reversão que anulará a última ação do usuário, assim como também existe um outra para refazer a última ação.

Ao inserir um componente a linha desse elemento, em sua respectiva tabela, é criada e selecionada. Assim, basta preencher os campos. Nota-se que não é necessário clicar no objeto para se modificar a tabela. Você pode simplesmente selecionar a linha da



tabela que você quer alterar e mudar seus valores. Com isso, o elemento em questão também será selecionado.

As tabelas em questão, citadas há pouco e contendo todos os dados poderão ser visualizadas na parte inferior da tela. As tabelas podem ser selecionadas entre si por um esquema de pastas, como se fosse um grande arquivo.

Com as tabelas salvas, é possível posteriormente dar um comando no programa, que fará com que ele recupere todo o circuito previamente desenhado.

A seguir, pode-se ver uma figura com um fluxograma simplificado. Esse fluxograma foi, inicialmente, usado como base para toda a programação na linguagem Delphi. Em seguida foi escrita uma rotina mais detalhada, mas observando esta figura é possível compreender como o programa se desenvolve.

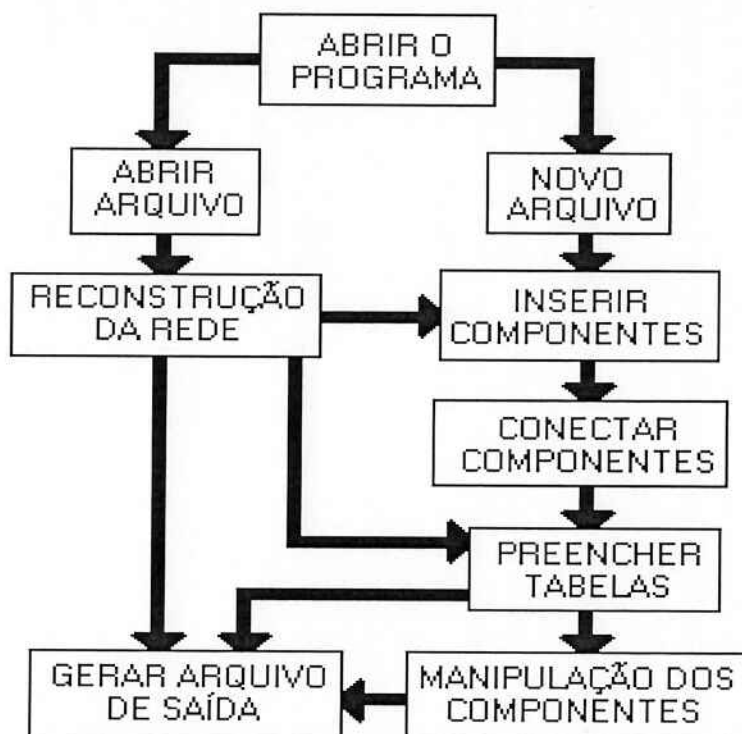


Figura 1
Fluxograma

A partir desse fluxograma e da programação básica, foi iniciado o desenvolvimento visual, ou seja, o rosto ou layout da interface gráfica. Será mostrado, a seguir, uma



figura qualquer criada em um editor gráfico, como base para uma simples comparação da mais simples eficácia e qualificação da interface.

Layout

A seguir, temos um dos desenhos que serviram como exemplo, construído em um editor gráfico e uma imagem capturada do programa, com uma rede criada idêntica ao modelo.

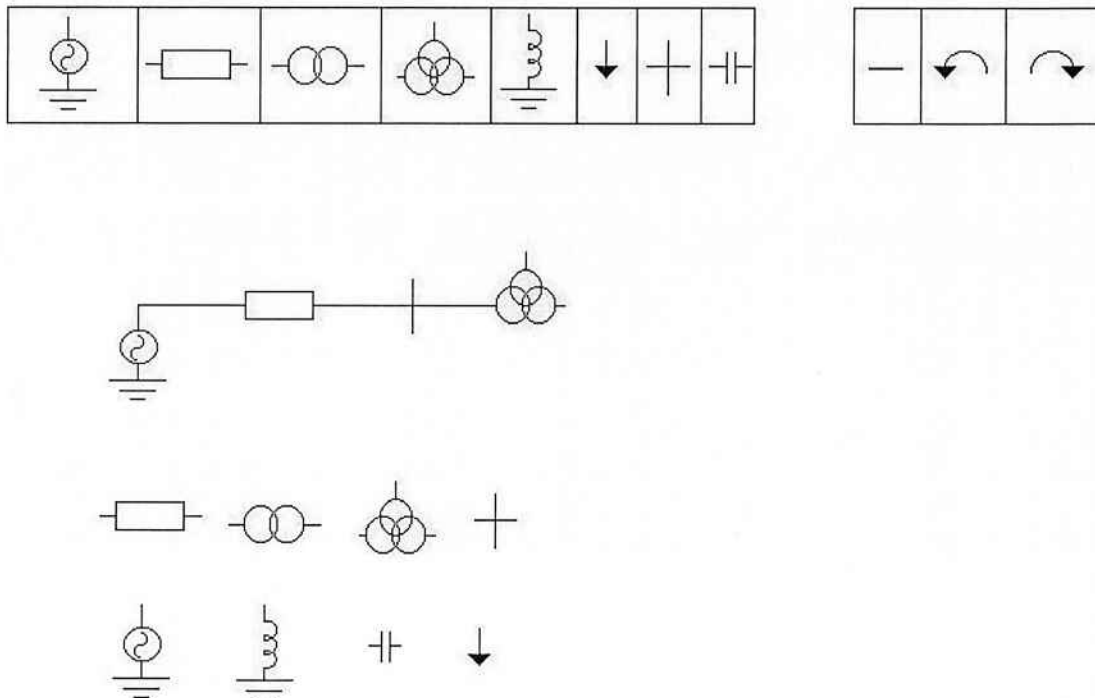


Figura 2

Exemplo criado num editor gráfico

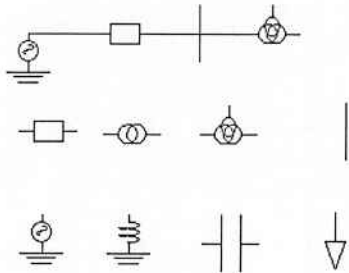
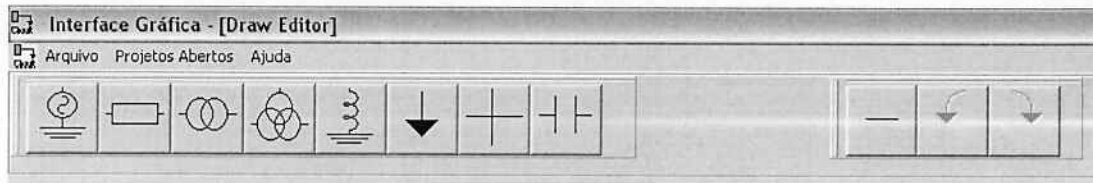


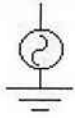
Figura 3

Imagem capturada do programa

Como pode-se notar, a semelhança e o funcionamento do programa foram comprovados.



DEFINIÇÕES E EXPLICAÇÕES DOS COMPONENTES E SUAS TABELAS



Gerador. O gerador é o elemento que alimenta a rede. Ele fornece a tensão que será distribuída e absorvida ao longo da rede elétrica. O gerador também pode funcionar como motor. Nesse caso, ele estaria absorvendo potência da rede.

Nome	–	Nomenclatura genérica do componente
De	–	Barra ligada ao gerador
Vnom	–	Tensão nominal do gerador, em kV
Vpu	–	Tensão do gerador, em pu
Pger	–	Potência gerada pelo gerador, em MVA
Snom	–	Potência nominal do gerador, em MVA
$x''d$	–	Impedância interna, em pu
x/r	–	Relação entre x e r do gerador

Nome	De	Vnom (kV)	Vpu	Pger (MVA)	Snom (MVA)	$x''d$ (pu)	x/r

Tabela 1

Tabela de Geradores



Transformador de 2 enrolamentos. Esse elemento tem o princípio fundamental de, ao receber um certo nível de tensão no seu primário, fornecer no seu secundário um outro valor, para que assim possa atender à novas necessidades. O transformador também isola eletricamente dois lados de uma rede elétrica (com exceção do auto-transformador).

