

# Desenvolvimento de Técnicas Inteligentes para Reconfiguração de Sistemas de Distribuição

G.Lambert Torres (UNIFEI), L.E. Borges da Silva (UNIFEI), A.R. Aoki (UNIFEI),  
C.H.V. Moraes (UNIFEI), B.R. Costa (CEB) e J.A. Barbosa (CEB)

## RESUMO

Este artigo apresenta os desenvolvimentos realizados no Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico da Companhia Energética de Brasília (CEB) sob o mesmo título deste artigo. Este projeto estabeleceu um conjunto de procedimentos, que foram implementados em pacotes computacionais, para auxílio aos operadores no restabelecimento da rede de distribuição da CEB. Este projeto visa desenvolver um plano de ação para ser aplicado quando da ocorrência de um defeito no sistema de distribuição. O pacote computacional desenvolvido foi baseado em técnicas de inteligência artificial e em rotinas numéricas, gerando um sistema híbrido de auxílio a tomada de decisão dos despachantes dos centros de operação.

## PALAVRAS-CHAVE

Operação, Restauração de Sistemas, Suporte à Decisão, Sistemas Especialistas, Sistemas Inteligentes.

## 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].

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 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 [2, 3].

Por outro lado, é sabido que nos centros de operação existem um conjunto enorme de programas que monitoram, em tempo real (“on-line”), as condições de operativas do sistema, a posição das chaves e o suprimento de energia aos consumidores. Estes programas de monitoração são acompanhados também de outros processamentos e procedimentos externos (“off-line”), envolvendo fluxos de potência e previsões de carga a ser atendida, análise de contingências e estimadores de estados e outros mais. O pacote computacional desenvolvido neste projeto foi integrado como mais uma ferramenta de análise que pode ser acessada a qualquer momento pelo despachante, seja para reparar um problema na rede de distribuição, seja para fazer um estudo topológico.

Para que os objetivos do projeto pudessem ser cumpridos, inicialmente, foi desenvolvida uma versão off-line do projeto, o qual permitiu a realização de um conjunto de testes e mudanças/ajustes na metodologia utilizada, o qual gerou um pacote computacional denominado “programa de desenvolvimento”.

Em seguida, com os conhecimentos adquiridos no programa anterior e foi construído o “programa operacional”, que tem finalidade de ser executado dentro do centro de operação da CEB e em consonância com o SAO e os demais programas existentes.

## II. COMPETIÇÃO ENTE AS TÉCNICAS INTELIGENTES

Conforme proposto neste projeto, um de seus objetivos era desenvolver sistemas híbridos com a finalidade de unificar diferentes técnicas de inteligência artificial. Para não perder a objetividade do projeto que era desenvolver um programa computacional que pudesse ter aplicação imediata no centro de operação da CEB, estabeleceu-se

G. Lambert Torres, L.E. Borges da Silva, A.R. Aoki e C.H.V. Moraes são afiliados à Universidade Federal de Itajubá (e-mail: {germano, leborges, aoki, valerio}@iee.efei.br).

B.R. Costa e J.A. Barbosa trabalham na Companhia Energética de Brasília (e-mail: Belmiro, jair@ceb.com.br).

que dever-se-ia estabelecer uma “competição” diversos níveis de integração técnicas inteligentes: sistemas especialistas e sistemas de baseado em casos.

## II.1 Sistemas Especialistas

Um sistema especialista (SE) simular a realização da tarefa por um especialista. A criação de tal sistema capaz de imitar o ser humano e sua capacidade de dedução, desconhecendo como o próprio ser humano infere, pode ser tão complexo quanto o tamanho do escopo do domínio da aplicação.

Aconselha-se restringir o SE a um domínio pequeno de aplicação, pois quanto mais generalizado construir-se esse sistema, maior a base de conhecimento, maior o tempo de processamento e maiores as probabilidades de erros durante a criação e gerência de regras.

