

## AMBIENTE GRÁFICO PARA VISUALIZAÇÃO DE FLUXOS E PERDAS EM REDES ELÉTRICAS

**Delberis A. Lima** – delberis@aluno.feis.unesp.br

**Eduardo S. Hoji** – shigueo@aluno.feis.unesp.br

**Antônio M. Cossi** – cossi@aluno.feis.unesp.br

**Fábio C. Gaino** – fcgaino@aluno.feis.unesp.br

**Antonio P. Feltrin** – padilha@dee.feis.unesp.br

Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Departamento de Engenharia Elétrica

Avenida Brasil 56

15385-000 – Ilha Solteira - SP

**Resumo:** Este trabalho tem como objetivo apresentar de uma maneira fácil e didática os resultados do fluxo de potência e o comportamento das perdas elétricas no sistema de transmissão. O procedimento é baseado na utilização dos resultados de fluxo de potência e métodos de alocação de perdas que responsabilizam geradores e cargas pelas perdas no sistema de transmissão de forma equilibrada, desenvolvidos em uma dissertação de mestrado. A partir deste resultado foi desenvolvido um programa em linguagem de programação Visual Basic para se observar os fluxos nas linhas e a alocação de perdas para geradores e cargas. Métodos de alocação de perdas descrevem o comportamento das perdas do sistema com relação a uma barra, exigindo para isso uma forma adequada de interpretação, ou seja através de ilustração visual onde pode-se visualizar a posição dos geradores ou cargas responsáveis por perdas elétricas no sistema, sua potência gerada e/ou consumida bem como os fluxos de potências nas linhas de transmissão e barras conectadas a eles. Resultados são apresentados para sistemas elétricos como o IEEE-118 barras e o sistema Sul-Sudeste Brasileiro (3165 barras e 4487 circuitos).

Para ensino o software representa uma forma didática e clara de analisar os problemas de fluxo de potência e de alocação de perdas e de verificar novas propostas. No âmbito da pesquisa, demonstra que o trabalho integrado entre alunos de pós-graduação e graduação é possível e importante no desenvolvimento de novas metodologias de ensino e pesquisa.

**Palavras-chave:** Fluxo de Potência, Alocação de Perdas, Visualização de Fluxos e Perdas.

### 1. INTRODUÇÃO

As mudanças no setor energético objetivam estabelecer competição e redução de preços para os consumidores, e têm ocasionado transformações no panorama econômico das empresas de energia elétrica, tornando necessário o desenvolvimento de novas ferramentas que auxiliem na melhoria dos serviços prestados.

Considerada muitas vezes como um monopólio, a transmissão deve ser gerenciada de maneira independente assegurando naturalmente competição na geração. Segundo WILLIS et al. (2000), uma das principais preocupações em sistemas de transmissão refere-se ao de custo de transmissão na qual a alocação de perdas seja feita de forma satisfatória para todas as partes envolvidas levando em conta, sempre que possível, o impacto de toda transação no sistema de transmissão.

Métodos de alocação de perdas tem como objetivo distribuir entre geradores e cargas a responsabilidade por perdas na transmissão de forma equilibrada. Sabendo que as perdas no sistema de transmissão podem representar de cinco a dez por cento da potência gerada, a alocação de perdas tem um grande impacto nos custos de geradores e cargas.

Uma das ferramentas básicas na análise de sistemas de energia elétrica é o fluxo de potência, cujos resultados determinam o estado da rede. A alocação de perdas para cargas e geradores é calculada com base nos resultados do fluxo de potência. De acordo com CONEJO et al. (2001), a alocação dos componentes de perdas entre geradores e cargas devem satisfazer as seguintes condições:

- Refletir a magnitude da potência ou injeção de corrente em cada barra;
- Refletir a relativa posição da barra na rede;
- Refletir ambos topologia da rede e relação entre tensão e corrente;
- Ser simples de entender e implementar;
- Fornecer efetivos incentivos ou punição para geradores e cargas com respeito a sua relativa localização e magnitude na rede;
- Ser consistente com a solução do fluxo de carga;
- Evitar volatilidade.

Os métodos de alocação de perdas propostos na literatura encaixam-se nas seguintes categorias:

**Pro-rata:** baseado no nível de potência ativa na barra e não na sua localização na rede. São os mais comuns (CONEJO et al., 2002).

**Métodos incrementais de perdas de transmissão:** baseado na sensibilidade da potência injetada em cada nó com relação às perdas totais do sistema. Podem ser positivos ou negativos e dependem da escolha da barra de referência. A aplicação do método depende de coeficientes de auto-recuperação das perdas (CONEJO et al., 2002).

