

Melhoria das Condições Operativas do Sistema da CERON

J. Cabral Neto (CERON), G. Lambert Torres (CGTI), C.H. Valério de Moraes (CGTI), C.I.A. Costa (CGTI), L.E. Borges da Silva (CGTI), S. Rissino (UNIR) e M.F. da Silva (UNIR)

Resumo- Este artigo apresenta os desenvolvimentos realizados no projeto sob o mesmo título do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico da Centrais Elétricas de Rondônia / Eletrobras Distribuição Rondônia (CERON). O objetivo deste projeto é o desenvolvimento de metodologias, implementadas em pacotes computacionais, visando um melhor desempenho operativo das redes da companhia. Basicamente, estas metodologias estão ligadas à 4 áreas principais, a saber: Reconfigurador Sistemico, Análise de Agrupamento e Tipificação da Carga, Observador Sistemico, e Análise e Ajuste de Seletividade de Proteções. O primeiro permite que sejam estabelecidos planos de ação para o restabelecimento expedito das redes da CERON. O segundo agrupa e classifica as cargas, possibilitando sua utilização em diversos programas da operação. O terceiro auxilia o operador a conhecer o ponto de operação do sistema em um dado instante. E, o quarto programa, auxilia na análise da proteção do sistema, sugerindo ajustes e verificando os existentes. Todos estes programas computacionais utilizam sistemas híbridos inteligentes.

Palavras-Chave- Operação, Carga Sistemica, Proteção, Reconfiguração, Restabelecimento, Estimação de estado, Proteção, Sistemas inteligentes, Sistemas híbridos.

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a complexidade da operação dos sistemas de distribuição tem aumentado consideravelmente, pois além do crescimento do número de ramais, os investimentos neste sistema não tem acompanhado o crescimento da carga atendida, fazendo com que os equipamentos trabalhem bem mais próximos de sua capacidade nominal. Isto faz com que a reconfiguração do sistema deva levar em consideração o tempo reparo do defeito, a carga de cada ramal e uma otimização dos procedimentos operativos [1,2].

Por outro lado, cada vez mais os consumidores estão exigentes quanto à continuidade do fornecimento de energia elétrica. Índices, como DEC e FEC, têm sido cada vez mais fiscalizados e cobrados pelas agências reguladoras. Inclusive, reduções dos valores desses índices estão sendo programadas para ocorrerem. É sabido, que ultrapassagens desses valores podem levar as concessionárias ao pagamento de multas.

Em adição a estes tópicos, pode-se também relacionar o stress causado no corpo técnico da companhia durante uma

José Cabral Neto trabalha na Centrais Elétricas de Rondônia / Eletrobras Distribuição Rondônia - CERON (e-mail: cabral@ceron.com.br).

Germano Lambert Torres, Carlos Henrique Valério de Moraes, Cláudio Inácio de Almeida Costa e Luiz Eduardo Borges da Silva são colaboradores do Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação (e-mail: {germanoltorres, carloshvmoraes, leborgess@gmail.com, claudiocosta@yahoo.com}).

falta de energia no sistema. Os operadores devem tomar decisões rápidas, por vezes sem ter uma completa idéia do sistema geral do sistema. O stress e a necessidade de decisões rápidas levam, via de regra, a soluções não otimizadas ou mesmo a soluções que podem comprometer o sistema (ou algum de seus equipamentos). Com isto, a existência de uma ferramenta que auxilie o operador durante a falta de energia é bastante útil, pois fornece os elementos necessários para uma tomada de decisão segura sobre o que e como fazer.

Pretendeu-se então desenvolver neste projeto quatro linhas de ação que geraram quatro programas computacionais que podem atuar em conjunto ou separadamente conforme a necessidade dos técnicos da concessionária, são eles: um reconfigurador sistemico, um analisador de agrupamento e tipificação de carga, um observador sistemico e um programa de análise e ajuste da proteção. Estas quatro linhas de ação terão como suporte o desenvolvimento de sistemas híbridos, compostos por técnicas de inteligência artificial e rotinas numéricas convencionais.

II. APRESENTAÇÃO GERAL DO PACOTE COMPUTACIONAL

II.1 Visão Geral dos Programas

O pacote computacional foi concebido, estruturado e implementado de uma forma modular, garantindo maior flexibilidade quanto à expansão e implementação de modificações operacionais, além de construir uma base de conhecimento que siga a filosofia operativa da concessionária.

1. Reconfigurador Sistemico

Este módulo estabelece um conjunto de procedimentos, que foram implementados em pacotes computacionais, para auxílio aos operadores no restabelecimento da rede de distribuição da CERON. Este projeto visa desenvolver um plano de ação para ser aplicado quando da ocorrência de um defeito no sistema de distribuição. Este plano estabelecerá qual o estado final do sistema, bem como todos os passos que deverão ser feitos para que ele seja atingido.

2. Analisador de Agrupamento e Tipificação de Carga

As curvas de carga são perfis de demanda em períodos de tempo específicos. De posse dessas curvas se determinam as porções de consumo correspondentes a cada tipo de setor (residencial, comercial e industrial) presentes na curva fornecida. Isto proporciona uma série de vantagens operativas e no processo de tomada de decisão, notadamente quando a observabilidade do sistema não é

muito grande (fato que ocorre sempre nos sistemas de distribuição). A aplicação prática aqui proposta consiste em avaliar curvas de carga de um ponto qualquer da rede de distribuição e identificar a quantidade de energia consumida referente a cada um destes setores.

3. Observador Sistemico

Neste módulo se desenvolveu um pacote computacional para a extração de conhecimentos de uma base de dados que contém diferentes estados operativos, definindo uma estratégia de observabilidade para a rede de distribuição da concessionária. O objetivo deste pacote é reduzir as condições operativas inseguras, através da utilização das informações contidas em seu banco de dados operativo. E, também, desenvolver um classificador hierárquico híbrido para determinar o estado operativo do sistema.