Nome	–	Nomenclatura genérica do componente
De	–	Barra de ligação do primário
Para	–	Barra de ligação do secundário



- VPrim – Tensão do primário do transformador, em kV
 VSec – Tensão do secundário do transformador, em kV
 Lig Prim – Primário em delta ou Yat
 Lig Sec – Secundário em delta ou Yat
 Snom – Potência nominal do transformador, em MVA
 x – Reatância do transformador, em %
 x/r – Relação entre x e r do transformador
 Zter Prim – Impedância de aterramento no primário, em Ω
 Zter Sec – Impedância de aterramento no primário, em Ω

Nome	De	Para	V Prim (kV)	V Sec (kV)	Ligaçã o Prim (delta/ Yat)	Ligaçã o Sec (delta/ Yat)	Snom (MVA)	x (%)	x/r	Z Terra Prim (Ω)	Z Terra Sec (Ω)

Tabela 2

Tabela de Transformadores



Transformador de 3 enrolamentos. Segue o mesmo princípio de um transformador normal, mas este, além de fornecer um diferente nível de tensão no terciário, também, exatamente por causa da presença do terciário (ligação em delta), diminui as componentes harmônicas de terceira ordem da rede elétrica.

- Nome – Nomenclatura genérica do componente
 De – Barra de ligação do primário
 Para – Barra de ligação do secundário
 Para – Barra de ligação do terciário
 Bar FIC – Barra fictícia criada para modelagem
 VPrim – Tensão do primário do transformador em kV
 VSec – Tensão do secundário do transformador em kV
 VTer – Tensão do terciário do transformador, em kV
 Lig Prim – Primário em delta ou Yat



- Lig Sec – Secundário em delta ou Yat
 Lig Ter – Terceário em delta ou Yat
 Snom – Potência nominal do transformador, em MVA
 xps – Reatância entre o primário e secundário, em %
 xpt – Reatância entre o primário e terceiro, em %
 xst – Reatância entre o secundário e terceiro, em %
 x/r – Relação entre x e r do transformador
 Zter Prim – Impedância de aterramento no primário, em Ω
 Zter Sec – Impedância de aterramento no primário, em Ω
 Zter Ter – Impedância de aterramento no primário, em Ω

No me	De (Pri m)	Par a (Séc)	Par a (Ter)	Bar ra FIC	V Pri m (kV)	V Sec (kV)	V Ter (kV)	Liga ção Pri m (delt a/Ya t)	Liga ção Sec (delt a/Ya t)	Liga ção Ter (delt a/Ya t)	Sno m (MV A)	xps (%)	xpt (%)	xst (%)	x/r	Z Terr a Pri m (Ω)	Z Terr a Sec (Ω)	Z Terr a Ter (Ω)

Tabela 3

Tabela de Transformadores de 3 enrolamentos

↓ **Carga.** A carga é um elemento adicionado à rede que irá absorver potência da mesma. Este elemento pode ser de natureza resistiva e/ou indutiva ou capacitiva ou mista.

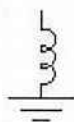
- De – Barra ligada à carga
 P – Potência ativa da carga, em MW
 Q – Potência reativa da carga, em MVA_r



<i>De</i>	<i>P (MW)</i>	<i>Q (MVar)</i>

Tabela 4

Tabela de Cargas



Reativos. Elementos capacitivos ou indutivos, colocados entre uma barra e o terra do circuito, alterando o fluxo de potência reativa e o fator de potência.

- De – Barra ligada ao reativo
 Vnom – Tensão nominal do reativo, em kV
 Q – Potência reativa do reativo, em MVar

<i>De</i>	<i>Vnom (kV)</i>	<i>Q (MVar)</i>

Tabela 5

Tabela de Reativos



Capacitor série. Um capacitor ligado diretamente à linha para ajustar sua impedância.


- Nome – Nomenclatura genérica do componente
 De – Barra de origem do capacitor
 Para – Barra de destino do capacitor
 V – Tensão do capacitor, em kV
 Q – Potência reativa do capacitor, em MVar



<i>Nome</i>	<i>De</i>	<i>Para</i>	<i>V (kV)</i>	<i>Q (MVar)</i>

Tabela 6

Tabela de Capacitores Série


 **Barra.** Uma barra é um ponto de divisão do circuito, com um determinado valor de tensão nominal, usado como referência. É neste ponto que são alocadas as cargas, reatores ou banco de capacitores.

- Número – Numeração das barras
 Nome – Nomenclatura genérica do componente
 Vnom – Tensão nominal da barra, em kV

<i>Número</i>	<i>Nome</i>	<i>Vnom (kV)</i>

Tabela 7

Tabela de Barras

 **Linha.** A linha é um trecho de um sistema de distribuição de energia elétrica feita por um cabo de força. Ela se inicia e termina sempre em uma barra.

- De – Nomenclatura genérica do componente
 Para – Barra ligada ao gerador
 Nc – Número do circuito (paralelismo)
 r0 – Resistência da sequência zero, em Ω/km
 x0 – Reatância da sequência zero, em Ω/km
 c0 – Capacitância da sequência zero, em nF/km
 r1 – Resistência da sequência positiva, em Ω/km
 x1 – Reatância da sequência positiva, em Ω/km



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
 Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas
 PEA / EPUSP

$c1$ – Capacitância da sequência positiva, em nF/km

Compr – Comprimento da linha, em km

<i>De</i>	<i>Para</i>	<i>Nc</i>	<i>r0</i> (Ω/km)	<i>x0</i> (Ω/km)	<i>c0</i> (nF/km)	<i>r1</i> (Ω/km)	<i>x1</i> (Ω/km)	<i>c1</i> (nF/km)	<i>Compr</i> (km)

Tabela 8

Tabela de Linhas

Potência de Base. Valor previamente definido para uma determinada rede elétrica, no estudo de um sistema de potência, que serve de base para todos os cálculos onde há conversão de unidades para valores em pu.

<i>Sbase (MVA)</i>

Tabela 9

Tabela da Potência de Base



RESULTADOS OBTIDOS

Aqui serão mostrados os resultados obtidos através desse projeto, utilizando-se a interface gráfica. Para tanto, é necessário que se observe, primeiramente, o desempenho da interface propriamente dita, ou seja, o modo como ela consegue criar uma rede elétrica, copiando um modelo feito à mão ou, como mostrado a seguir, através de um editor gráfico.

Em seguida, poderão ser observados exemplos de valores referentes aos dados que devem ser inseridos nas respectivas tabelas referentes aos elementos em questão. Vale salientar que, apesar de serem valores razoáveis e condizentes com a realidade, eles foram apenas sugeridos, como parte do exemplo, podendo ser modificados à vontade. O programa, inclusive, funcionaria normalmente com valores completamente absurdos e fora da realidade, oferecendo, porém, resultados completamente fora da realidade.

E, finalmente, serão mostrados os arquivos de saída que a interface irá gerar, para servir como arquivos de entrada contendo as informações necessárias para a utilização do programa de fluxo de potência (ANAREDE) e o programa de curto-circuito (ANAFAS), já existentes e utilizados na universidade pelos professores.

Foram assim, selecionados três exemplos de rede para serem mostrados aqui, juntamente com seus respectivos resultados.

Os desenhos são auto-explicativos, merecendo apenas comentários antes de sua exibição. As tabelas já foram previamente mostradas e explicadas, portanto, também receberão apenas breves comentários. Já os arquivos de saída serão mostrados nos primeiros exemplos com curtos comentários e receberão uma completa definição e explicação no último exemplo, onde há uma rede completa e com todos os elementos disponíveis. Desse modo, não restarão dúvidas quanto a qualquer item desses arquivos. E, para qualquer curiosidade, poderá ser observada, no Anexo C, mais informações sobre a composição dessas tabelas.



Exemplo 1

Este primeiro exemplo mostra uma rede elétrica extremamente simples, contendo um gerador, um transformador, uma linha, uma carga e um elemento reativo.

A idéia deste exemplo é mostrar e, eventualmente, servir como teste inicial do programa, mostrando seus resultados para posterior comparação e comprovação de sua eficácia.

Vemos a seguir a rede que serve de base para esse exemplo. Esta primeira figura mostra a rede criada em um editor gráfico. A numeração sobre as barras é puramente ilustrativa, facilitando talvez o entendimento dos resultados para quem não esteja utilizando o programa.

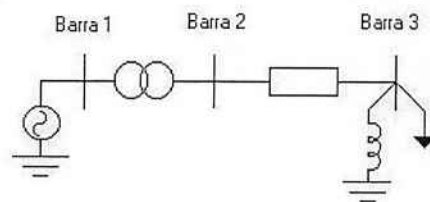
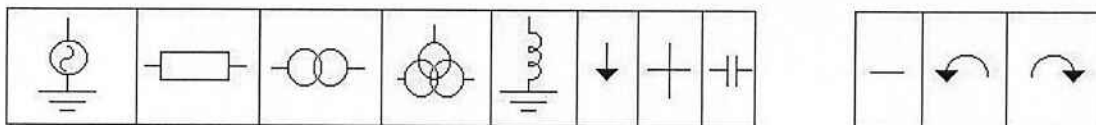


Figura 4

Rede criada em editor gráfico para o 1º exemplo

Agora mostramos a mesma rede, criada no programa através da interface gráfica. Pode-se notar a grande equivalência entre os desenhos.