**Participação proporcional:** provém da primeira lei de Kirchoff (os fluxos que saem de cada nó são proporcionais aos fluxos que entram nesse nó). Porém, a alocação entre geradores e cargas é feita de forma arbitrária (geralmente 50%) (BIALEK, 1996).

**Fórmula de perdas:** baseada na topologia da rede e na injeção de corrente em cada nó do sistema (CONEJO et al., 2001).

Em LIMA (2003) foram implementados os principais métodos de alocação de perdas apresentados na literatura e foi realizada uma análise crítica de cada método.

De modo a facilitar o trabalho do usuário na análise dos resultados e buscando apresentar de forma mais didática os resultados do fluxo de potência e a alocação de perdas em sistemas de transmissão, desenvolveu-se um ambiente gráfico em linguagem Visual Basic para ser utilizado com os métodos de fórmula de perdas (utilizando a matriz Z-bus), e Pro-Rata baseado na injeção de potência, os quais possuem diferenças bastante significativas.

Desta maneira pode-se visualizar geradores e cargas no sistema, bem como seus respectivos valores de perdas, tensão e ângulo nas barras, sua potência gerada e/ou consumida bem como os fluxos de potência nas linhas de transmissão e barras conectadas a eles.

Para ilustração do trabalho desenvolvido são apresentados neste artigo resultados obtidos com os sistemas IEEE - 118 barras e o sistema Sul-Sudeste Brasileiro.

## 2. O PROGRAMA ALPES

O programa Alpes é um sistema de alocação de perdas com um ambiente gráfico para visualização dos resultados. A proposta do Alpes é atribuir de forma equilibrada à geradores e cargas a responsabilidade pelas perdas do sistema e apresentar de forma fácil e didática seus resultados, bem como os resultados do fluxo de potência. Geralmente estes resultados são apresentados em forma de tabela, exigindo do usuário experiência e tempo para sua interpretação. No Alpes os resultados são apresentados tanto no formato de tabelas quanto no ambiente gráfico do programa, tornando possível focalizar uma barra para análise e visualizar

a posição e as ligações desta, seus valores de tensão, ângulo e potência gerada e/ou consumida. O programa é de fácil utilização e não requer treinamento especial para isso.

## 2.1 Utilizando o Alpes

A Figura 1 mostra a tela inicial do Alpes, onde o usuário pode escolher a opção de uso. Ao lado de cada botão tem-se uma descrição da sua função.



Figura 1 - Tela inicial de uso do Alpes

### *Arquivo*

O botão "Arquivo" exibe uma planta para os arquivos de entrada do programa através do bloco de notas do MS Windows. A inserção dos dados de um novo sistema a ser estudado deve ser feita no formato especificado.

### *Fluxo de Potência*

Através deste botão é realizado o cálculo do fluxo de potência para o sistema. Os resultados do fluxo de potência são importantes, visto que eles demonstram o estado da rede e servem de base para a alocação de perdas.

### *Alpes*

O botão "Alpes" inicia o programa que realiza a alocação de perdas. Baseado nos resultados do fluxo de potência, as perdas do sistema são atribuídas a geradores e cargas.

### *Resultado Visual*

Este botão abre o ambiente gráfico, mostrado na Figura 2, onde são apresentados os resultados visuais de fluxos e perdas.

The screenshot shows a software window titled 'Resultado Visual' with a sub-header 'Alocação de Perdas'. The interface includes a top navigation bar with a 'Dados de Entrada' button, a 'Tabela/Resultados' button, and input fields for 'Referência', 'Barra de Menor Perda', and 'Barra de Maior Perda'. The main area is a large white space for visualization. On the right side, there is a control panel with several sections: 'Indicação de Barra: Bem Localizadas' with a radio button for 'Z-BUS ALLOCATION'; 'Alocação de Perdas' with a radio button for 'PRO-RATA (P)'; 'Nome da Barra' with a text input field; 'Potencia Gerada' with input fields for 'P (MW)' and 'Q (MVar)'; 'Potência Consumida' with input fields for 'P (MW)' and 'Q (MVar)'; 'Tensão' with an input field for 'pu'; 'Ângulo' with an input field for 'graus'; 'Perda Alocada' with input fields for 'P' (MW), a percentage, and a monetary value; and 'Perda Total' with an input field for 'P' (MW). A 'Principal' button is located at the bottom right of the control panel.

Figura 2 - Ambiente gráfico para visualização de fluxos e perdas.

A área em branco na Figura 2 é o espaço onde será desenhado o sistema. No lado direito da Figura 2 são apresentadas as informações de tensão e ângulo, potência gerada e/ou consumida, perdas alocadas (em MW, em porcentagem das perdas totais e em valores monetários) e a barra à qual se referem estes valores. São apresentados ainda as perdas totais do sistema, uma caixa de opções para escolha do método de alocação de perdas cujos resultados deseja-se visualizar, barras de referência, de maior e de menor perdas.