4. Programa de Análise e Ajuste da Proteção

Neste módulo desenvolveu um conjunto de rotinas para verificar a adequação da proteção à carga atendida e analisar seus ajustes visando uma coordenação e seletividade.

II.2 A Estrutura Interna do Pacote Computacional

Este projeto utilizou a técnica de multi-agentes inteligentes. A Inteligência Artificial Distribuída (IAD) introduz à Inteligência Artificial tradicional o conceito de sociedade, e, a partir dele, o conceito de Multiagentes [3]. Um Agente Inteligente é um programa com núcleo inteligente que se integra a uma sociedade modular, seguindo premissas padronizadas de comunicação e tendo função específica dentro dessa sociedade.

O agente pode ser visto como uma estrutura que percebe o ambiente através de sensores e atua nesse ambiente através de atuadores. O agente consiste de um hardware ou um sistema computacional baseado em software que possua as seguintes propriedades: autonomia, habilidade social, reatividade e iniciativa própria [4].

Um agente baseado em conhecimento é aquele que pode conhecer o seu mundo e raciocinar sobre seus possíveis cursos de ação. Pode aceitar novas tarefas e metas, adquirir e atualizar conhecimento baseado nas mudanças do ambiente e se adaptar a essas mudanças. Esse agente precisa ter noções sobre o estado corrente do mundo, saber como inferir informações não visíveis do mundo a sua percepção, entender como o mundo se modifica com o correr do tempo, o que ele quer desenvolver e que tipo de ação tomar em circunstâncias variadas.

Um agente baseado em conhecimento tem como núcleo uma Base de Conhecimento, que é um conjunto de representações de fatos sobre o mundo. Cada representação é chamada de sentença. As sentenças são expressas na chamada linguagem de representação de conhecimento.

A técnica de modelagem funcional multi-agentes inteligentes tem se mostrada apropriada para adquirir conhecimentos operativos. Como a aquisição de conhecimento está baseada no modelo multi-agentes inteligentes, obter um bom modelo é fundamental.

O domínio de planejamento baseado em multi-agentes inteligentes pode ser entendido facilmente mesmo assim é necessário o desenvolvimento de operadores específicos de acordo com a aplicação [5]. As modificações necessárias para aplicação em sistemas elétricos é interna às estruturas,

no arranjo das funções multi-agentes inteligentes, facilitando a manutenção e oferecendo flexibilidade ao sistema de apoio à decisão.

II.3 Aspectos Importantes da Ferramenta Utilizada para a Construção do Pacote Computacional

Todos os programas do pacote computacional foram desenvolvidos em Microsoft Dot Net 2008 utilizando a plataforma do Microsoft Framework 3.5, permitindo assim uma vasta gama de recursos mais atuais graças às novas técnicas de programação empregadas nesta plataforma.

A plataforma .NET baseia-se em um dos princípios utilizados na tecnologia Java ((Just In Time Compiler - JIT), os programas desenvolvidos para ela são duplo-compilados (compilados duas vezes), uma na distribuição (gerando um código que é conhecido como "bytecodes") e outra na execução.

E mais, um programa, que for escrito em qualquer das mais de vinte linguagens de programação disponíveis para a plataforma, tem seu código fonte compilado pela linguagem escolhida gerando um código intermediário em uma linguagem chamada MSIL (Microsoft Intermediate Language).

No momento da execução do programa ele é novamente compilado, desta vez pelo compilador JIT, de acordo com a utilização do programa, por exemplo: Temos um Web Site desenvolvido em ASP.NET, ao entrar pela primeira vez em uma página o JIT irá compilá-la, nas outras vezes que algum outro usuário acessar esta página, ele usará esta compilação.

Também é possível, através de ferramentas específicas, "pré-compilar" o código para que não se tenha o custo da compilação JIT durante a execução.

O fato desta arquitetura utilizar a MSIL gera uma possibilidade pouco desejada entre os criadores de software que é a de fazer a "engenharia reversa", ou seja, a partir de um código compilado, recuperar o código original. Isto não é uma idéia agradável para as empresas que sobrevivem da venda de softwares produzidos nesta plataforma, mas bastante útil para as empresas que quiserem dar prosseguimento e evolução a seus softwares.

III. PROGRAMA DO RECONFIGURADOR SISTÊMICO

Nesta versão do programa é possível visualizar na janela principal as barras de ferramentas, os menus de utilização e as abas de acesso as informações.

As principais funcionalidades do programa são mostradas na Figura 1, através dos seguintes botões:

- Novo – Abre um novo projeto de configuração;
- Abrir – Abre um projeto salvo em arquivo anteriormente;
- Salvar – Salva o projeto atual em um arquivo;
- Flow – Executa um fluxo de carga no sistema elétrico cadastrado;
- Executar – Executa a reconfiguração do sistema.



Figura 1 – Barra de ferramentas do programa.

Os menus do programa são compostos em 3 subgrupos básicos: Arquivo, Cadastro e Ajuda. O menu arquivo é composto das seguintes funções:

- Novo – Abre um novo projeto de configuração;
- Abrir – Abre um projeto salvo em arquivo anteriormente;
- Salvar – Salva o projeto atual em um arquivo;
- Importar – Abre menu de importação de componentes elétricos
- Sair – Sai do programa.

O menu Importar é composto das seguintes funções, mostradas no Figura 2:

- Barras – Importa arquivo texto de barras para o programa;
- Linhas – Importa arquivo texto de linhas para o programa.

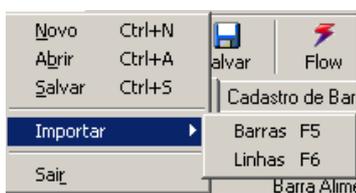


Figura 2 – Menu importar

O menu Cadastro é composto das seguintes funções:

- Manobra – Abre aba de edição de manobra;
- Linhas – Abre aba de edição e cadastro de linhas;
- Barras – Abre aba de edição e cadastro de barras.