Para projetar um SE, o desenvolvedor necessita de uma estrutura básica capaz de armazenar o conhecimento, processá-lo e trocar mensagens com o usuário. Esta estrutura pode ser visualizada na Figura 1, onde se identificam esses elementos básicos:

A Base de conhecimento contém todos os fatos e regras para o funcionamento adequado da aplicação;

A responsabilidade da Interface pode resumir-se na comunicação com o usuário, permitindo a entrada de informações e fornecendo os resultados do sistema;

O Motor de Inferência consulta as regras e os fatos contidos na Base de conhecimento, infere sobre esse conhecimento e retorna uma conclusão ao usuário via a Interface.

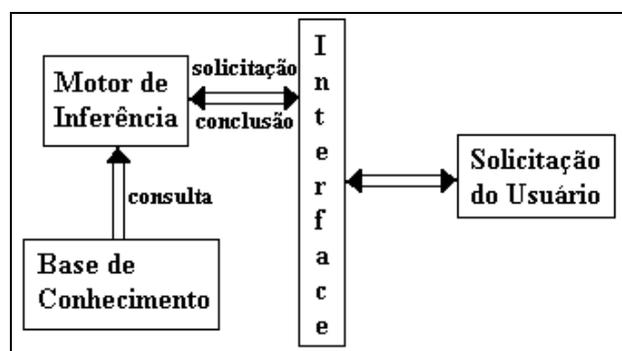


FIGURA 1 – Estrutura de um Sistema Especialista

A máquina de inferência é uma estratégia de controle que faz a gestão da base de conhecimento, especificando a ordem apropriada na qual as regras serão usadas e como resolver conflitos quando mais de uma regra puder ser aplicada. A seguir executa estas regras aplicando as técnicas de busca da solução de problemas, de aplicação do conhecimento, de tratamento de incertezas e de tratamento de conflitos, realizando inferências (deduções). Usa métodos de pesquisa heurísticos e, quando determina que uma solução foi obtida, apresenta as justificativas.

O Espaço de Estados é representado através de uma estrutura do tipo “árvore”, onde cada estado, representado por um nó, que pode ser expandido pela aplicação de operadores geradores de nós sucessores, que por sua vez também podem ser expandidos. O Espaço de Estados pode ser tam-

bém representado por um grafo, onde operadores aplicados a um estado geram caminhos que levam a outros estados.

Existem duas direções segundo as quais a busca dentro de um espaço de estados pode ser realizada:

- Para frente (forward), partindo dos estados iniciais em direção às soluções;
- Para trás (backward), partindo das soluções ou estados finais em direção aos estados iniciais.

Num processo de diagnóstico, direcionar a busca para frente significa obter uma determinada causa para uma série de sintomas apresentados, enquanto que direcionar a busca para trás significa verificar se determinada causa atende a uma série de condições ou características pré-estabelecidas.

O encadeamento para trás é frequentemente descrito como o raciocínio orientado para o objetivo, enquanto o encadeamento para frente costuma ser definido como raciocínio movido pelo evento.

A escolha da direção da busca é função do sentido do gradiente do número de estados conhecidos, ou da direção em que se possa justificar a resposta ou processo de solução.

Desta forma, existe basicamente três modos de busca que são: Busca para Frente, Busca para Trás e Busca Mista ou Bidirecional. A Busca Mista combina os dois sentidos de busca descritos, podendo partir tanto de estados iniciais quanto de soluções.

Na grande maioria das vezes, o espaço de estados de um problema é bastante vasto. A busca da solução de um problema pode ser realizada a partir de uma pesquisa aleatória, ou de uma exaustiva pesquisa no espaço de estados, com o risco de se ter uma explosão combinatória.

A estratégia de controle deve decidir quando as regras de realização devem ser invocadas e deve resolver quaisquer conflitos que possam ocorrer quando várias regras são satisfeitas.

Para tornar o processo o mais eficiente possível, utiliza-se a pesquisa heurística que orienta as decisões a partir de regras heurísticas, como por exemplo, funções de avaliação que indiquem a solução parcial mais próxima da solução final.