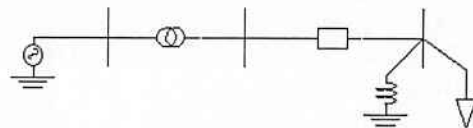
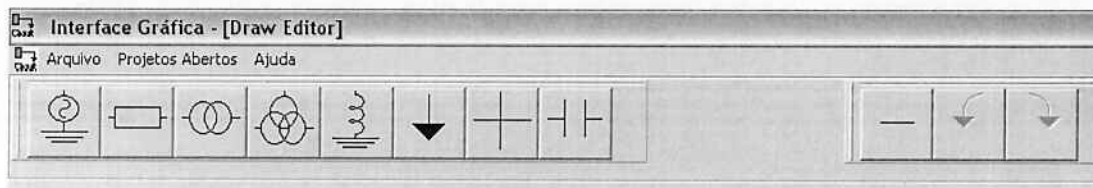


Figura 5

Rede criada no programa com a interface gráfica para o 1º exemplo

Agora mostraremos as tabelas referentes aos elementos presentes na rede. Como esta é uma rede com pequenas dimensões, não estarão presentes todas as tabelas, assim como elas terão poucas linhas.

A seguir podemos vê-las, verificando os valores escolhidos para esse exemplo.

<i>De</i>	<i>Para</i>	<i>Nc</i>	<i>r0</i> (Ω/km)	<i>x0</i> (Ω/km)	<i>c0</i> (nF/km)	<i>r1</i> (Ω/km)	<i>x1</i> (Ω/km)	<i>c1</i> (nF/km)	<i>Compr</i> (<i>km</i>)
2	3	1	0.5	0.90	9.0	0.03	0.4	12.00	50

Tabela 10

Tabela de Linhas para o 1º exemplo

<i>Nome</i>	<i>De</i>	<i>Vnom (kV)</i>	<i>Vpu</i>	<i>Pger (MVA)</i>	<i>Snom (MVA)</i>	<i>x''d (pu)</i>	<i>x/r</i>
G1	1	15	1	500	600	0.20	100

Tabela 11

Tabela de Geradores para o 1º exemplo

<i>De</i>	<i>P (MW)</i>	<i>Q (MVar)</i>
3	250	50

Tabela 12

Tabela de Cargas para o 1º exemplo



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas
PEA / EPUSP

<i>De</i>	<i>Vnom (kV)</i>	<i>Q (MVar)</i>
3	400	-60

Tabela 13

Tabela de Reativos para o 1º exemplo

<i>Número</i>	<i>Nome</i>	<i>Vnom (kV)</i>
1	Barra_1	15
2	Barra_2	400
3	Barra_3	400

Tabela 14

Tabela de Barras para o 1º exemplo

<i>Nome</i>	<i>De</i>	<i>Para</i>	<i>V Prim (kV)</i>	<i>V Sec (kV)</i>	<i>Ligaçã o Prim (delta/ Yat)</i>	<i>Ligaçã o Sec (delta/ Yat)</i>	<i>Snom (MVA)</i>	<i>x (%)</i>	<i>x/r</i>	<i>Z Terra Prim (Ω)</i>	<i>Z Terra Sec (Ω)</i>
T1	1	2	15	400	delta	Yat	600	12	100	0	0

Tabela 15

Tabela de Transformadores para o 1º exemplo

<i>Sbase (MVA)</i>
100

Tabela 16

Tabela da Potência de Base para o 1º exemplo

E, finalmente, mostraremos agora, para este exemplo, os arquivos de saída gerados pelo programa. Cada arquivo contém duas tabelas, que são mostradas a seguir.

Arquivo ANAREDE (fluxo)

DBAR

```
(No) O TB( nome )G( V)( A)( Pg)( Qg)( Qn)( Qm)( Bc)( Pl)( Ql)( Sh)( A(Vf)
  1  1 Barra_1  1.00  500.
  2  Barra_2
  3  Barra_3  250.  50.
9999
```



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas
PEA / EPUSP

DLIN

```
(De) O (Pa) NcEP ( R% ) ( X% ) (Mvar) (Tap) (Tmn) (Tmx) (Phs) ( Bc) (Cn) (Ce)Ns
  2      3 1 .09375 1.2536.192
  1      2 1          2.          1.
9999
```

Arquivo ANAFAS (curto)

38

```
(NB C M BN VBAS IA
  1 Barra_1 15 1
  2 Barra_2 400 1
  3 Barra_3 400 1
9999
```

37

```
(BF C BT NC T R1 X1 R0 X0 CN IADEF KM
  2 3 .09375 1.251.56252.8125
  1 2 2. 99999.
  2 99999. 2.
  3 166.67 166.67
  1 3.3333 3.3333
9999
```

Exemplo 2

Este segundo exemplo mostra, diferentemente do primeiro, uma rede elétrica muito mais complexa, com um número razoável de barras, linhas, cargas e elementos em geral.

Assim, através deste exemplo podemos checar a real capacidade do programa e da interface, fazer uma comparação mais precisa dos resultados e mostrar um pouco a maior complexidade das tabelas e dos arquivos de saída.

Vemos a seguir a rede que serve de base para esse exemplo. Esta primeira figura mostra a rede criada em um editor gráfico. Novamente, como no exemplo anterior,



temos as barras e alguns elementos numerados e indicados, de maneira meramente ilustrativa e para facilitar o entendimento dos resultados.

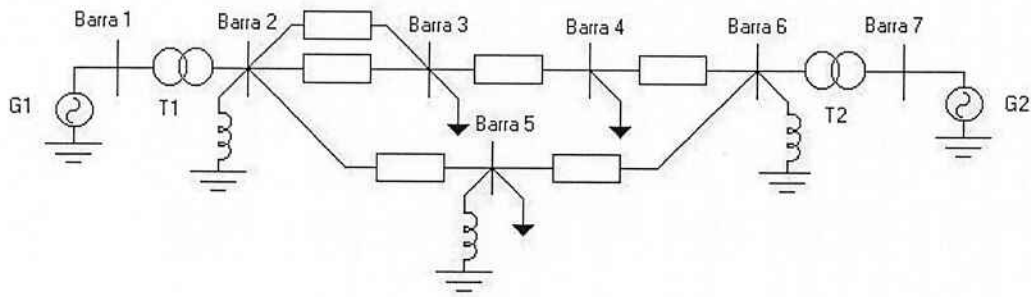
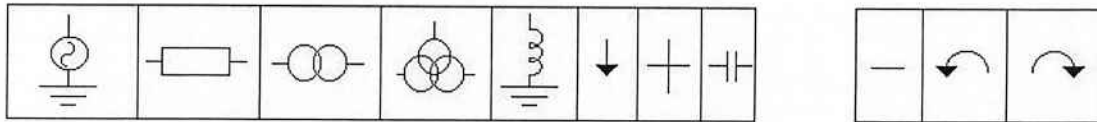


Figura 6

Rede criada em editor gráfico para o 2º exemplo

Agora mostramos a mesma rede, criada no programa através da interface gráfica. Pode-se, novamente, notar a grande equivalência entre os desenhos, apesar da maior dificuldade presente por causa da complexidade da rede.

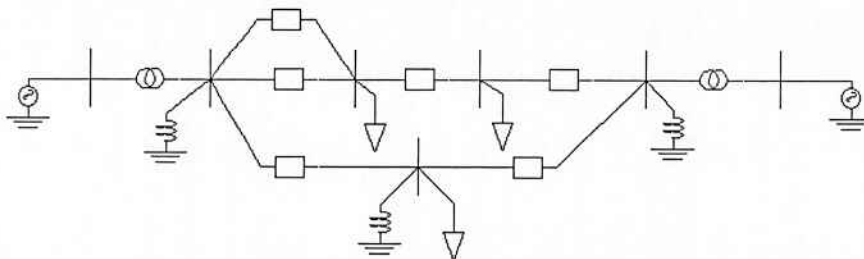
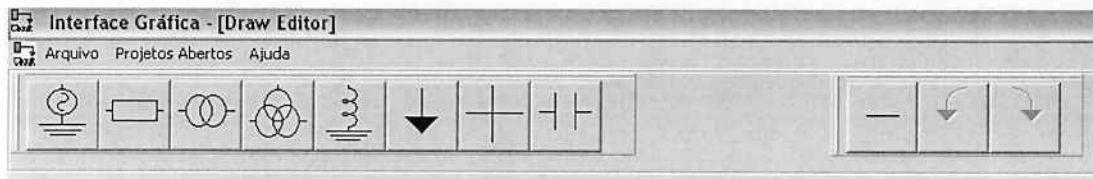


Figura 7

Rede criada no programa com a interface gráfica para o 2º exemplo

Agora mostraremos as tabelas referentes aos elementos presentes nessa rede. Diferentemente do exemplo anterior, pode-se notar um maior número de tabelas e também de linhas nas mesmas.