O programa possui 3 abas para acesso a equipamentos e ajustes da reconfiguração, conforme mostrado na Figura 3, que são:

- Informação da Manobra
- Cadastro de Barras
- Cadastro de Linhas



Figura 1 – Abas de equipamentos.

A aba de Informação da Manobra tem como finalidade permitir ao usuário fornecer os dados para realização da manobra na ferramenta de reconfiguração. Nela, existe a opção de escolha de dois modos de funcionamento da reconfiguração do programa, a saber:

- Modo Básico – Onde é necessário informar apenas a barra destino que se deseja energizar;
- Modo Avançado – Onde é necessário informar a barra destino e alimentadora para criar um caminho personalizado.

Os dados de entrada para esta opção são mostrados na Figura 4, que são:

- Barra destino – barra que se deseja energizar sem causar grandes problemas de sobrecarga ou tensão sobre o sistema;
- Barra alimentadora – Barra que alimentará a barra destino na opção de modo avançado de reconfiguração;
- Fator de busca – Fator que indica o caminho máximo a ser encontrado no algoritmo de busca a partir do menor caminho encontrado, 1.1 indica

encontra um caminho 110% maior que o menor caminho.

Figura 4 – Entrada de dados para reconfiguração.

A aba de Cadastro de Barras tem como função cadastrar as barras ou pontos de medição do sistema onde serão conectadas as cargas para a análise do reconfigurador. Essa grade é composta das seguintes colunas:

- Código da Barra – Número da barra para identificação no sistema;
- Potência da barra – Indica a potência total das cargas existentes na barra indicada;
- Tensão – Tensão existente na barra, gerada pelo fluxo de carga calculado a partir do botão “Flow”;
- Ângulo – Ângulo da tensão existente na barra, gerada pelo fluxo de carga calculado a partir do botão “Flow”.

A barra de ferramentas da aba de Cadastro de Barras é composta das seguintes funções:

- Adicionar – Adiciona uma nova barra a lista;
- Editar – Altera os valores da barra selecionada na lista;
- Remover – Remove barra selecionada na lista.

A aba de Cadastro de Linhas tem como função cadastrar as linhas ou transformadores do sistema para a análise do reconfigurador. Essa grade é composta das seguintes colunas:

- Código da linha – Identificador único da linha;
- Barra De – Barra de origem da linha;
- Barra Para – Barra de destino da linha;
- Capacidade – Capacidade de fluxo de energia na linha;
- Comprimento – Tamanho da linha em metros;
- Cabo – Identifica o tipo de cabo em uma lista de cabos;
- Carregamento – Fornece o carregamento atual da linha após a execução do fluxo de carga ao pressionar o botão “Flow” da barra de ferramentas principal.

A barra de ferramentas da aba de Cadastro de Linhas é composta das seguintes funções:

- Adicionar – Adiciona uma nova linha a lista;
- Editar – Altera os valores da linha selecionada na lista;
- Remover – Remove linha selecionada na lista;
- Operando – Muda estado atual da linha selecionada para operando;
- Aberta – Muda estado atual da linha selecionada para aberta;
- Falha – Muda estado atual da linha selecionada para falha.

O botão “Flow” na barra de ferramentas do programa faz com que ele gere os valores de tensão, ângulo e fluxo nas barras e linhas catalogadas no sistema em estudo.

Para se desenvolver a análise de uma reconfiguração sistêmica deve-se indicar o alimentador (ou alimentadores) que teve (tiveram) problema(s). Desta forma, ao se solicitar a reconfiguração, o programa verifica as barras sem alimentação ou as sobrecargas do sistema e apresenta as melhores soluções aos usuários, conforme mostrado na Figura 5. As 3 melhores soluções em ordem de preferência do programa estabelecido pelo perfil de tensões e carregamento das linhas é o fechamento da linha L50, ou pela linha L49, e, em terceiro lugar, pela linha L39. Em nenhuma solução ocorreu sobrecarga, subtensão ou sobretenção. Caso tivessem existido, as linhas e barras afetadas seriam listadas.

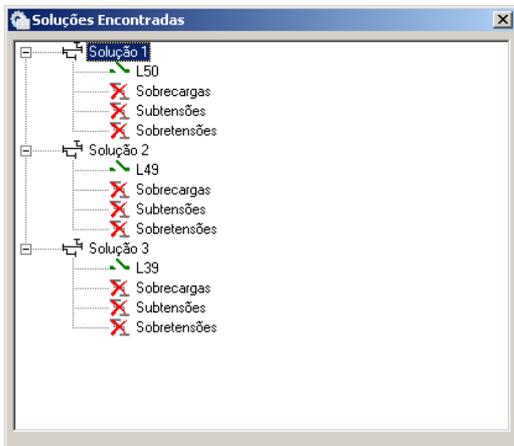


Figura 5 – Chaves de socorro indicadas para a solução do problema.

IV. PROGRAMA DE ANÁLISE DE AGRUPAMENTO E TIPIFICAÇÃO DE CARGA

O objetivo principal deste programa foi desenvolver uma ferramenta de agrupamento e geração de gráficos e tabelas através dos agrupamentos quantitativos das curvas de tipificação das cargas, em grupos tarifários e tipos de consumidores.

O programa funciona no princípio de agrupar dados através de pesos atribuídos pelo usuário e assim calcular uma nova tipificação, obtendo uma curva a ser utilizada. Este procedimento está representado na Figura 6.