Regras heurísticas são aquelas que uma pessoa aprende com a sua experiência, profissional ou não, no dia-a-dia, e que geralmente não possuem representação formal nem estão sob domínio público [4]. São elas que realmente caracterizam um perito ou especialista em determinado assunto. A busca heurística é uma técnica que acrescenta eficiência ao processo de busca, mas que nem sempre leva à melhor solução. Apesar disto, é bastante utilizada, pois na grande maioria dos casos leva a um resultado satisfatório.

## II.2 Raciocínio Baseado em Casos

O paradigma Raciocínio Baseado em Casos (RBC) [5] pressupõe a existência de uma memória onde casos já resolvidos ficam armazenados; usa estes casos, pela recuperação, para ajudar na resolução ou interpretação de novos problemas; e promove a aprendizagem, permitindo que novos casos (recém- resolvidos ou recém- interpretados) sejam incorporados à memória.

Um RBC usa casos anteriores tanto para avaliar, justificar ou interpretar soluções propostas (RBC interpretativo), como para propor soluções para novos problemas (RBC solucionador de problemas).

Raciocínio baseado em casos tem aberto novos campos no que se refere ao suporte baseado em computador, no contexto de problemas de decisão de uma má estrutura. Esta técnica tem sido utilizada como suporte de decisão nos mais diversos domínios do conhecimento como: planejamento, projetos, diagnósticos, e tem se mostrado com melhor desempenho do que outros sistemas de raciocínio.

O objetivo de um sistema de RBC é recuperar de sua memória o caso mais similar ao novo, propor a solução ou uma adaptação deste como solução da nova situação. A utilidade dos casos antigos é determinada pelo acesso de similaridades de um caso novo com o antigo.

A metodologia central do protótipo de recuperação é a determinação da similaridade de um novo caso com todos os casos prévios. As similaridades são determinadas por meio de funções combinações (casamento) e ao longo das características do caso novo e dos casos prévios. Nas próximas seções mostraremos como tratar das similaridades e da função casamento, bem como da arquitetura do protótipo recuperador.

Um caso pode ser considerado um esquema compreendendo um conjunto de pares de valor de atributos, isto é, de descrições. Por exemplo, em um cenário de decisão da sobre uma reconfiguração, um sistema acessa vários pares de valores de atributos, isto é, o “tipo do defeito” tem um valor de “classificação”. Estabelece uma combinação da similaridade do esquema do caso novo com o esquema de um caso prévio. Essa combinação é executada em dois passos:

- i) Determinar a similaridade do esquema do novo caso com o esquema de um caso prévio ao longo das descrições;
- ii) Determinar a similaridade global por meio de funções de combinações.

A similaridade entre o novo caso com um caso prévio ao longo das descrições tem sido determinada usando um conhecimento do domínio em forma de regras de combinações heurísticas e domínio-específico.

A similaridade global de um novo caso com casos prévios é determinada por meio de Funções de Combinação agregando as similaridades ao longo das descrições, a função utilizada neste trabalho é a de Função Cosseno Modificado, que é representada como segue:

$$G_{cas} = \frac{\sum_{i=1}^m \omega_i^n \omega_i^p \left( 1 - \frac{(x_i - y_i)}{R_i} \right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (\omega_i^n)^2 \sum_{i=1}^m (\omega_i^p)^2}}$$

para:  $i=1, \dots, m$  (descrições) e para:  $k=1, \dots, r$  (casos prévios) e onde:

$1 - \left( \frac{(x_i - y_i)}{R_i} \right)$  ≡ denota a semelhança na  $i$ -ésima descrição do novo caso e um caso prévio;  
 $\omega_i^n$  ≡ peso da  $i$ -ésima descrição no vetor peso do novo caso;  
 $\omega_i^p$  ≡ peso da  $i$ -ésima descrição no vetor peso do caso prévio.