### **Resultados/Fluxo**

Apresenta os resultados do fluxo de potência para todo o sistema em forma de tabela.

### **Resultados/Perdas**

Apresenta os resultados da alocação de perdas para todo o sistema em forma de tabela.

## **2.2 Visualização de Fluxos e Perdas**

### **Sistema IEEE - 118 barras**

A visualização dos fluxos e perdas é realizada através do ambiente gráfico apresentado na Figura 2. O botão "Dados de Entrada" abre um formulário onde devem ser inseridos a barra a ser focalizada e o valor das perdas por MW, exibido na Figura 3.

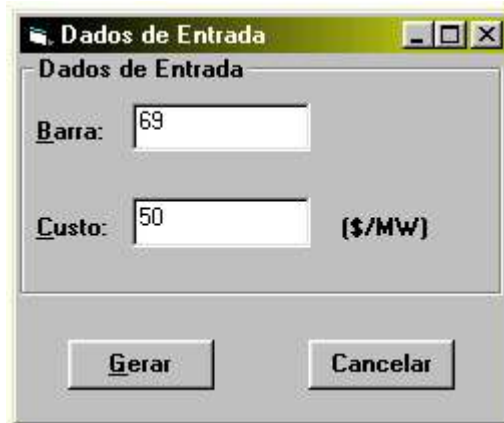


Figura 3 - Formulário para definição da barra a ser focalizada e do custo das perdas.

O botão "Gerar", na Figura 3, apresenta no ambiente gráfico a barra a ser focalizada, suas ligações, localização de geradores e cargas e suas dimensões, como ilustrado na Figura 4.

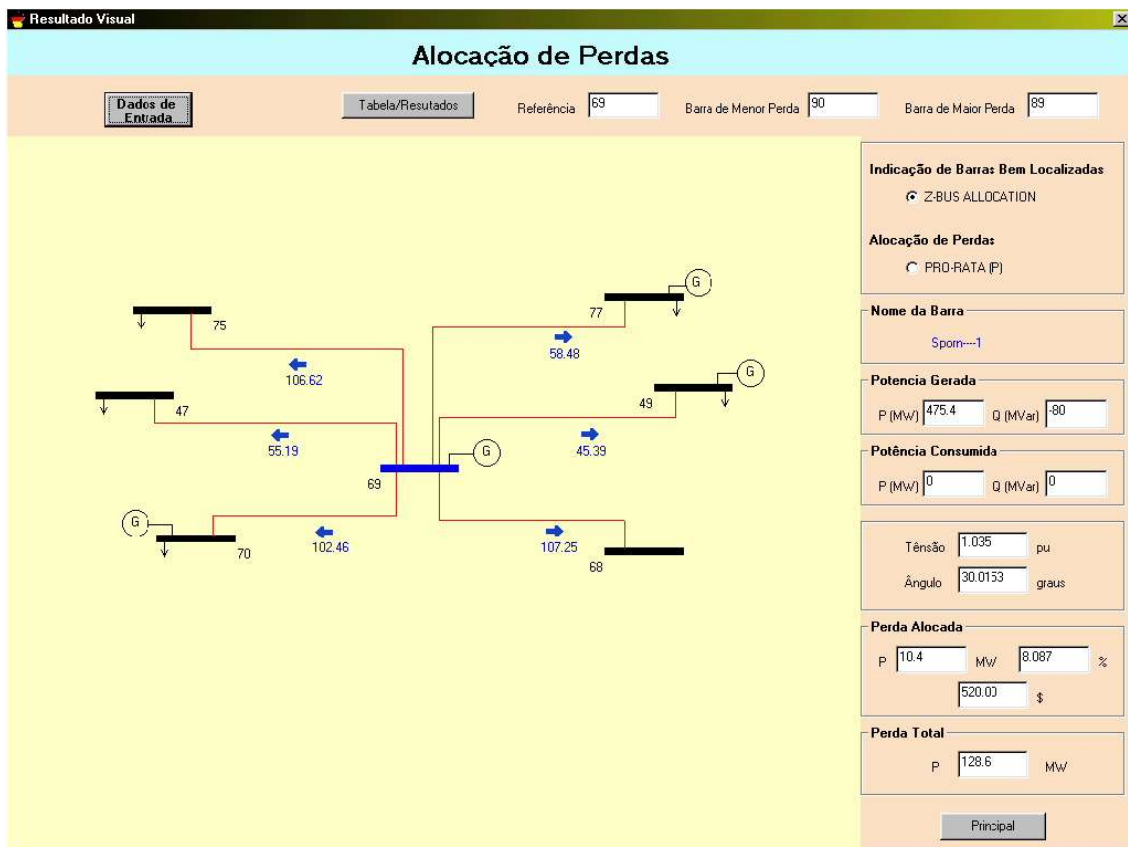


Figura 4 - Sistema IEEE - 118 barras focalizado sobre a barra 69.