A seguir podemos vê-las, verificando os valores escolhidos para esse exemplo, diferentes, em sua grande maioria, dos do exemplo anterior.

<i>De</i>	<i>Para</i>	<i>Nc</i>	<i>r0</i> (Ω/km)	<i>x0</i> (Ω/km)	<i>c0</i> (nF/km)	<i>r1</i> (Ω/km)	<i>x1</i> (Ω/km)	<i>c1</i> (nF/km)	<i>Compr</i> (km)
2	3	1	0.4	0.97	9.1	0.02	0.33	13.49	30
2	3	2	0.5	0.99	8.7	0.03	0.41	12.3	50
2	5	1	0.4	0.97	9.1	0.02	0.33	13.49	80
3	4	1	0.4	0.97	9.1	0.02	0.33	13.49	80
4	6	1	0.4	0.97	9.1	0.02	0.33	13.49	100
5	6	1	0.4	0.97	9.1	0.02	0.33	13.49	160

Tabela 17

Tabela de Linhas para o 2º exemplo



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
 Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas
 PEA / EPUSP

Nome	De	V_{nom} (kV)	V_{pu}	P_{ger} (MVA)	S_{nom} (MVA)	$x''d$ (pu)	x/r
G1	1	20	1	600	800	0.25	100
G2	7	20	1	400	600	0.25	100

Tabela 18

Tabela de Geradores para o 2º exemplo

De	P (MW)	Q (MVar)
3	300	50
4	300	50
5	300	50

Tabela 19

Tabela de Cargas para o 2º exemplo

De	V_{nom} (kV)	Q (MVar)
2	500	50
5	500	50
6	500	-50

Tabela 20

Tabela de Reativos para o 2º exemplo

Número	Nome	V_{nom} (kV)
1	Barra_1	20
2	Barra_2	500
3	Barra_3	500
4	Barra_4	500
5	Barra_5	500
6	Barra_6	500
7	Barra_7	20

Tabela 21

Tabela de Barras para o 2º exemplo

Nome	De	Para	V_{Prim} (kV)	V_{Sec} (kV)	Ligaçã o Prim (delta/ Yat)	Ligaçã o Sec (delta/ Yat)	S_{nom} (MVA)	x (%)	x/r	Z Terra Prim (Ω)	Z Terra Sec (Ω)
T1	1	2	20	500	Yat	delta	800	12	100	0	0
T2	6	7	500	20	delta	Yat	600	12	100	0	10

Tabela 22

Tabela de Transformadores para o 2º exemplo



Arquivo ANAFAS (curto)

38

(NB	C	M	BN	VBAS	IA
1			Barra_1	20	1
2			Barra_2	500	1
3			Barra_3	500	1
4			Barra_4	500	1
5			Barra_5	500	1
6			Barra_6	500	1
7			Barra_7	20	1

9999

37

(BF	C	BT	NC	T	R1	X1	R0	X0	CN	IADEF	KM
2		3			.024	.396	.48	1.164			
2		3			.06	.82	1.1	1.98			
2		5			.08	.0132	1.6	3.88			
3		4			.064	1.056	1.28	3.104			
4		6			.064	1.056	1.28	3.104			
5		6			.128	2.112	2.56	6.208			
1		2				1.5		99999.			
1						99999.		1.5			
6		7				1.5		99999.			
7						99999.		251.5			
2						200.		200.			
5						200.		200.			
6						200.		200.			
1						3.125		3.125			
7						4.1667		4.1667			

9999

Exemplo 3

Este último exemplo mostra uma rede muito parecida com a do exemplo anterior. As principais mudanças foram as inserções do transformador de 3 enrolamentos e do capacitor série no circuito. Isso foi feito com o intuito de realizar um teste no programa que exigisse todos os recursos possíveis, se não em extensão ao menos em dificuldade, da interface gráfica e da geração dos arquivos de saída.



Vemos a seguir a rede que serve de base para esse exemplo. Como nos outros exemplos, esta primeira figura mostra a rede criada em um editor gráfico, com as barras e alguns elementos numerados e indicados, de maneira meramente ilustrativa e para facilitar o entendimento dos resultados. Como comentado, neste exemplo todos os elementos disponíveis estão presentes.

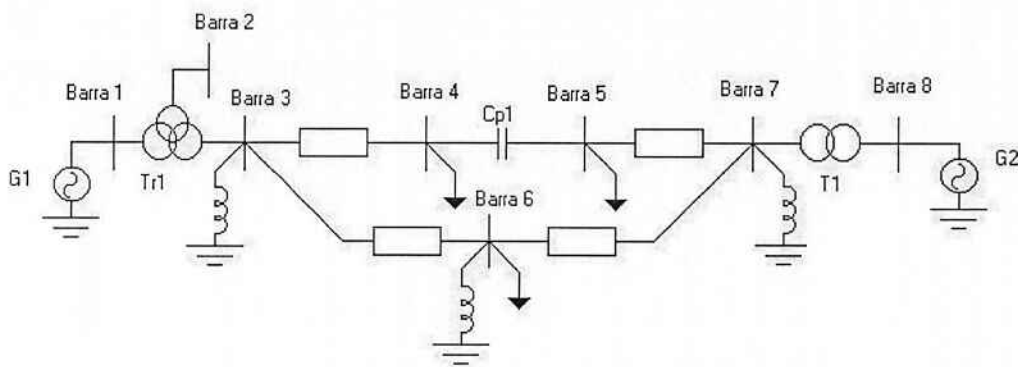
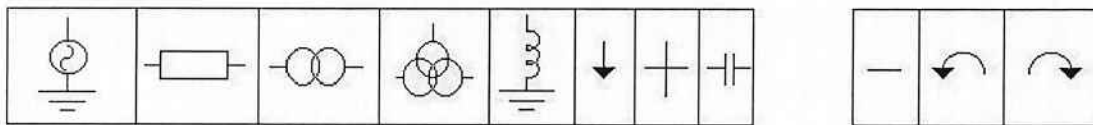


Figura 8

Rede criada em editor gráfico para o 3º exemplo

Agora mostramos a mesma rede, criada no programa através da interface gráfica. Pode-se, novamente, notar a grande equivalência entre os desenhos, já com todos os elementos possíveis presentes.



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas
PEA / EPUSP

Nome	De	Vnom (kV)	Vpu	Pger (MVA)	Snom (MVA)	x''d (pu)	x/r
G1	1	25	1	500	600	0.2	100
G2	8	25	1	300	400	0.2	100

Tabela 25

Tabela de Geradores para o 3º exemplo

De	P (MW)	Q (MVar)
4	200	40
5	200	40
6	200	40

Tabela 26

Tabela de Cargas para o 3º exemplo

De	Vnom (kV)	Q (MVar)
3	300	60
6	300	-60
7	300	60

Tabela 27

Tabela de Reativos para o 3º exemplo

Nome	De	Para	V (kV)	Q (MVar)
Cp1	4	5	300	50

Tabela 28

Tabela de Capacitores Série para o 3º exemplo

Número	Nome	Vnom (kV)
1	Barra_1	25
2	Barra_2	15
3	Barra_3	300
4	Barra_4	300
5	Barra_5	300
6	Barra_6	300
7	Barra_7	300
8	Barra_8	25

Tabela 29

Tabela de Barras para o 3º exemplo



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
 Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas
 PEA / EPUSP

Nome	De	Para	V Prim (kV)	V Sec (kV)	Ligaçã o Prim (delta/ Yat)	Ligaçã o Sec (delta/ Yat)	Snom (MVA)	x (%)	x/r	Z Terra Prim (Ω)	Z Terra Sec (Ω)
T1	7	8	300	25	Yat	Yat	400	10	100	10	0

Tabela 30

Tabela de Transformadores para o 3° exemplo

Nom e	De (Pri m)	Para (Sec)	Para (Ter)	Barr a FIC	V Prim (kV)	V Sec (kV)	V Ter (kV)	Liga ção Prim (delt a/Yat)	Liga ção Sec (delt a/Yat)	Liga ção Ter (delt a/Yat)	Sno m (MV A)	xps (%)	xpt (%)	xst (%)	x/r	Z Terra a Prim (Ω)	Z Terra a Sec (Ω)	Z Terra a Ter (Ω)
Tr1	1	3	2	9	25	300	15	Yat	Yat	delt a	600	8	25	15	100	10	0	0

Tabela 31

Tabela de Transformadores de 3 enrolamentos para o 3° exemplo

Sbase (MVA)
100

Tabela 32

Tabela da Potência de Base para o 3° exemplo

Agora mostraremos os arquivos de saída gerados pelo programa. Da mesma forma como foi mostrado antes, cada arquivo contém duas tabelas.