A combinação cosseno modificado determina a similaridade global, denominado de “Grau de casamento”,  $G_{cas}$ , entre dois casos pela comparação da frequência dos termos, isto é, o peso das descrições no novo caso e o peso dos termos do caso prévio.

A função mede o cosseno do ângulo entre os vetores pesos do novo e prévio caso, e, cujo cosseno é pesado pelo grau de similaridade ao longo do espaço  $m$ -dimensional de descrições.

Os termos no denominador da equação acima normalizam os vetores pesos pela determinação de seus comprimentos euclidianos. A função similaridade é baseada na relevância (Peso) dos valores da descrição para o diagnóstico. A similaridade entre o valor da descrição presente no novo caso e o valor da mesma descrição presente no caso prévio da memória é tomada como sendo a diferença entre a unidade e uma relação entre os pesos que cada um desses valores tem para o diagnóstico do caso em memória, com o valor da extensão da escala da descrição.

A determinação da importância de uma descrição é colocada em uma escala conforme a Figura 2:



FIGURA 2 - Determinação da Importância da Descrição.

Por exemplo, supondo que uma descrição de um sistema específico seja a temperatura e a determinação de sua importância percorre uma escala cuja extensão está definida como segue na Figura 3:

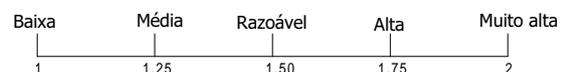


FIGURA 3 - Valores Qualitativos da temperatura.

A similaridade ao longo da descrição pode ser computada, por exemplo, para um valor de Temperatura Muito alta (2) combinado com um valor de Temperatura Média (1,25) como:

$$\text{Similaridade ao longo da descrição} = 1 - (2,0 - 1,25) / 2,0$$

$$\text{Similaridade} = 0,625$$

O processo de recuperação em um Raciocínio Baseado em Casos - RBC, envolve experiências de soluções passadas armazenadas em uma memória que são conhecidas como casos. Essa técnica visa recuperar os mais úteis casos prévios em direção da solução do novo problema de decisão e ignorar os casos prévios irrelevantes.

A recuperação de casos se processa da seguinte maneira, como esquematizada na Figura 4: baseada na descrição do novo problema de decisão (caso novo) o caso base é procurado pelos casos prévios a partir de um suporte de decisão. A procura é feita baseada em similaridades. Os casos prévios passam pela função combinação (grau de casamento) e são ordenados de forma decrescente do grau de casamento. A função combinação determina o grau de similaridade do potencial útil dos casos prévios com um novo caso.



FIGURA 4 – Componentes da recuperação de um RBC.

O protótipo de recuperação necessita de todo corpo de evidências fornecido pela memória, isto é, ele necessita que seja computado o grau de casamento do caso de entrada contra todos os casos da memória.

Na Figura 5 visualizamos a arquitetura do Protótipo Recuperador. Para cada caso da memória é definida uma função casamento entre o caso novo e o mesmo. Essa função computabiliza a Função Crença a favor do diagnóstico desse caso para o caso de entrada.

Os casos prévios determinados pela procura podem ser combinado pelo Gcas e ordenado de forma decrescente de similaridade global. No domínio de diagnósticos, é comum os casos em que o mesmo diagnóstico se manifesta por grupos de sintomas ou características diferentes. É suposto que o “diagnóstico mais apropriado” para a situação de entrada seja aquele que apresentar maior evidência a seu favor, ou seja, aquele que possuir maior Grau de Crença, computada pelo Grau de casamento, Gcas.

O caso sugerido como o “caso mais adequado” é aquele dentre todos os casos da classe de diagnóstico selecionado, que tiver maior Grau de casamento, Gcas. Sendo que os casos pertencentes àquela classe de diagnóstico podem auxiliar na solução do problema novo.

A vantagem em se recuperar o caso é que nele pode ser encontrado informações que foram úteis na solução de problemas anteriores e que podem ajudar na solução do novo caso.