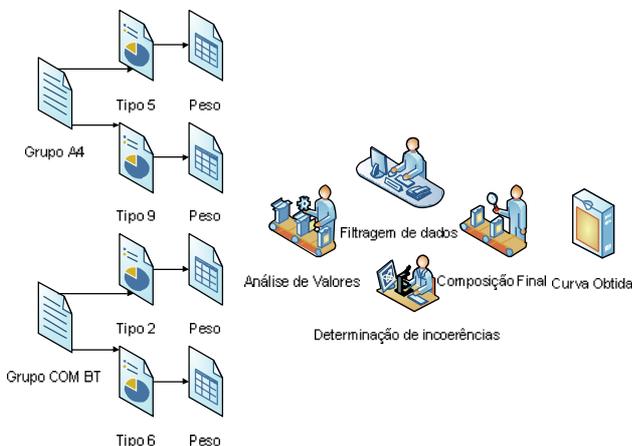


Figura 6 – Diagrama em blocos do processo de agrupamento das tipificações

O sistema empregado para a produção da curva agrupada foi a metodologia de multi-agentes, na qual, um conjunto de programas ou processos computacionais associados e que utilizam uma hierarquia de comunicação para seu funcionamento.

A janela principal do programa para o agrupamento de tipificações é composto pelo formulário mostrado na Figura 7.

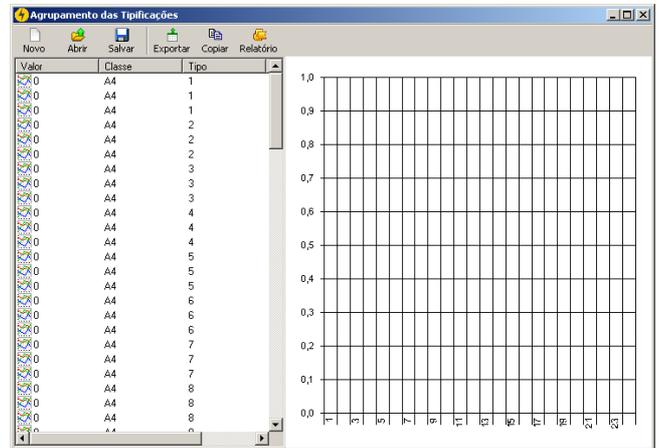


Figura 7 – Janela principal do programa.

A janela principal é formada de uma barra de ferramentas e duas áreas de trabalho. A primeira delas trata-se de uma tabela, contendo todos os grupos tarifários, tipificações e dias de análise no banco de dados de tipificação existente. Nesta tabela é possível editar os valores de peso para as curvas típicas para a formação da curva final agrupada.

Na segunda região da janela é mostrada a curva agrupada final obtida pelos cálculos do programa, assim é possível o usuário, em tempo de desenvolvimento, visualizar os acontecimentos dos agrupamentos das curvas típicas da CERON e ajustar imediatamente caso não esteja de seu interesse.

A descrição das funções existentes na barra de ferramentas é feita a seguir:

- Novo - Iniciar um novo projeto de agrupamento, zerando os pesos atuais da tabela de tipos
- Abrir - Abre um projeto de agrupamento existente em disco e mostra os pesos ajustados neste arquivo.
- Salvar - Salva o projeto de agrupamentos atual em um arquivo em disco para uso futuro ou ser repassado a outro usuário.
- Exportar - Exporta agrupamento atual para um arquivo texto ou separado com vírgulas.
- Copiar - Copia a tabela do gráfico para ser utilizado por outro programa.
- Relatório - Informa os pesos atribuídos pelas tipificações que estão gerando o gráfico agrupado mostrado na janela

A forma direta de editar pesos para as tipificações é utilizando a tabela de tipos existente a esquerda da janela principal. Para editar um peso específico apenas pressione

o mouse sobre o valor do tipo selecionado e o mesmo abrirá para edição, conforme mostrado na Figura 8.

0	A4	3	Sábado
0	A4	4	Dia Util
0	A4	4	Domingo
0	A4	4	Sábado
0	A4	5	Dia Util
0	A4	5	Domingo
0	A4	5	Sábado
0	A4	6	Dia Util
0	A4	6	Domingo
0	A4	6	Sábado
0	A4	7	Dia Util
0	A4	7	Domingo
0	A4	7	Sábado

Figura 8 – Peso aberto para edição.

É importante ressaltar que o peso deve ser escrito com valores numéricos entre 0 e 1, como exemplo os valores de “0,2” ou “0,743”. Caso a condição de valor do peso não seja respeitada o programa cancelará a edição do peso selecionado.

Com a edição dos pesos imediatamente a curva resultante se forma na área do formulário a direita, como o mostrado na Figura 9.

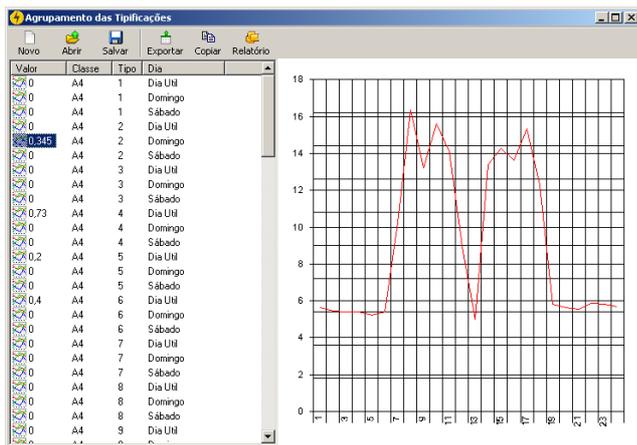


Figura 9 – Gerando curva agrupada através dos pesos editados a direita.

Com a curva gerada ideal para uso dos procedimentos, é necessário agora exportá-la ou copiá-la para outro programa. Assim é possível realizar esse procedimento pressionando o botão “Copiar” da barra de ferramentas e assim colando diretamente sobre o Microsoft Word®, Microsoft Excel® ou mesmo sobre o Notepad do Windows.

O programa permite ainda salvar e abrir pesos editados de agrupamento, para isso é necessário utilizar os comandos existentes na barra de ferramentas.

V. PROGRAMA DE OBSERVABILIDADE SISTÊMICA

A análise de observabilidade representa a fase inicial na determinação do estado estimado do sistema e o objetivo básico é tratar da factibilidade do problema de estimação. Ela é composta por um conjunto de funções que indicam se a quantidade e a localização das medidas são adequadas para obtenção do estado estimado. Além disso, identifica quais partes da rede são observáveis (ilhas observáveis), indica as medidas descartáveis e propõe a melhor localização das medições no sistema.