Para barras com 4 ou mais ligações, o programa desenha apenas sua primeira vizinhança. Para barras com 3 ou menos ligações, o programa desenha suas primeira e segunda vizinhanças, limitando-se a um máximo de 26 barras.

Os fluxos totais nas linhas são apresentados no próprio desenho, próximos à linha a que se referem. As setas indicam os sentidos dos fluxos.

Nas Figuras 5 e 6 o sistema é apresentado focalizado sobre a barra 47. Porém, na Figura 5 os valores apresentados são referentes à barra 47 e na Figura 6, à barra 69. Ambas podem ser

escolhidas pelo usuário. Com um clique duplo sobre qualquer uma das barras mostradas, a barra é desenhada em destaque, na cor azul, e os dados referentes à ela são apresentados do lado direito da tela.

Através da caixa de opções apresentada no canto superior direito do ambiente gráfico, faz-se a escolha do método de alocação cujos resultados serão mostrados em MW, em porcentagem das perdas totais do sistema e em valores monetários, de acordo com o custo por MW especificado.

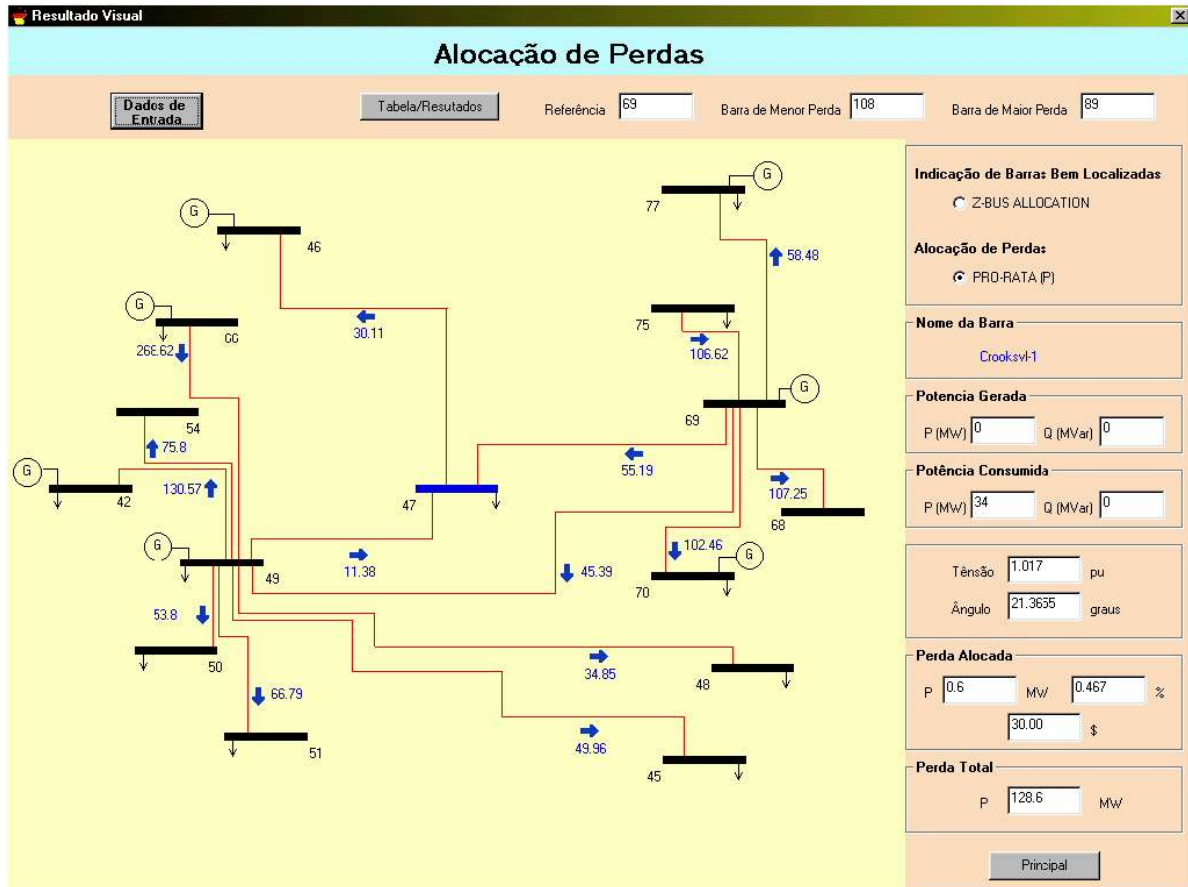


Figura 5 - Sistema IEEE - 118 barras focalizado sobre a barra 47, com informações da barra 47.