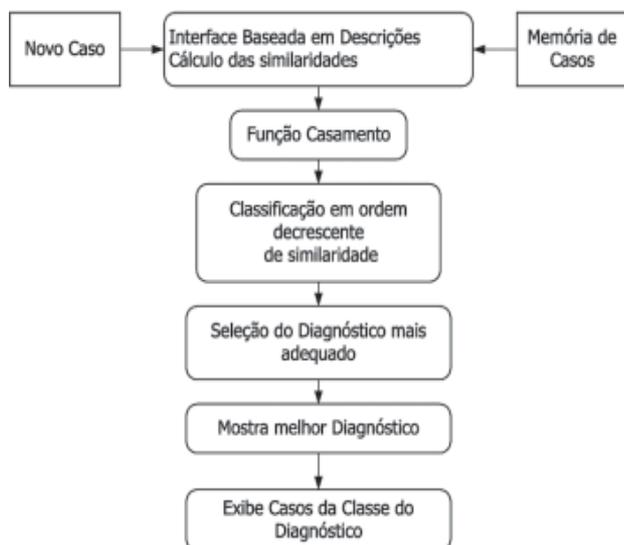


FIGURA 5 - Arquitetura do Protótipo Recuperador.

Assim, as duas técnicas foram integradas de diferentes maneiras (com diferentes graus de integração) e testadas ao longo do projeto no programa de desenvolvimento. Essas integrações foram:

- a) somente os sistemas especialistas
- b) somente o sistema de raciocínio baseado em casos
- c) pré-processamento com RBC e processamento dos casos não encontrados com SE
- d) pré-processamento com RBC e SE e ajuste com SE
- e) os sistemas RBC e SE trocando informações.

Nos casos (a) e (b) não ocorreu integração entre os sistemas, eles foram utilizados isoladamente. Na integração (c), o RBC tinha a missão de tentar achar uma solução porém com um grau de similaridade mínimo pré-definido. Se ele encontra-se a solução, o SE não era acionado; caso contrário, quando ele não encontrava uma solução, o SE processava o sistema.

A integração (d) era similar a integração (c), porém colocava-se a possibilidade de haver ainda uma nova tentativa em um problema de reconfiguração similar gerada pelo SE de pré-processamento, quando o problema original não tinha uma solução gerada pelo RBC dentro do grau de similaridade desejado. Foi tentado também aqui, que o SE relaxasse o grau de similaridade paulatinamente, mas o resultado não foi bom.

Na tentativa de integração (e), os sistemas atuam de forma conjunta, a cada etapa da solução gerada por um deles o outro era acionado para encontrar a solução. Isto gerou um montante de processamento muito grande e regras heurísticas foram colocadas para cotar a busca em árvore, para somente os caminhos mais promissores serem continuados.

Diversos problemas de reconfiguração foram testados nestas três formas de integração e as soluções analisadas. As conclusões foram as seguintes:

- a) o RBC é bastante depende do número de situações previamente armazenadas e de quando estas situações abrangem o possível estado de soluções;
- b) o RBC responde bem quando o grau de similaridade é alto. Deve-se incluir no grau de similaridade o patamar de carga do sistema, isto melhora o desempenho do sistema;
- c) o RBC é fortemente influenciado pelo tamanho do sistema analisado. Quanto maior for o número de elementos que devem ser analisados, pior é o seu desempenho;
- d) o desempenho dos SE são em geral melhor do que o RBC, notadamente para problemas que diferem muito dos armazenados nos exemplos do RBC;
- e) o desempenho do RBC é melhor do que o SE em casos de reconfiguração bem próximos aos armazenados, porém sem a possibilidade de criar alternativas a solução.