O problema da observabilidade de sistemas de potência consiste essencialmente em se determinar se as medidas que compõem um determinado plano de medição fornecem informação suficiente para a estimação dos estados do sistema. A análise da observabilidade é particularmente importante na operação em tempo real de sistemas de potência, pois seus resultados podem determinar mudanças nos procedimentos para se estimar os estados do sistema.

Em caso de deficiência no plano de medição. Por exemplo, a rotina de observabilidade pode fornecer subsídios para, em uma etapa subsequente, proceder-se à estimação de estados dos componentes (ilhas) observáveis do sistema. Alternativamente, é possível se lançar mão de procedimentos para a alocação de pseudomedidas apropriadas que, adicionadas ao plano de medição deficiente, permitirão a recuperação da observabilidade do sistema como um todo.

Outro subproduto importante da análise de observabilidade é a determinação de medidas críticas e pares críticos. A sua cor reta identificação é importante tanto Para indicar pontos de reforço do plano de medição quanto para o processamento de erros grosseiros.

As rotinas para determinação da observabilidade também se constituem em valiosa ferramenta de projeto do sistema de medição. Busca-se com esta ferramenta garantir a obtenção de estimativas confiáveis mesmo no caso de ocorrência de perda de algumas medições durante a operação, por falha do sistema de telemedição ou por eliminação decorrente do processamento de erros grosseiros. Os testes de observabilidade podem ser utilizados para avaliar os planos de medição propostos e indicar onde estes devem ser reforçados, através do acréscimo de novas medidas.

A janela principal da ferramenta ObservaCERON é apresentada na Figura 10.

Figura 10 – Formulário principal da ferramenta.

A janela é composta de quatro partes distintas para trabalho.

- Barra de Menus
- Barra de Ferramentas
- Tabela de Barras
- Tabela de Linhas

A barra de menus é composta:

- Arquivo: manipula as ações de arquivo do projeto de observabilidade, com as seguintes opções: Novo, Abrir, Salvar, Salvar como e Sair
- Editar: Altera as propriedades de linhas e barras, com as seguintes opções: Recortar, Copiar, Colar, Apagar todas as barras e Apagar todas as linhas
- Visualizar: exibe outras opções do sistema elétrico
- Ferramentas: realiza análise de observabilidade e fluxos AC do sistema, com as seguintes opções: Análise, Fluxo AC e Opções
- Ajuda, com as seguintes opções: Tópicos e Sobre o programa

A barra de ferramentas é composta de: Novo, Abrir, Salvar, Indicar barra Swing e Ajuda

A tabela de barras permite a inserção, edição ou remoção das barras que compõem o sistema elétrico de distribuição que deseja realizar a análise de observabilidade. Os campos da tabela de barras são os seguintes:

- Código: nome ou número para a identificação da barra
- Consumo [kWh]: consumo dos consumidores existentes na barra
- Demanda [kVAS]: demanda típica dos consumidores da barra.
- Tensão [p.u.]: tensão calculada pelo fluxo AC.
- Ângulo: ângulo da tensão na barra.

Um exemplo desta janela é apresentado na Figura 11.

Código	Con. [kWh]	Dem. [kVAS]	Tensão [pu]	Ângulo
32			1,0000	0,0000
1	0	0	0,9842	-1,3059
110	19047	119,8	0,9888	-0,7853
111	18531	120,4	0,9897	-0,6904
114	32501	156,6	0,9913	-0,5117
115	1920	20,7	0,9919	-0,4465
116	14240	80,9	0,9918	-0,4516
117	2414	26,4	0,9919	-0,4491
125	13949	81,4	0,9919	-0,4383
137	11294	80,3	0,9899	-0,5630

Figura 11 – Tabela de barras preenchida.

A tabela de linhas permite a inserção, edição ou remoção das linhas que compõem o sistema elétrico de distribuição que deseja realizar a análise de observabilidade. Os campos da tabela de linhas são os seguintes:

- Barra De: código da barra de origem da linha.
- Barra Para: código da barra de destino da linha.
- R [ohms]: resistência da linha
- X [ohms]: impedância da linha
- Fluxo [kVA]: fluxo de corrente calculado pelo Fluxo AC

Um exemplo desta janela é apresentado na Figura 12.

Para realizar a tarefa da análise de observabilidade do sistema elétrico de distribuição, foi inserida na ferramenta uma função de fluxo AC para realizar as etapas iniciais de cálculo. Para executar o fluxo basta apenas preencher devidamente as tabelas de barras e linhas com os valores encontrados no sistema de distribuição que deseja analisar

e pressionar o menu “Ferramentas>Fluxo AC”, gerando a Figura 13.

Barra De	Barra Para	R [ohms]	X [ohms]	Fluxo [kVA]
1	407	0,00951	0,01857	0
407	408	0,00951	0,01857	24,07
408	1613	0,01901	0,03714	112,9
1613	409	0,02376	0,04643	125,54
409	594	0,01901	0,03714	180,02
594	6218	0,00951	0,01857	218,15
6218	776	0,00951	0,01857	219,10
776	411	0,01901	0,03714	281,05
411	412	0,01901	0,03714	294,74

Figura 12 – Tabela de linhas devidamente preenchida.

(a)

(b)

Figura 13 – Sistema de distribuição: (a) antes do fluxo AC e (b) depois do fluxo AC.

A partir da ferramenta de análise de estados e o fluxo AC é aplicado uma algoritmo de conjuntos aproximados com algoritmos genéticos que obtêm as regras de associação entre as barras.

Para executar esta função pressiona-se o menu “Ferramentas>Análise” onde será exibida uma árvore de interligações entre as barras formando a descrição do sistema de distribuição atual. A Figura 14 mostra um mapa de associação de barras do sistema.