Neste exemplo, como foi citado no início dos resultados obtidos, além de mostrarmos os resultados, os mesmo serão comentados.

Isso é muito importante para que se possa entender como são calculados, tanto manualmente quanto pelo programa, os valores em cada campo. Aqui também será mostrada a formatação da tabela, extremamente importante para a compatibilidade com os outros programas.

Para maiores detalhes sobre essas tabelas, verificar os dados contidos no Anexo C.

Legenda:

- = Cada unidade equivale a um caracter dessa coluna
- Idem anterior. Usado para diferenciar colunas adjacentes
- / Cada unidade equivale a um espaço entre duas colunas



- Vf – 1. em todas as linhas

OBS: Todas as colunas são alinhadas à direita, com exceção da (Nome) que é alinhada à esquerda.

DLIN

(De) O (Pa)NcEP (R%) (X%) (Mvar) (Tap) (Tmn) (Tmx) (Phs) (Bc) (Cn) (Ce)Ns

====/-//=====/
=====

3	4	1	.00667	2.43.430	
3	6	1	.13333	4.43.430	
5	7	1	.10667	3.243.430	
6	7	1	.10667	3.243.430	
1	3	1		10.	1.
7	8	1		2.5	1.
4	5	1		150.	

9999

- De – Cópia das colunas “De” da “Tabela de Linhas”, da “Tabela de Transformadores” e da “Tabela de Capacitores Série”
- Pa – Cópia das colunas “Para” da “Tabela de Linhas”, da “Tabela de Transformadores” e da “Tabela de Capacitores Série”, respeitando a ordem da coluna (De)
- Nc – Cópia da colunas “Nc” da “Tabela de Linhas”. Colocar 1 para linhas onde o (De) se refere à “Tabela de Transformadores” ou à “Tabela de Capacitores Série”
- R% – Preencher somente para as linhas onde o (De) se refere à “Tabela de Linhas”, com a seguinte conta:

Valor da coluna “r1” da “Tabela de Linhas”, multiplicado pelo valor da coluna “Compr” da “Tabela de Linhas”, multiplicado por 100, multiplicado pelo valor do “Sbase” da “Tabela de Potência de Base”, dividido pelo quadrado do valor da coluna “Vnom” da “Tabela de Barras”, cujo (Número) corresponde ao (De) da linha em questão



➤ Exemplificando:
$$\frac{[r1] \times [Compr] \times 100 \times [Sbase]}{[Vnom]^2}$$

- X% – Para os casos onde o (De) se refere à “Tabela de Linhas”, a conta é a mesma do (R%), alterando-se apenas o valor da coluna “r1” pelo da coluna “x1” na “Tabela de Linhas”:

➤ Exemplificando:
$$\frac{[x1] \times [Compr] \times 100 \times [Sbase]}{[Vnom]^2}$$

- Para os casos onde o (De) se refere à “Tabela de Transformadores”, a conta é a seguinte:

Valor da coluna “x%” da “Tabela de Transformadores”, multiplicado pelo valor do “Sbase” da “Tabela de Potência de Base”, dividido pelo valor da coluna “Snom” da “Tabela de Transformadores”

➤ Exemplificando:
$$\frac{[x\%] \times [Sbase]}{[Snom]}$$

- Para os casos onde o (De) se refere à “Tabela de Capacitores Série”, a conta é a seguinte:

Valor da coluna “Q” da “Tabela de Capacitores Série”, multiplicado por 300, dividido pelo valor do “Sbase” da “Tabela de Potência de Base”

➤ Exemplificando:
$$\frac{[Q] \times 300}{[Snom]}$$

- MVAR – Preencher somente para as linhas onde o (De) se refere à “Tabela de Linhas”, com a seguinte conta:



Valor da coluna “c1” da “Tabela de Linhas”, multiplicado pelo valor da coluna “Compr” da “Tabela de Linhas”, multiplicado por 377, multiplicado pelo quadrado do valor da coluna “Vnom” da “Tabela de Barras”, cujo (Número) corresponde ao (De) da linha em questão, dividido por 1000000000 (um bilhão)

➤ Exemplificando:
$$\frac{[c1] \times [Compr] \times 377 \times [Vnom]^2}{10^9}$$

- Tap – Colocar 1. para as linhas onde o (De) se refere à “Tabela de Transformadores”

OBS: Todas as colunas são alinhadas à direita

Arquivo ANAFAS (curto)

```

38
(NB  C M      BN                VBAS                                IA
----/--/--
1      Barra_1                25                                1
2      Barra_2                15                                1
3      Barra_3                300                               1
4      Barra_4                300                               1
5      Barra_5                300                               1
6      Barra_6                300                               1
7      Barra_7                300                               1
8      Barra_8                25                                1
9999

```

- NB – Cópia da coluna “Número” da “Tabela de Barras”
- BN – Cópia da coluna “Nome” da “Tabela de Barras”
- VBAS – Cópia da coluna “Vnom” da “Tabela de Barras”
- IA – 1 em todas as linhas



OBS: Todas as colunas são alinhadas à direita, com exceção da (NB) que é alinhada à esquerda

37

(BF	C	BT	NC	T	R1	X1	RO	X0	CN	IADEF	KM
3		4			.00667	2.1.6667	10.222				
3		6			.13333	4.3.3333	5.1111				
5		7			.10667	3.22.6667	8.1778				
6		7			.10667	3.22.6667	8.1778				
1		9				9.	489.				
2		9				1.	99999.				
3		9				16.	1.				
9						99999.	1.				
7		8				2.5	99999.				
7						99999.	3.6111				
8						99999.	2.5				
4		5				150.	150.				
3						166.67	166.67				
6						166.67	166.67				
7						166.67	166.67				
1						5.	5.				
8						3.3333	3.3333				

9999

- BF – Cópia das colunas “De” da “Tabela de Linhas”, da “Tabela de Transformadores”, da “Tabela de Capacitores Série”, da “Tabela de Reatores” e da “Tabela de Geradores”. Adicionar linhas para o caso da opção *Yat* na “Ligação Prim” ou “Ligação Sec” da “Tabela de Transformadores” estar selecionada (uma linha para cada ocorrência) sendo o novo (BF) o “De” para o caso da “Ligação Prim” e o “Para”, no caso da “Ligação Sec”. Adicionar linhas também para o caso da opção *delta* estar selecionada na “Ligação Prim”, “Ligação Sec” ou “Ligação Ter” da “Tabela de Transformadores 3 enrolamentos” (uma linha para cada ocorrência), sendo o novo (BF) o “Barra FIC” da “Tabela de Transformadores de 3 enrolamentos”.
- BT – Cópia das colunas “Para” da “Tabela de Linhas”, da “Tabela de Transformadores” e da “Tabela de Capacitores Série”, respeitando a ordem da coluna (De). Para as linhas correspondentes à “Tabela de Transformadores 3 enrolamentos”, cópia da coluna “Barra FIC” da “Tabela de Transformadores 3 enrolamentos”. Deixar em branco para os demais



- R1 – Preencher somente para as linhas onde o (BF) se refere à “Tabela de Linhas”, com a seguinte conta:

Valor da coluna “r1” da “Tabela de Linhas”, multiplicado pelo valor da coluna “Compr” da “Tabela de Linhas”, multiplicado por 100, multiplicado pelo valor do “Sbase” da “Tabela de Potência de Base”, dividido pelo quadrado do valor da coluna “Vnom” da “Tabela de Barras”, cujo (Número) corresponde ao (De) da linha em questão.