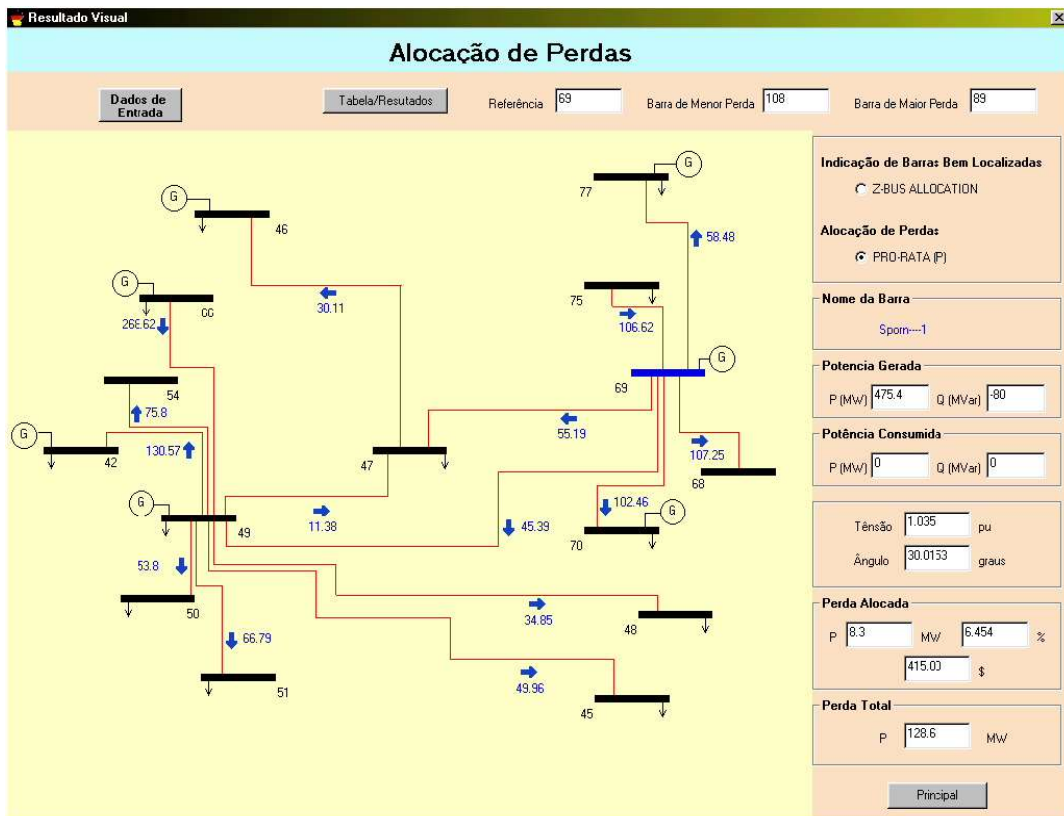


Figura 6 - Sistema IEEE - 118 barras focalizado sobre a barra 47, com informações da barra 69.

Na Figura 7 estão apresentados os valores relacionados à barra 69 para os métodos Z-bus e Pro-rata.

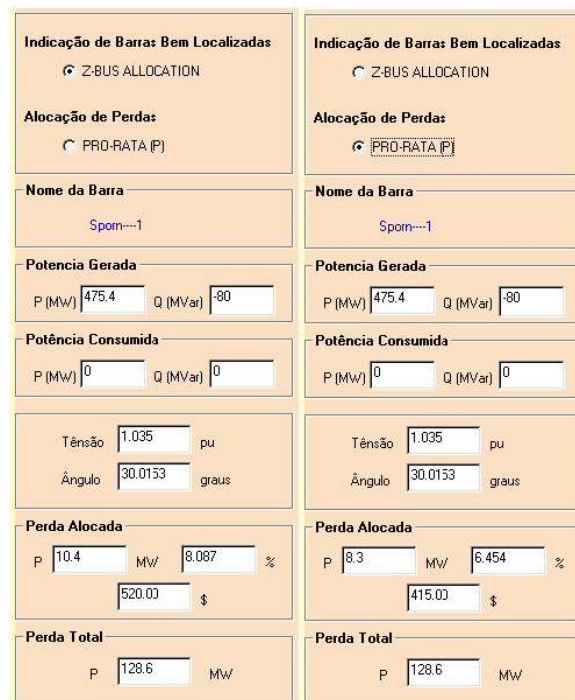


Figura 7 - Resultados da alocação de perdas para a barra 69 do sistema IEEE - 118 barras.

O botão "Tabela/Resultados" do ambiente gráfico apresenta em forma de tabela os resultados para a barra focalizada e suas ligações.