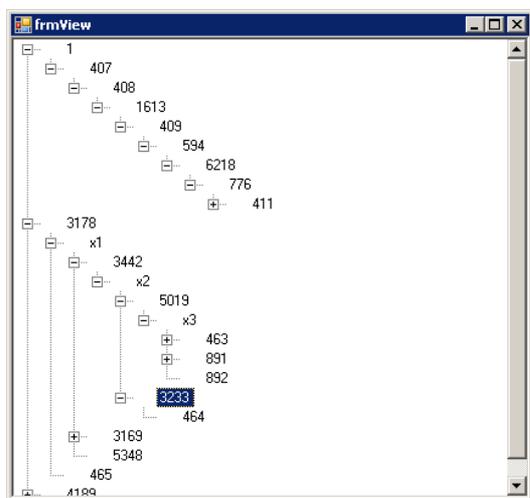


Figura 14 – Mapa de associações entre barras do sistema de distribuição

VI. PROGRAMA DE ANÁLISE E AJUSTE DA PROTEÇÃO

O objetivo desta ferramenta computacional é unir as metodologias apresentadas nos documentos técnicos deste estudo, criando um programa eficiente e versátil de estudo de seletividade em proteções em sistemas de distribuição. Unindo as características de confiabilidade, sensibilidade e velocidade, o programa tende a obter resultados que indiquem a melhor forma de apresentar estas funções para inúmeros tipos de sistemas elétricos possíveis a serem gerados em sua interface.

O intuito da ferramenta computacional é simplificar a utilização das técnicas e metodologias apresentadas sobre seletividade de proteções do sistema de distribuição, envolvendo principalmente: subestações, ramais de alimentação e consumidores. Assim esta ferramenta foi construída com as mais novas técnicas de programação gráfica, permitindo a produção de uma interface simples e intuitiva.

A maioria das ferramentas utilizadas na engenharia elétrica, normalmente, apresenta uma interface de pouca acessibilidade e com complexas formas de acesso a seus comandos. Quebrando este paradigma, o programa SelPro CERON tem uma interface que permite a manipulação dos sistema de distribuição a ser desenvolvido, acessando as propriedades de cada elemento do mesmo pressionando o mouse sobre um dos itens inseridos em sua interface, sem a necessidade de novas janelas ou comandos especiais do teclado. Isso garante que o usuário não terá dificuldade no acesso de suas funções de controle do ajuste da seletividade, pois isto é feito de forma automática por um conjunto de algoritmos, que utilizam técnicas de inteligência artificial, proporcionando um ajuste mais otimizado da coordenação nas proteções do sistema analisado.

A janela principal do programa, mostrada na Figura 15, é formada de três áreas de trabalho para a montagem do sistema de distribuição em estudo, abaixo é mostrada a

inicialização do programa onde nenhum equipamento ainda foi inserido no programa.

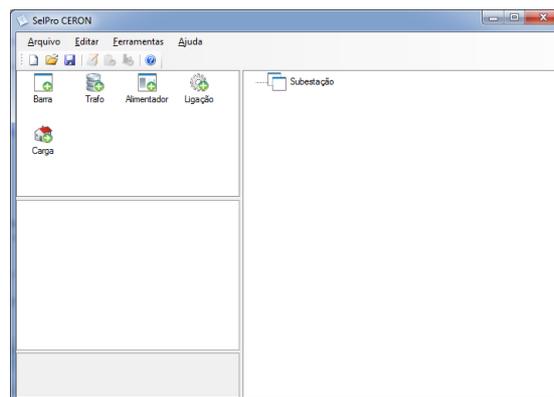


Figura 15 – Janela principal da ferramenta.

As três regiões que formam a janela principal são as seguintes: equipamentos para inserção (superior esquerdo), sistema elétrico a ser editado (direito) e propriedades do equipamento inserido e selecionado (inferior esquerdo), conforme mostrado na Figura 16.

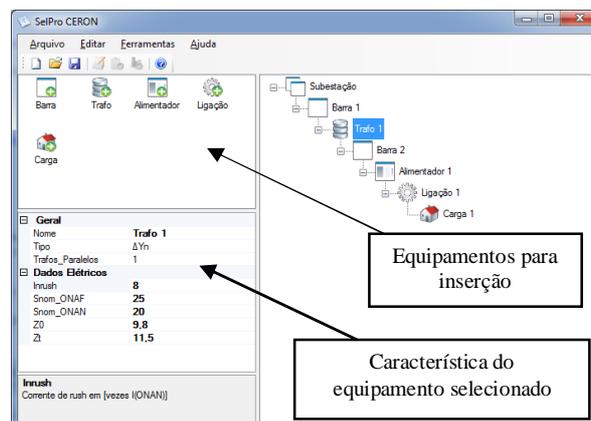


Figura 16 – Identificação das áreas da janela principal.

A barra de ferramentas da janela principal concentra as principais funções do programa para o estudo da seletividade. Assim, abaixo é listada e descrita cada uma de suas funções.

- Novo – inicia um novo projeto da ferramenta, apagando o conteúdo da área do sistema elétrico de distribuição;
- Abrir – abre um sistema elétrico salvo anteriormente, armazenado em um arquivo com extensão “selpro”;
- Salvar – salva o projeto de distribuição e proteção atual em um arquivo com extensão “selpro”;
- Recortar, copiar e colar – permite o manuseio dos itens na área de edição do sistema, recortando, copiando e colando os itens selecionados e diversos locais diferentes do local original que estavam;
- Análise – permite analisar os equipamentos adicionados na área de edição do sistema elétrico de distribuição, gerando os estudos de seletividade e proteção. Ao término do estudo o relatório de análise é exibido ao usuário;

- Relatório – após os cálculos da análise de proteção e seletividade, o usuário pode novamente visualizar o relatório de saída por esta função. Caso algum item seja alterado no programa, este relatório ficará desabilitado novamente, até que uma nova análise seja realizada;
- Gráfico – permite exibir com detalhes o gráfico de seletividade da proteção após a execução da análise pelo usuário. Caso algum item seja alterado no programa, este gráfico ficará desabilitado novamente, até que uma nova análise seja realizada

A criação de um novo estudo de proteção sobre um sistema de distribuição por um usuário em modo passo a passo, como será mostrada a seguir.