Com isto, optou-se por implementar no programa operacional somente aquele que apresentava maior velocidade de processamento e possibilidade de apresentar respostas alternativas, ou seja, os sistemas especialistas. De

certa forma, as características do RBC estariam neste programa, pois algumas regras práticas deveriam ser incorporadas ao programa. Além disso, o SE deveria ser otimizado e “traduzido” para uma linguagem de maior velocidade e comunicabilidade. Inicialmente, as implementações os SE foram escritos em Turbo-Prolog e os RBC, em Pascal.

### III. FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS UTILIZADAS

O programa de desenvolvimento foi desenvolvido utilizando diversas linguagens: Pascal, Turbo-Prolog e Visual-Basic. Na linguagem Pascal foram escritos as rotinas numéricas mais pesadas computacionalmente, como, por exemplo, fluxo de carga. Na linguagem Turbo-Prolog foram desenvolvidas as rotinas inteligentes; enquanto a linguagem Visual-Basic tratou de reunir os vários programas, realizar pequenas análises e fornecer o suporte para o desenvolvimento da interface com o usuário.

Devido a necessidade de se integrar o programa operacional com o SAO e de ter uma velocidade de processamento compatível com os demais processos que são executados no centro de operação. Assim, optou-se para esta versão do programa, escrevê-la integralmente em Visual-Basic.

### IV. VISÃO GERAL DOS PROGRAMAS

Neste pacote são apresentados dois programas, sendo um denominado por “Programa de Desenvolvimento” e o outro denominado por “Programa Operacional”. A principal diferença entre os dois programas é que o Programa de Desenvolvimento constitui a plataforma onde se desenvolveram todos os métodos de reconfiguração, fluxo de potência, análise de subtensão e sobretensão. Nesse programa é possível acessar e configurar todas as bases de dados, bem como visualizar as manobras encontradas. Já o Programa Operacional sintetiza todas essas funções em uma plataforma desenvolvida especialmente para o uso no dia-a-dia da operação. Todas as funções e recursos do Programa de Desenvolvimento foram incorporados de maneira explícita ou implícita ao mesmo.

Estes programas foram desenvolvidos em Visual Basic 6.0 utilizando diversas ferramentas adicionais para o manuseio dos bancos de dados, das lógicas de reconfiguração e das interfaces de apresentação do problema.

Os principais objetivos desse pacote de programas são:

- Estabelecer um conjunto de procedimentos para auxílio aos operadores no restabelecimento da rede de distribuição da CEB;
- Avaliar as causas do defeito e definir sua extensão;
- Definir as ações que podem ser tomadas para a reenergização da maior parte da carga afetada;

- Desenvolver uma metodologia de análise automática, visando diminuir o tempo de reconfiguração da rede primária;
- Gerar alternativas para a solução do problema.

O desenvolvimento e o uso do pacote de programas visam alcançar vários benefícios, dos quais pode-se citar:

- Aumento na qualidade dos serviços prestados ao consumidor;
- Redução do seu custo operacional nas manobras do sistema da CEB;
- A melhoria da qualidade do fornecimento de energia elétrica com a redução dos tempos de interrupção de energia (FEC);
- Padronização dos procedimentos de reconfiguração da rede elétrica primária;
- Diminuição do tempo de reparo da rede primária;
- Aumento da segurança operativa do sistema;
- Redução de erros operativos.

### V. O PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO

#### V.1 Fluxograma do Programa

A seguir será apresentado o fluxograma do Programa de Desenvolvimento intitulado “Manobras”, neste será explicitado o caminho da informação, bem como o processamento empregado em cada parcela do conjunto de dados para a obtenção do resultado (Figura 6).

O usuário irá gerar uma solicitação através de uma interface apropriada no programa Manobras, para isto o usuário deverá selecionar qual linha ele deseja colocar em falha numa lista de linhas. Há duas possibilidades de simulação, na primeira, denominada “Simulação em Modo Básico”, o usuário não precisa informar mais nada, já na segunda, denominada “Simulação em Modo Avançado” o usuário precisa informar o alimentador, ou barra, que deseja usar como fonte para reestabelecer o circuito desenergizado.