O botão "Principal" retorna à tela inicial de uso.

### ***Sistema Sul-Sudeste Brasileiro***

O Alpes também apresenta bom desempenho para sistemas de grande porte, como é o caso do sistema Sul-Sudeste Brasileiro, que possui 3165 barras e 4487 circuitos. Alguns casos para este sistema são mostrados nas Figuras 8, 9 e 10.

As Figuras 8 e 9 ilustram o caso em que se tem interesse na barra 13. Na Figura 8, o sistema é desenhado focalizando a própria barra 13, sendo possível visualizar suas duas vizinhanças. Na Figura 9, o sistema é desenhado focalizando a barra 104, pertencente à segunda vizinhança da barra 13. Assim, tem-se a ilustração de uma parte maior do sistema, definindo melhor a localização da barra 13. Procedimento semelhante foi utilizado para o sistema IEEE - 118 barras, em relação à barra 69, nas Figuras 4 e 6. Na Figura 10 é ilustrado o caso em que o sistema é focalizado sobre a barra 1012.

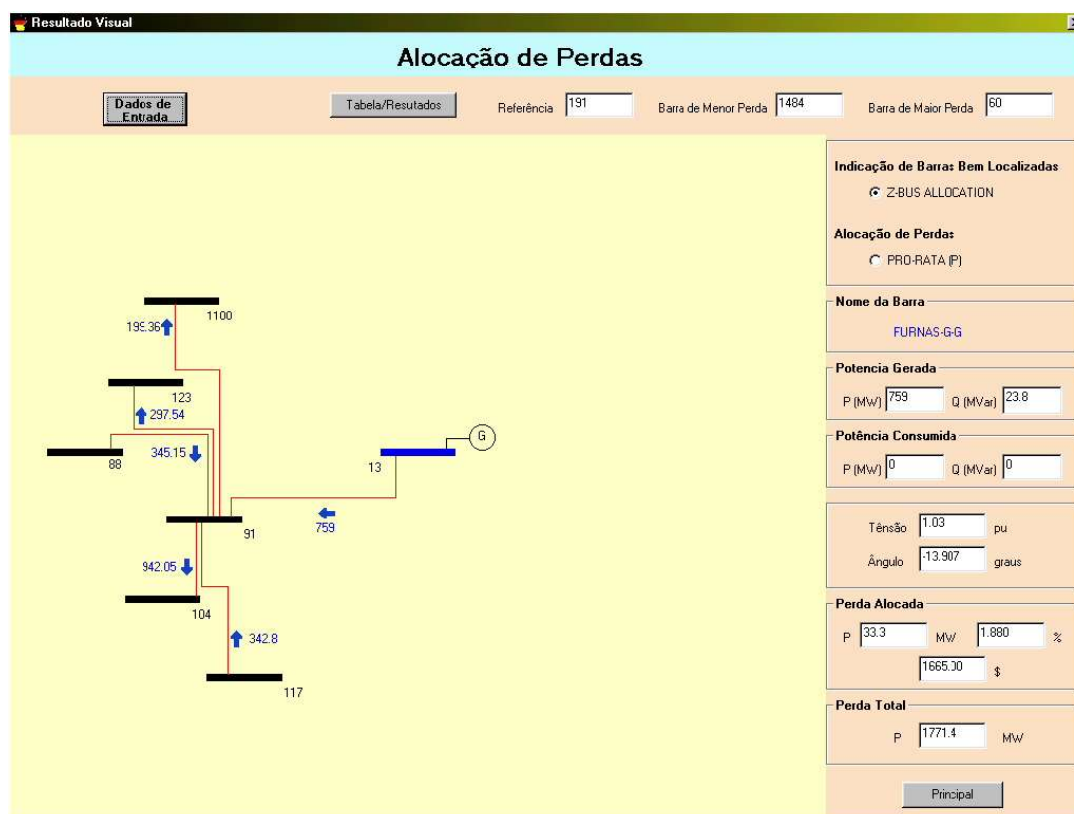


Figura 8 - Sistema Sul-Sudeste Brasileiro, focalizado sobre a barra 13.