➤ Exemplificando:
$$\frac{[r1] \times [Compr] \times 100 \times [Sbase]}{[Vnom]^2}$$

- X1 – Para os casos onde o (BF) se refere à “Tabela de Linhas”, a conta é a mesma do (R1), alterando-se apenas o valor da coluna “r1” pelo da coluna “x1” na “Tabela de Linhas”:

➤ Exemplificando:
$$\frac{[x1] \times [Compr] \times 100 \times [Sbase]}{[Vnom]^2}$$

- Para os casos onde o (BF) se refere à “Tabela de Capacitores Série”, a conta é a seguinte:

Valor da coluna “Q” da “Tabela de Capacitores Série”, multiplicado por 300, dividido pelo valor do “Sbase” da “Tabela de Potência de Base”

➤ Exemplificando:
$$\frac{[Q] \times 300}{[Snom]}$$

- Para os casos onde o (BF) se refere à “Tabela de Reativos”, a conta é a seguinte:



100 ao quadrado dividido pelo valor da coluna “Q” da “Tabela de Reativos” (o módulo do valor)

➤ Exemplificando: $\frac{100^2}{[Q]}$

– Para os casos onde o (BF) se refere à “Tabela de Geradores”, a conta é a seguinte:

Valor da coluna “x’d” da “Tabela de Geradores”, multiplicado pelo valor do “Sbase” da “Tabela de Potência de Base”, multiplicado por 100, dividido pelo valor da coluna “Snom” da “Tabela de Geradores”

➤ Exemplificando: $\frac{[x'd] \times [Sbase] \times 100}{[Snom]}$

– Para os casos onde o (BF) se refere à “Tabela de Transformadores”, a conta é a seguinte:

Valor da coluna “x%” da “Tabela de Transformadores”, multiplicado pelo valor do “Sbase” da “Tabela de Potência de Base”, dividido pelo valor da coluna “Snom” da “Tabela de Transformadores”

➤ Exemplificando: $\frac{[x\%] \times [Snom]}{[Snom]}$

– Para os casos onde o (BF) se refere à “Tabela de Transformadores 3 enrolamentos”, a conta é a seguinte:



Para o De (Prim): valor do “xps” da “Tabela de Transformadores 3 enrolamentos” somado ao valor do “xpt” da “Tabela de Transformadores 3 enrolamentos” subtraído ao valor do “xst” da “Tabela de Transformadores 3 enrolamentos” e o resultado dividido por 2

➤ Exemplificando:
$$\frac{([xps] + [xpt]) - [xst]}{2}$$

Para o Para (Sec): Mesmo conta do anterior, alterando-se apenas a ordem dos elementos

➤ Exemplificando:
$$\frac{([xps] + [xst]) - [xpt]}{2}$$

Para o Para (Ter): Mesmo conta do anterior, alterando-se apenas a ordem dos elementos

➤ Exemplificando:
$$\frac{([xpt] + [xst]) - [xps]}{2}$$

Para os casos onde foi criada uma nova linha devido à presença da opção *Yat* na “Tabela de Transformadores” ou à presença da opção *delta* na “Tabela de Transformadores 3 enrolamentos”:

➤ O valor a ser colocado é 99999.

- R0 – Preencher somente para as linhas onde o (BF) se refere à “Tabela de Linhas”, com a seguinte conta:



Valor da coluna “r0” da “Tabela de Linhas”, multiplicado pelo valor da coluna “Compr” da “Tabela de Linhas”, multiplicado por 100, multiplicado pelo valor do “Sbase” da “Tabela de Potência de Base”, dividido pelo quadrado do valor da coluna “Vnom” da “Tabela de Barras”, cujo (Número) corresponde ao (De) da linha em questão.

➤ Exemplificando:
$$\frac{[r0] \times [Compr] \times 100 \times [Sbase]}{[Vnom]^2}$$

- X0 – Para os casos onde o (De) se refere à “Tabela de Linhas”, a conta e a mesma do (R%), alterando-se apenas o valor da coluna “r0” pelo da coluna “x0” na “Tabela de Linhas”:

➤ Exemplificando:
$$\frac{[x0] \times [Compr] \times 100 \times [Sbase]}{[Vnom]^2}$$

– Para os casos onde o (BF) se refere à “Tabela de Capacitores Série”, valor igual ao de X1:

➤ Exemplificando: $X0 = X1$

– Para os casos onde o (BF) se refere à “Tabela de Reativos”, valor igual ao de X1:

➤ Exemplificando: $X0 = X1$

– Para os casos onde o (BF) se refere à “Tabela de Geradores”, valor igual ao de X1:

➤ Exemplificando: $X0 = X1$

– Para os casos onde o (BF) se refere à “Tabela de Transformadores”:



➤ O valor a ser colocado é 99999.

– Para os casos onde foi criada uma nova linha devido à presença da opção *Yat* na “Tabela de Transformadores”:

Para o De: opção *Yat* na “Ligação Prim” da “Tabela de Transformadores”:

Resultado do X1 somado ao resultado da seguinte conta:

Valor da coluna “Z Terra Prim” da “Tabela de Transformadores”, multiplicado por 3, multiplicado por 100, multiplicado pelo valor do “Sbase” da “Tabela de Potência de Base”, dividido pelo quadrado do valor da coluna “V Prim” da “Tabela de Transformadores”

➤ Exemplificando: $X1 + \frac{([ZTerra Prim] \times 3 \times 100 \times [Sbase])}{[V Prim]^2}$

Para o Para: opção *Yat* na “Ligação Sec” da “Tabela de Transformadores”:

Resultado do X1 somado ao resultado da seguinte conta:

Valor da coluna “Z Terra Sec” da “Tabela de Transformadores”, multiplicado por 3, multiplicado por 100, multiplicado pelo valor do “Sbase” da “Tabela de Potência de Base”, dividido pelo quadrado do valor da coluna “V Sec” da “Tabela de Transformadores”

➤ Exemplificando: $X1 + \frac{([ZTerraSec] \times 3 \times 100 \times [Sbase])}{[VSec]^2}$



– Para os casos onde o (BF) se refere à “Tabela de Transformadores 3 enrolamentos”, a conta é a seguinte:

Para o De (Prim): para o caso da opção *Yat* na “Ligação Prim” da “Tabela de Transformadores 3 enrolamentos”:

Resultado do X1 somado ao resultado da seguinte conta:

Valor da coluna “Z Terra Prim” da “Tabela de Transformadores 3 enrolamentos”, multiplicado por 3, multiplicado por 100, multiplicado pelo valor do “Sbase” da “Tabela de Potência de Base”, dividido pelo quadrado do valor da coluna “V Prim” da “Tabela de Transformadores 3 enrolamentos”

$$\text{➤ Exemplificando: } X1 + \frac{([ZTerra Prim] \times 3 \times 100 \times [Sbase])}{[V Prim]^2}$$

Para o Para (Sec): para o caso da opção *Yat* na “Ligação Sec” da “Tabela de Transformadores 3 enrolamentos”:

Resultado do X1 somado ao resultado da seguinte conta:

Valor da coluna “Z Terra Sec” da “Tabela de Transformadores 3 enrolamentos”, multiplicado por 3, multiplicado por 100, multiplicado pelo valor do “Sbase” da “Tabela de Potência de Base”, dividido pelo quadrado do valor da coluna “V Sec” da “Tabela de Transformadores 3 enrolamentos”

$$\text{➤ Exemplificando: } X1 + \frac{([ZTerraSec] \times 3 \times 100 \times [Sbase])}{[VSec]^2}$$



Para o Para (Ter): para o caso da opção *Yat* na “Ligação Ter” da “Tabela de Transformadores 3 enrolamentos”:

Resultado do X1 somado ao resultado da seguinte conta:

Valor da coluna “Z Terra Ter” da “Tabela de Transformadores 3 enrolamentos”, multiplicado por 3, multiplicado por 100, multiplicado pelo valor do “Sbase” da “Tabela de Potência de Base”, dividido pelo quadrado do valor da coluna “V Ter” da “Tabela de Transformadores 3 enrolamentos”

➤ Exemplificando: $X1 + \frac{([ZTerraTer] \times 3 \times 100 \times [Sbase])}{[VTer]^2}$

Para o De (Prim), Para (Sec) e Para (Ter): para o caso da opção *delta* na “Tabela de Transformadores 3 enrolamentos”:

➤ O valor a ser colocado é 99999.

Para os casos onde foi criada uma nova linha devido à presença da opção *delta* na “Tabela de Transformadores 3 enrolamentos”:

Valor do X1 referente à Ligação em questão. (De (Prim)) para (Ligação Prim), (Para (Sec)) para (Ligação Sec) e (Para (Ter)) para (Ligação Ter)

➤ Exemplificando: X1

OBS: Todas as colunas são alinhadas à direita



CONCLUSÕES

Muitas mudanças ocorreram desde o início do projeto. Foram mudanças no cronograma, no layout, na base de dados e até mesmo nos objetivos inicialmente planejados. Mas vale frisar que este processo é fundamental para a melhoria e aprimoramento do projeto e que é absolutamente normal, e até mesmo esperado, que essas mudanças ocorram durante a sua criação, com as inclusões e aplicações de novas idéias.

As principais dificuldades encontradas foram na parte de programação. Toda a parte de criação envolvida, incluindo soluções necessárias e novas idéias, teve um desenvolvimento e um ritmo muito bom.

Porém, a parte de programação e familiarização com a linguagem utilizada (delphi) foi mais lenta, demorada e difícil, pois o conhecimento prévio dessa linguagem computacional era diminuto. Mas as dificuldades, aos poucos, foram sendo superadas e o projeto se realizou com sucesso, servindo seu propósito de auxiliar de forma didática, ou qualquer outra aplicável, outras pessoas.