Para inserir um novo equipamento no editor de sistema, é necessário seguir os seguintes passos:

1. Pressionar o mouse sobre o tipo de equipamento a ser inserido na área superior esquerda da janela;
2. Mantendo o mouse pressionado, mova o equipamento para o item “Subestação” ou para qualquer outro item que deseja inserir como dependente.
3. Solte o botão do mouse, o novo item deverá aparecer abaixo do equipamento que o botão foi liberado.

É importante lembrar que o novo item passa a ser filho (eletricamente ficará em série) com o outro equipamento já existente no diagrama no qual foi liberado pelo mouse. Este processo está representado na Figura 17.

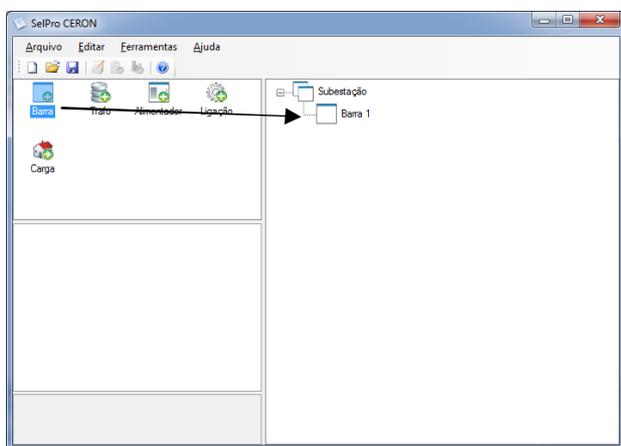


Figura 17 – Inserindo novo item no diagrama.

Caso o item tenha sido inserido na posição incorreta, pressione a tecla “DEL” do teclado para a remoção do mesmo selecionado no diagrama do programa.

Depois da inserção do item no sistema de distribuição, suas propriedades podem ser editadas apenas pressionando o mouse sobre o equipamento que deseja ser editado e alterando suas características na região inferior esquerda da janela principal, conforme mostrado na Figura 18.

A Tabela 1 lista as propriedades existentes em cada um dos tipos de equipamentos presentes na ferramenta que determinam o funcionamento da análise da proteção.

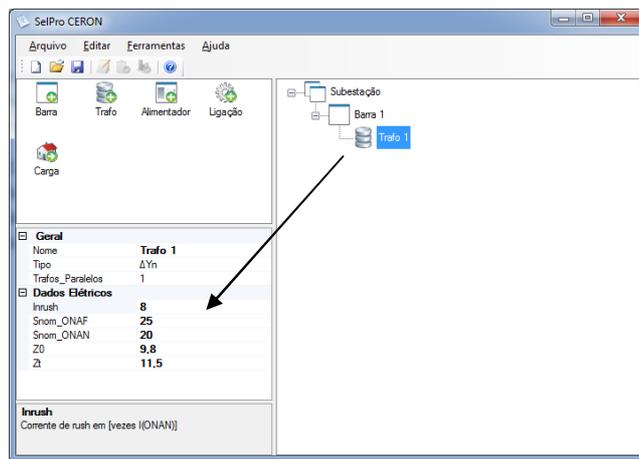


Figura 18 – Alterando propriedades do transformador selecionado.

Tabela 1 - Propriedades dos Equipamentos

Barra

Propriedade	Descrição
Nome	Nome da barra para identificação do usuário no estudo, referenciando uma barra existente.
Dados Elétricos	
IBarra	Corrente na barra sugerida, o programa pode calcular a corrente nesta barra devido as cargas ligadas a ela (usar valor = 0), mas caso o usuário deseje colocar um valor, o programa admitirá ele como sendo a corrente presente nesta barra. Valor em amperes.
Scc3f	Potência de curto-circuito trifásico na barra, se for informado zero, o programa calculará a potência de cc neste local. Valores em mega VA.
VNominal	Tensão nominal da barra em kilo volts.

Trafo

Propriedade	Descrição
Nome	Nome do transformador para identificação do usuário no estudo, referenciando um transformador existente.
Tipo	Tipo de ligação do transformador, delta, estrela ou estrela aterrada de primário ou secundário.
Trafos Paralelos	Informa se este é um banco de transformadores (>1) e quantos existem em paralelo. As informações elétricas é para apenas um dos transformadores.
Dados Elétricos	
InRush	Corrente de magnetização, quando o transformador é ligado ao sistema. Deve ser informada em quantas vezes ela é maior que a corrente ONAN do mesmo.
Snom_ONAF	Potência nominal forçada do transformador em mega VA.
Snom_ONAN	Potência nominal normal do transformador em mega VA.
Z0	Impedância de seqüência zero do

	transformador em % relacionada à potência nominal como base em p.u.
Zt	Impedância nominal do transformador em % relacionada à potência nominal como base em p.u.

Alimentador

Propriedade	Descrição
Nome	Nome do alimentador para identificação do usuário no estudo, referenciando um alimentador existente.
Dados Elétricos	
Imax	Corrente máxima que as cargas ligadas ao alimentador apresentarão em amperes.

Ligação

Propriedade	Descrição
Nome	Nome da ligação para identificação do usuário no estudo, referenciando um conjunto de linhas que interligam o ramal a carga.
Dados Elétricos	
Cabo	Tipo de cabo mais utilizado nesta ligação.
Distancia	Distância em metros que compreende esta ligação.

Carga

Propriedade	Descrição
Nome	Nome da carga ou local para identificação do usuário no estudo, referenciando um conjunto de cargas existentes no ramal.
Dados Elétricos	
Demanda	Demanda elétrica máxima da carga em kilo Watts.