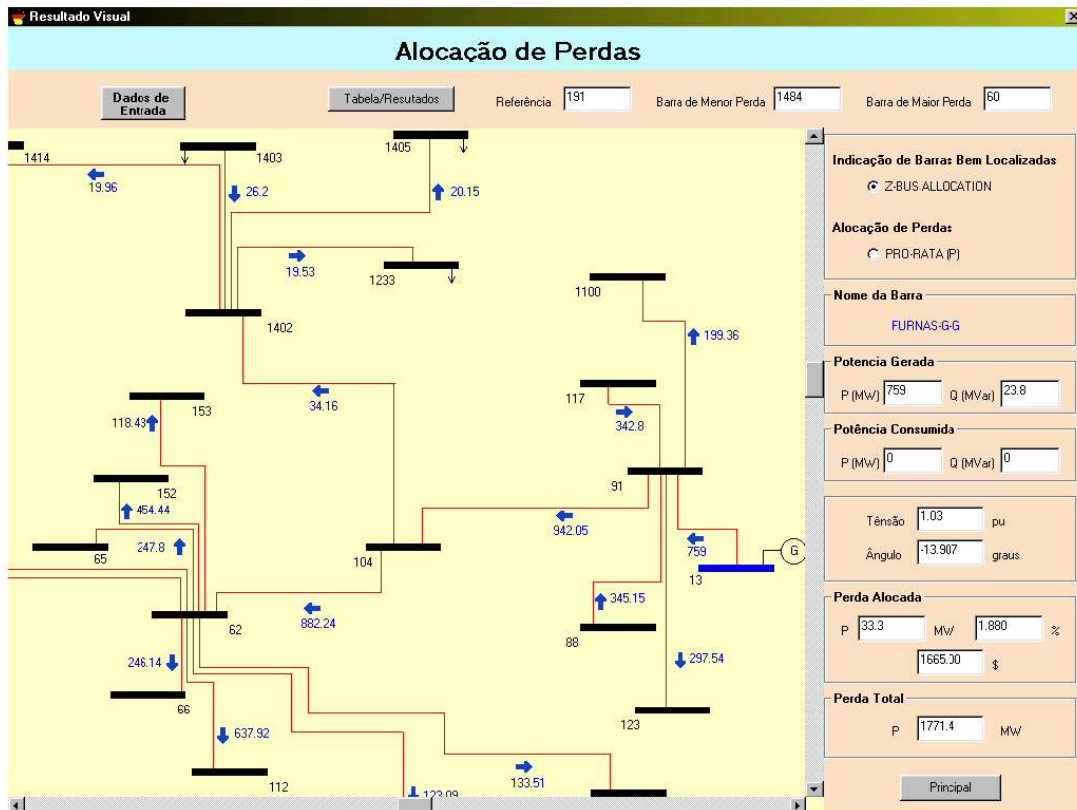


Figura 9 - Sistema Sul-Sudeste Brasileiro, focalizado sobre a barra 104, com informações da barra 13.

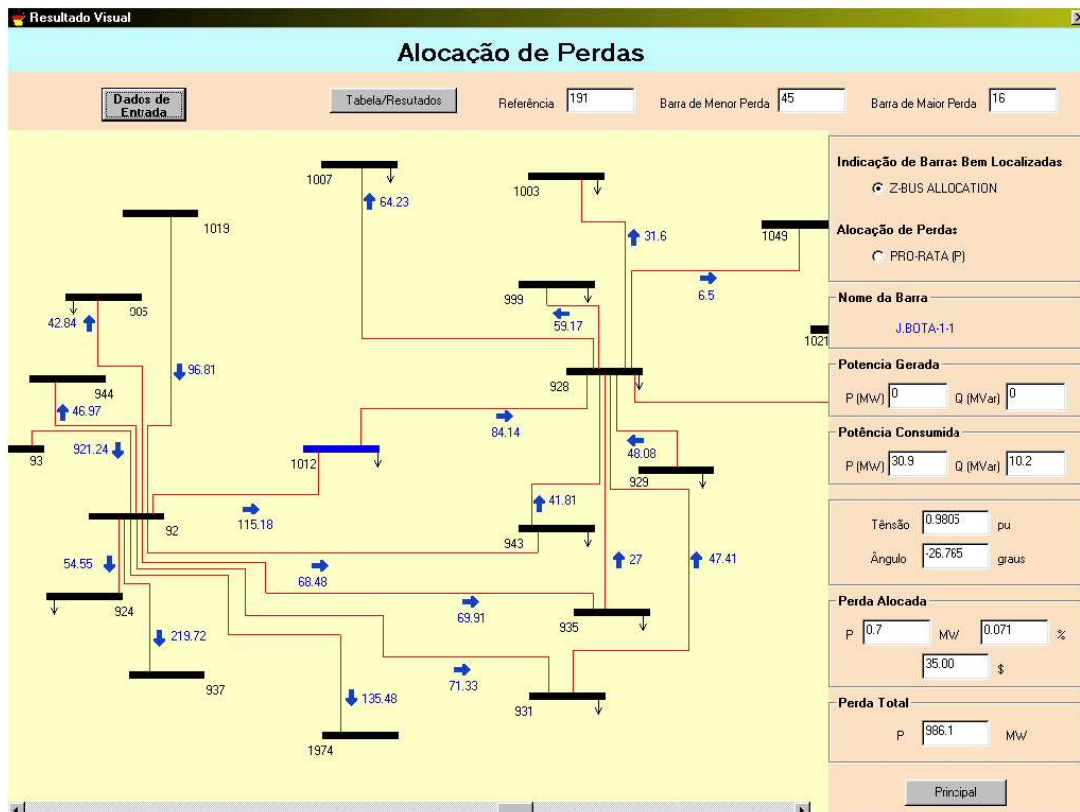


Figura 10 - Sistema Sul-Sudeste Brasileiro, focalizado sobre a barra 1012.