O programa, inicialmente, mostrou um grande número de desafios. Programadores e pessoas ligadas à área de programação afirmaram, num consenso geral, que a pior parte deste projeto era a parte de programação e criação da interface gráfica.

O programa, estruturalmente falando, não é de grande complexidade. Ele requer um certo planejamento e que uma grande atenção seja despendida com os detalhes e minúcias que o envolvem.

Se todos os pontos forem bem organizados e refletidos, o estudo dos componentes for feito e todas as dúvidas sanadas e, finalmente, todos os objetivos estiverem bem claros, o processo transcorre de forma consistente e gradual.

Isso, em parte, foi realizado com grande sucesso. Obviamente ocorreram atrasos e complicações, mas, num modo geral e levando-se em conta que tudo foi realizado individualmente, os resultados foram excelentes.

O programa tem, como era esperado, uma interface agradável e amigável para quem o está utilizando. Isso faz com que ele possa ser utilizado por qualquer pessoa. Lógico que os resultados fornecidos dependerão do conhecimento da pessoa em redes elétricas e em sistemas de potência.



Os dados inseridos nas tabelas dos seus respectivos elementos podem ser armazenados e, através deles, a interface gráfica pode ser devidamente modelada. Os arquivos gerados ou exportados são arquivos de texto.

Esses arquivos estão em um formato de tabela, com um padrão e uma organização previamente estabelecida, após o estudo dos programas que utilizarão os mesmos, sendo assim algo bem rígido, sem nenhuma maleabilidade.

Ao se observar o programa logicamente poderão ser sugeridas diversas alterações e aprimoramentos a serem implementados. Algumas delas podem até ser simples, mas num contexto geral o programa foi construído com as funcionalidades necessárias e desejadas, alcançando ótimos resultados. Essas possíveis melhoras podem ser realizadas em uma nova versão, que o professor ou qualquer outro grupo de pessoas pode construir, já com uma sólida base.



ANEXOS



ANEXO A

ANAREDE

A pesquisa e desenvolvimento de métodos e técnicas computacionais para a análise e síntese de redes elétricas, adequadas às condições específicas dos sistemas brasileiros, tem sido objeto de estudos do CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica desde a sua fundação.

Algumas das técnicas e métodos desenvolvidos para a análise de redes elétricas foram integrados em um conjunto de aplicações computacionais denominado Programa de Análise de Redes – ANAREDE, que consiste dos seguintes programas: programa de fluxo de potência, equivalente de redes, análise de contingências, análise de sensibilidade de tensão, redespacho de potência ativa e fluxo de potência continuado.

Os trabalhos de desenvolvimento deste programa foram realizados no âmbito de um projeto da Diretoria de Programas de Pesquisa (DPP) do CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Projeto 1133 – ANAREDE), envolvendo pesquisadores da Área de Conhecimentos de Sistemas (ACSI), com participação da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), tendo como parceiro no desenvolvimento da interface gráfica, o Instituto de Tecnologia de Software da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (ITS/PUC-RJ).

ANAFAS

O ANAFAS é uma ferramenta interativa e amigável para análise de faltas em sistemas elétricos de qualquer porte, permitindo a modelagem fiel do sistema (carregamento pré-falta, representação da capacitância das linhas e de cargas, etc.) e a simulação de diversos tipos de defeito, que podem ser compostos para definição de faltas simultâneas. Além disto, oferece outros serviços auxiliares como: cálculo de equivalentes de curto-circuito, remoção automática de barras fictícias, diversos tipos de relatórios de dados, comparação de configurações, evolução de nível de curto-



circuito e saída de resultados para o programa visualizador VISUANA (ver o Manual do Usuário do VISUANA). Pode também ser processado de forma “batch”, através de um arquivo de comandos (ver o Manual de Processamento “Batch”).

O ANAFAS é flexível, permitindo a execução de estudos individuais, onde o usuário define cada caso; e de estudos macro, onde os casos são gerados automaticamente pelo ANAFAS; ambos com solução orientada a ponto-de-falta, cujo relatório de resultados apresenta as tensões e correntes de falta e de contribuição; e solução orientada a ponto-de-monitoração, cujo relatório de resultados apresenta o valor de grandezas definidas pelo usuário (combinação linear de medições).

O ANAFAS tem baixo custo de instalação, ou seja, tem poucos requisitos de “hardware” e “software” e é 100% compatível com o PECO (“Network Fault Analysis Program” da Philadelphia Electric Company), adotado pela ELETROBRÁS, preservando os arquivos de dados existentes.

O desenvolvimento do ANAFAS é patrocinado pela ELETROBRÁS e suas concessionárias, que contribuem decisivamente na gestão e execução desse projeto.



ANEXO C

Especificações das tabelas do ANAREDE e ANAFAS

Aqui serão apresentadas tabelas que detalham todos os itens que compõe as tabelas que servem de entrada para os programas ANAREDE e ANAFAS.

ANAREDE

Campo	Colunas	Descrição	Default
Número	01-04	Número de identificação da barra CA.	
Operação	06-06	A ou 0 - adição de dados de barra. E ou 1 - eliminação de dados de barra. M ou 2 - modificação de dados de barra.	A
Tipo	08-08	0 - barra de carga (PQ - Injeções de potências ativa e reativa fixas). 1 - barra de tensão regulada (PV - Injeção de potência ativa e Magnitude de tensão fixas). 2 - barra de referência (V θ , Magnitude da tensão e Ângulo de fase fixo). 3 - barra de carga com limite de tensão (PQ - Injeções de potências ativa e reativa fixas enquanto a magnitude de tensão permanecer entre os valores limites).	0
Grupo de Base de Tensão	09-09	Dígito (0 a 9) ou caracter (A a Z). Os valores associados aos Grupos Base de Tensão são definidos no código de execução <i>DGBT</i> . Os grupos que não forem definidos terão valor igual a 1 kV.	0
Nome	10-21	Identificação alfanumérica da barra.	
Grupo de Limite de Tensão	22-22	Dígito (0 a 9) ou caracter (A a Z). Os valores associados aos Grupos de Limite de Tensão são definidos no Código de Execução <i>DGLT</i> . Os grupos que não forem definidos terão valores limites de tensão, mínimo e máximo, iguais a 0.8 e 1.2 pu, respectivamente.	0
Tensão	23-26	Valor inicial da magnitude da tensão, em p.u. Para barra de tensão controlada, remotamente ou não, por geração de potência reativa ou por variação de tap de transformador, este campo deve ser preenchido com o valor da magnitude da tensão a ser mantido constante. Ponto decimal implícito entre as colunas 23 e 24.	1.0
Ângulo	27-30	Ângulo de fase inicial da tensão da barra, em graus.	0.0
Geração Ativa	31-35	Valor de geração de potência ativa na barra, em MW. Este campo define o ponto base de operação sobre o qual as ações de controle são executadas de modo a manter o intercâmbio de potência ativa programado entre áreas. Os erros de intercâmbio de potência ativa entre áreas são distribuídos entre os geradores das áreas, com base neste valor e de acordo com a participação de cada gerador.	0.0

Figura 10

Dados da Tabela do ANAREDE



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
 Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas
 PEA / EPUSP

Campo	Colunas	Descrição	Default
Geração Reativa	36-40	Valor de geração de potência reativa na barra, em Mvar. Para barra de carga este valor é fixo. Para barra de carga com limite de tensão este valor é mantido constante, enquanto a magnitude da tensão permanecer entre os limites especificados. Para barras de tensão regulada e de referência com limites de geração de potência reativa especificados, este campo pode ser deixado em branco.	0.0
Geração Reativa Mínima	41-45	Valor do limite mínimo de geração de potência reativa na barra, em Mvar.	0
Geração Reativa Máxima	46-50	Valor do limite máximo de geração de potência reativa na barra, em Mvar.	0
Barra Controlada	51-55	Para barras de tensão regulada e de referência, com limites de potência reativa especificados, este campo destina-se ao número da barra cuja magnitude da tensão será controlada. O valor da magnitude da tensão a ser mantido é obtido no campo Tensão do registro relativo à barra.	A própria barra
Carga Ativa	56-60	Valor da carga ativa da barra, em MW. No caso da carga variar com a magnitude da tensão da barra, entre neste campo o valor da carga para a tensão especificada no campo Tensão Para Definição de Carga .	0.0
Carga Reativa	61-65	Valor da carga reativa da barra, em Mvar. No caso da carga variar com a magnitude da tensão da barra, entre neste campo o valor da carga para a tensão especificada no campo Tensão Para Definição de Carga .	0.0
Capacitor Reator	66-70	Valor total da potência reativa injetada na barra, em Mvar, por bancos de capacitores/reatores. O valor a ser preenchido neste campo refere-se a potência reativa injetada na tensão nominal (1.0 p.u.). Este valor deve ser positivo para capacitores e negativo para reatores.	0.0
Área	71-72	Número da área à qual pertence a barra.	0
Tensão Para Definição de Carga	73-76	Entre neste campo com o valor em p.u. da tensão para a qual foi medido o valor das parcelas ativa e reativa da carga definidos nos campos Carga Ativa e Carga Reativa , respectivamente. Ponto decimal implícito entre as colunas 73 e 74.	Tensão