Com a montagem do diagrama elétrico do sistema de distribuição do estudo, deve-se iniciar uma análise de seletividade da proteção pressionando o item “Análise” presente na barra de ferramentas ou no menu “Ferramentas” do programa. A análise é executada em quatro etapas distintas:

1. Cálculo do fluxo de carga linear sobre os componentes do sistema, verificando a corrente nominal máxima presente sobre cada equipamento presente do sistema de distribuição estudado;
2. Cálculo da impedância de curto-circuito para cada etapa do diagrama, permitindo a análise da corrente de cc de sequência positiva e negativa em cada parte do ramal estudado;
3. Determinação dos ajustes nos relés de sobrecorrente temporizado e instantâneo para as fases e neutro. A determinação da utilização de outros relés (diferencial, direcional, etc);
4. Otimização da seletividade calculada, montando uma análise gráfica do sistema, permitindo reduzir o tempo entre os relés e melhorando a coordenação da proteção no sistema.

O programa permite que, após a execução da análise, o usuário possa novamente visualizar o relatório de execução e o gráfico de seletividade em detalhes na ferramenta. A Figura 19 apresenta o relatório de análise da seletividade de proteção obtida para o sistema.



Figura 19 – Relatório da análise da seletividade de proteção obtida para o sistema.

A partir do exemplo da Figura 20 foi obtido o relatório de análise de seletividade da proteção, com os dados a seguir:

Barra - Barra 1 (138kV)
Transformador - Trafo 1 (20/25 MVA) TC (150/5 A) Relé 51 Tape (5,2A) NI DI(0,15) Relé 50 Tape (35,9A)
Barra - Barra 2 (13,8kV) TC (800/5 A) Relé 51 Tape (6,3A) MI DI(0,18) Relé 50 Bloqueado
Alimentador - Alimentador 1 TC (250/5 A) Relé 51 Tape (5,5A) MI DI(0,01) Relé 50 Tape (14,7A) Relé 46 Tape (0,48A)
Carga BT - Carga 1 (127kW) Elo Fusível (14K)

A Figura 20 mostra este sistema, enquanto a Figura 21 mostra as curvas de seletividade.

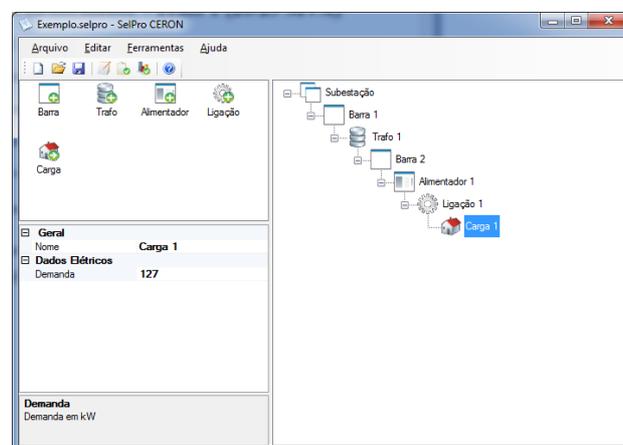


Figura 20 – Exemplo utilizado para ilustração.

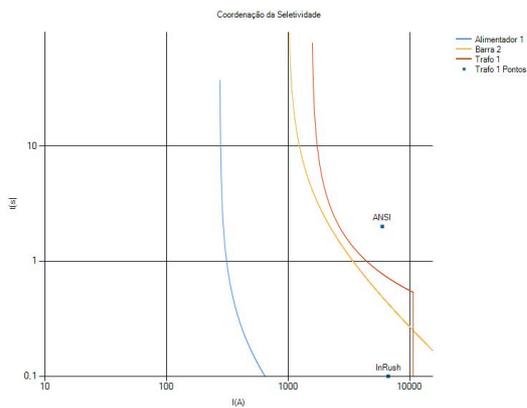


Figura 21 – Curvas da Coordenação da Seletividade.

VI. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um pacote computacional de apoio à tomada de decisão do operador para a operação do sistema elétrico. Este pacote computacional contém 4 módulos principais, que são: um reconfigurador sistêmico, um analisador de agrupamento e tipificação de carga, um observador sistêmico e um programa de análise e ajuste da proteção. Estes módulos podem funcionar em conjunto ou isoladamente e são baseados em técnicas inteligentes e numéricas, formando assim sistemas híbridos inteligentes.

Estes programas foram desenvolvidos de forma a permitir a agregação do conhecimento vivencial e

heurístico dos operadores mais antigos, tornando possível a sua utilização pelos operadores mais jovens.

A utilização desses sistemas em conjunto com outros programas computacionais disponíveis na CERON, poderão otimizar processos operativos do ponto de vista funcional e econômico, além de possibilitar uma futura automação da operação.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M.M. Adibi & L.H. Fink - "Power System Restoration Planning", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 9, no. 1, pp. 22-28, February 1994.
- [2] G. Lambert Torres, G.M. Ribeiro, C.I.A. Costa, A.P. Alves da Silva & V.H. Quintana - "Knowledge Engineering Tool for Training Power-Substation Operators", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, No. 2, pp. 694-699, DOI 10.1109/61.584348, April 1997.
- [3] S.J. Russel & P. Norvig - Artificial Intelligence - A Modern Approach, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1995.
- [4] A.R. Aoki, A.A.A. Esmin & G. Lambert-Torres – "An Architecture of a Multi-Agent System for Power System Operation", WSEAS Transactions on Computers, World Scientific and Engineering Society Press, ISSN 1109-2750, No. 2, Vol. 3, pp. 408-412, April 2004.
- [5] G. Lambert-Torres, J.M. Abe, M.L. Mucheroni & P.E. Cruvinel – Advances in Intelligent Systems and Robotics, IOS Press, 217p, ISBN 1 58603 386-7, Amsterdam, Holanda, 2003.