### ***Vantagens operativas do software***

A análise dos métodos de alocação de perdas torna-se mais fácil através do ambiente gráfico em função de alguns fatores:

- Permite ao usuário realizar a análise dos resultados tanto através dos resultados visuais quanto da maneira convencional, através de tabelas;
- Por serem realizados por rotinas diferentes, os arquivos de saída para fluxo de potência e alocação de perdas são separados. No ambiente gráfico é possível visualizar ambos resultados simultaneamente;
- Os resultados sobre a barra de interesse são apresentados apenas digitando-se o número da barra, sem necessidade de se procurar pela barra nos arquivos de resultados, o que torna o programa atrativo principalmente para sistemas de grande porte;
- Permite visualizar a localização de geradores e cargas e as ligações do sistema;
- A utilização de ambientes gráficos facilita o trabalho do usuário tanto na solução de problemas reais quanto no ensino.

### **3. CONCLUSÕES**

A utilização do ambiente gráfico para visualização de fluxos e perdas ajuda em muito na tarefa de analisar os resultados obtidos. Além de tornar mais fácil e rápida a apresentação e a localização dos resultados, torna a análise mais fácil ao usuário. A flexibilidade apresentada pelo programa, permitindo também a análise por tabelas, torna a apresentação dos resultados ainda mais clara.

Para ensino, esta é uma ferramenta que apresenta de maneira fácil e didática os problemas de fluxo de potência e alocação de perdas, permitindo ao estudante simular diversos sistemas, sob diferentes condições, e perceber a compatibilidade entre os resultados do fluxo de potência e da alocação de perdas.

No âmbito da pesquisa, esta ferramenta mostra como o trabalho integrado entre pós-graduação e graduação é importante e pode render frutos no desenvolvimento de novas ferramentas e metodologias de ensino e pesquisa.

A ferramenta desenvolvida busca melhorar a qualidade dos relatórios emitidos por um programa de alocação de perdas e foi resultado de um programa de pesquisa e desenvolvimento que envolveu alunos de graduação, pós-graduação, professores e engenheiros da CTEEP.

### ***Agradecimentos***

Os autores agradecem à CTEEP, pelo apoio financeiro, à FEPISA e à UNESP, pelo apoio no desenvolvimento deste projeto.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BIALEK, J. Tracing the flow of electricity. **IEE Proc-Gener. Transm. Distrib**, v. 143, n. 4, p. 313-320, 1996.

CONEJO, A.J., ARROYO, J.M., ALGUACIL, N., GUIJARRO, A.L. Transmission Loss Allocation: A comparison of different Practical Algorithms. **IEEE Trans. On Power Systems**, v.. 17, n. 1, p. 571-576, 2002.

CONEJO, A.J., GALIANA, F. D., KOCKAR, I. Z-Bus loss allocation. **IEEE Trans. On Power Systems**, v.16, n. 1, p. 105-110, 2001.

LIMA, D.A. **Alocação de perdas em redes de transmissão**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

WILLIS, L., FINNEY, J., RAMON, G. Computing the cost of unbundled services. **IEEE Computer Applications in Power**, p. 16-21, 1996.

## **GRAPHICAL TOOL FOR VISUALIZATION OF THE FLOWS AND LOSSES IN ELECTRICAL NETWORKS**

**Abstract:** *The objective of this work is to present an easy and didactic way to show the power flows, and the behavior of the losses in a transmission system. The procedure is based on results of a power flow computation and on methods of loss allocation. Loss allocation methods are designed to evenly distribute the responsibility of transmission losses between generators and loads. From those results, the software was developed using Visual Basic with the purpose of visualization the power flows in the lines and the loss allocation to generators and loads. Loss allocation methods are designed to attribute costs to the buses, and then it is required a more appropriate tool to analyze this results. In this way, the proposed tool shows this costs and the flows in the lines connected to the bus, being a friendly software to work in this subject. Results are shown using the IEEE 188 buses and the South Southeastern Brazilian System (3165 buses and 4487 lines).*

*For teaching purposes, the software presents a didactic and clear way to analyze the power flow solution and the loss allocation results. For research ends, it demonstrates the integration among undergraduate and graduate students.*

**Key-words:** *Power flow, Loss allocation, Flow and losses visualization.*