Figura 11

Continuação dos dados da Tabela do ANAREDE



ANAFAS

Campo	Colunas	Descrição	Default
Da Barra	01-04	Número da barra de uma das extremidades do circuito como definido no campo Número do Código de Execução <i>DBAR</i> .	
Operação	06-06	A ou 0 - adição de dados de circuito. E ou 1 - eliminação de dados de circuito. M ou 2 - modificação de dados de circuito.	A
Para Barra	09-12	Número da barra da outra extremidade do circuito como definido no campo Número do Código de Execução <i>DBAR</i> .	
Circuito	13-14	Número de identificação da circuito CA em paralelo.	0
Estado	15-15	L se o circuito estiver em operação (ligado). D se o circuito estiver fora de operação (desligado).	L
Proprietário ²	16-16	F se o circuito pertencer a área da barra definida no campo Da Barra . T se o circuito pertencer a área da barra definida no campo Para Barra .	F
Resistência	18-23	Valor da resistência do circuito, em %. Para transformadores este valor corresponde ao valor da resistência para o tap nominal. Ponto decimal implícito entre as colunas 21 e 22.	0.0
Reatância	24-29	Valor da reatância do circuito, em %. Para transformadores este valor corresponde ao valor da reatância para o tap nominal. Ponto decimal implícito entre as colunas 27 e 28.	
Susceptância	30-35	Valor total da susceptância shunt do circuito, em Mvar. Ponto decimal implícito entre as colunas 32 e 33.	0.0
Tap	36-40	Valor do tap referido à barra definida no campo Da Barra , em p.u., para os transformadores de tap fixo ou, uma estimativa deste valor para os transformadores com variação automática de tap (LTC) ³ . Ponto decimal implícito entre as colunas 37 e 38.	

Figura 12

Dados da Tabela do ANAFAS

Campo	Colunas	Descrição	Default
Tap Mínimo	41-45	Valor mínimo que o tap pode assumir, em p.u., para transformadores com variação automática de tap. Ponto decimal implícito entre as colunas 42 e 43.	
Tap Máximo	46-50	Valor máximo que o tap pode assumir, em p.u., para transformadores com variação automática de tap. Ponto decimal implícito entre as colunas 47 e 48.	
Defasagem	51-55	Valor do ângulo de defasamento, em graus, para transformadores defasadores. O defasamento angular especificado é aplicado em relação ao ângulo da barra definido no campo Da Barra . Ponto decimal implícito entre as colunas 53 e 54.	0.0°
Barra Controlada	56-60	No caso de circuitos tipo transformador com variação automática de tap, este campo é destinado ao número da barra cuja magnitude da tensão deve ser controlada.	Da Barra ●
Capacidade Normal	61-64	Capacidade de carregamento do circuito em condições normais para fins de monitoração de fluxo, em MVA.	∞
Capacidade Emergência	65-68	Capacidade de carregamento do circuito em condições de emergência para fins de monitoração de fluxo, em MVA.	Cap. Normal
Número de Steps	69-70	Número de posições intermediárias entre o tap mínimo e o tap máximo para transformadores de tap variável.	Cap. Normal

Figura 13

Continuação dos dados da Tabela do ANAFAS



ANEXO D

Este anexo tem como objetivo explicar, resumidamente, o que é DELPHI, a plataforma utilizada para a criação da interface gráfica.

O que é o Delphi ?

O Delphi nada mais é que um simples IDE, ou seja, um ambiente integrado para desenvolvimento composto por compilador, editor de texto, ferramenta de depuração, entre outros.

Um IDE nada tem a ver com Interface Gráfica (GUI), é apenas um ambiente composto pelo compilador, depurador, editor de textos, etc... e nem sempre esse ambiente é gráfico.

O Borland C, por exemplo, apesar de ser uma ferramenta que roda do prompt do DOS tem tudo integrado nele mesmo. Possui um IDE, onde se pode abrir vários arquivos simultâneos, um excelente depurador, o editor de texto insuperável e muitas outras coisas extras. Tudo isso, num IDE terminal texto.

A diferença entre o IDE DELPHI para os outros IDE's por ai, é que o DELPHI é um IDE RAD (Rapid Application Development).

Sim o DELPHI é RAD, isto é, a medida em que os componentes vão sendo selecionados, o DELPHI escreve o código fonte para você. Os componentes em geral, incluem classes e propriedades muito utilizadas e que se relacionam com outros objetos. Tudo que nele existe foi pensando em Velocidade de Desenvolvimento.

Um exemplo típico para o RAD do DELPHI é :

Ao colocar um Botão num formulário, veja o que ocorre : - na clausula "uses", acrescenta a lib que contém o objeto

TButton. - Também é criado um TButton.Create que cria o objeto para ser usado, mas dessa vez fica no arquivo .

DFM. - Se o object TButton possuir dependências de outras classes, o DELPHI se encarrega de encontra-las e inclui-las em sua aplicação.



Mas o DELPHI é uma linguagem ou não ?

Quando você está usando o DELPHI, a linguagem gerada por ele é o ObjectPascal. Tanto isso é verdade que é possível compilar o programa e seu código fonte sem a presença do DELPHI.

Faça o teste :

```
dbcc32 [nome-do-dpr] lib [nome-das-libs]
```

O ObjectPascal, é a linguagem pascal orientado a objetos, com todo o poder do OOP. Se você for um ótimo programador ObjectPascal, talvez nem precise do DELPHI para escrever seus programas.

O pessoal do FreePascal (outra linguagem compatível com ObjectPascal) já faz isso a bastante tempo.

Talvez o tempo de desenvolvimento do IDE (DELPHI), seja igual ou superior ao tempo de desenvolvimento da linguagem.

Outras linguagens, mesmos as mais complexas tornam-se fáceis para o iniciante se tivermos um IDE decente, principalmente se for RAD.

O pessoal do KDE (Linux) já vem trabalhando há muito tempo no Kdevelopment, um IDE parecido com o DELPHI para a linguagem C++, no entanto, não é um IDE RAD, apenas um IDE. O KDevelopment é um bom IDE, mas acho que não existe interesse em transforma-lo em RAD.

DELPHI e outros RAD's:

É comum em nosso meio, de haver comparação entre ferramentas RADs.

A principal delas, é o DELPHI(Borland) x VB (Microsoft).

Quando comparamos os IDE's não vemos muitas diferenças entre ambos. Ambos são excelentes.

Mas quando comparamos as linguagens, digo, ObjectPascal x VisualBasic, então as diferenças são muitas.

A comparação do ObjectPascal x VisualBasic não é justa, pois ambos são diferentes num principio básico :



O ObjectPascal é uma linguagem totalmente OOP. O VB ainda é orientado a eventos. Alguns programadores VB podem argumentar com certa razão que iniciantes em DELPHI não usam OOP, mas a verdade é que eles usam, mesmo sem saberem disso!

Por exemplo, quando um form em branco é criado, o DELPHI acrescenta as linhas "Form1 : TForm1", o que já é uma característica de herança em OOP no ObjectPascal.

Outra coisa que torna a comparação impossível é que o VisualBasic baseia suas soluções em componentes e API, quando você possui um problema, se você não tiver um componente adequado ou uma função API que resolva o problema, o desenvolvimento fica emperrado. No ObjectPascal e também outras linguagens, elas permitem ao programador intermediário, desenvolver suas próprias soluções sem depender de terceiros.

Pode-se criar as mais diversas aplicações : emuladores, device-drivers, comunicação com outros dispositivos, etc...



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ramos, D.S.; Dias, E.M. Sistemas elétricos de potência: regime permanente. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1982. 2v
- [2] Stevenson Junior, W.D. Elements of power systems analysis. 3.ed. New York, McGraw-Hill, 1975.
- [3] Anselmo Fernando, Bíblia do Delphi, arquivo digital
- [4] Apostila digital de Delphi, Curso Básico
- [5] Site Portal de Informática (www.portaldeinformatica.com.br) – data 14 / 11 / 05
- [6] CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, Programa de Análise de Redes – Manual do Usuário, V08-ago04
- [7] CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, Programa de Análise de Falhas Simultâneas – Manual do Usuário, V4.1-mar05