De posse desses dados o programa Percursos inicia o processo de busca, que será executado pelo Sistema Especialista de Reconfiguração (SER). O SER gerará possíveis soluções para o atendimento da solicitação, essas soluções serão encaminhadas para as Rotinas Numéricas (RN), as quais são responsáveis pelos cálculos de fluxos de potências, subtensão e sobretensões. Por fim, todas as soluções são encaminhadas para o Sistema Ponderado de Classificação (SPC), o qual é responsável pela classificação segundo critério de escolha de menores sobrecargas, e poucas subtensões ou sobretensões.

O SPC então irá apresentar as melhores soluções em uma janela para o usuário. O usuário também dispõe de ferramentas de parametrização e configuração da base de dados, bem como uma ferramenta para importação dos dados de barras e linhas para que seja possível atualizar esses dados para outros circuitos da rede da CEB.

### V.2 Sistema Especialista de Reconfiguração

O Sistema Especialista de Reconfiguração (SER) dispõe de meios para que, após o defeito ter sido localizado/identificado e o trecho defeituoso desenergizado, efetue um restabelecimento eficiente e seletivo de forma a se evitar que os trechos defeituosos ou os defeitos de caráter permanente se propaguem dentro do sistema.

Dependendo do defeito, deve-se o SER restabelece apenas parte dos componentes desenergizados, ou apenas parte da carga. Contudo, existe uma hierarquia de restabelecimento, conforme apresentado na Tabela 1.

TABELA 1

Hierarquia de Restabelecimento

| INÍCIO        |                                              |
|---------------|----------------------------------------------|
| Fontes        | LT                                           |
| Transformação | TRANSFORMADORES<br>AUTOTRANSFORMADORES       |
| Carga         | LT, ALIMENTADORES                            |
| Controle      | BANCO DE CAPACITORES<br>REATORES E SÍNCRONOS |
| ↓             |                                              |
| FIM           |                                              |

A filosofia de operação e o estado pré e pós falta dos equipamentos, constituem a fonte de dados inicializadora do processo de restabelecimento. Com base nesses dados e após uma análise dos mesmos, as ações de restabelecimento serão inicializadas e terão sua seqüência definida.

### V.3 Rotinas Numéricas

As rotinas numéricas são encarregadas pelo cálculo do fluxo de potência, fluxo de carga, ou em inglês, load flow, que em uma rede de energia elétrica consiste essencialmente na determinação do estado de operação desta rede dada sua topologia e uma certa condição de carga.

Este estado de operação consiste da:

- Determinação das tensões e ângulos para todos os barramentos do sistema;
- Determinação dos fluxos de potência ativa e reativa através dos ramos do sistema;
- Determinação das potências ativas e reativas, geradas, consumidas e perdidas nos diversos elementos do sistema.

Neste projeto estaremos utilizando o método de Newton-Raphson com acelerações para circuitos radiais, que atualmente é o mais utilizado para a solução de problemas de fluxo de potência. Desde sua primeira formulação ele vem sofrendo diversas complementações no sentido de torná-lo cada vez mais poderoso.

### V.4 Sistema Ponderado de Classificação

O Sistema Ponderado de Classificação é baseado em Pesos Ponderados e foi implementado criando-se um conjunto de regras de pesos para os diversos fatores que são limitantes na solução, por exemplo: sobrecargas, subtensões e sobretensões.

Cada solução obtida pelo SER passa por esse conjunto de regras e então é apresentada na janela de resultados de maneira ordenada da melhor para pior.

## VI. PROGRAMA OPERACIONAL

No programa operacional, o usuário irá gerar uma solicitação através de uma interface apropriada no SAO da CEB, essa solicitação é em forma de arquivo texto e será gravada num diretório compartilhado entre o SAO e o programa operacional.

Quando o programa receber a permissão para executar a leitura do arquivo de solicitação, o mesmo fará a leitura da chave em falha e do sistema de distribuição em análise da CEB.

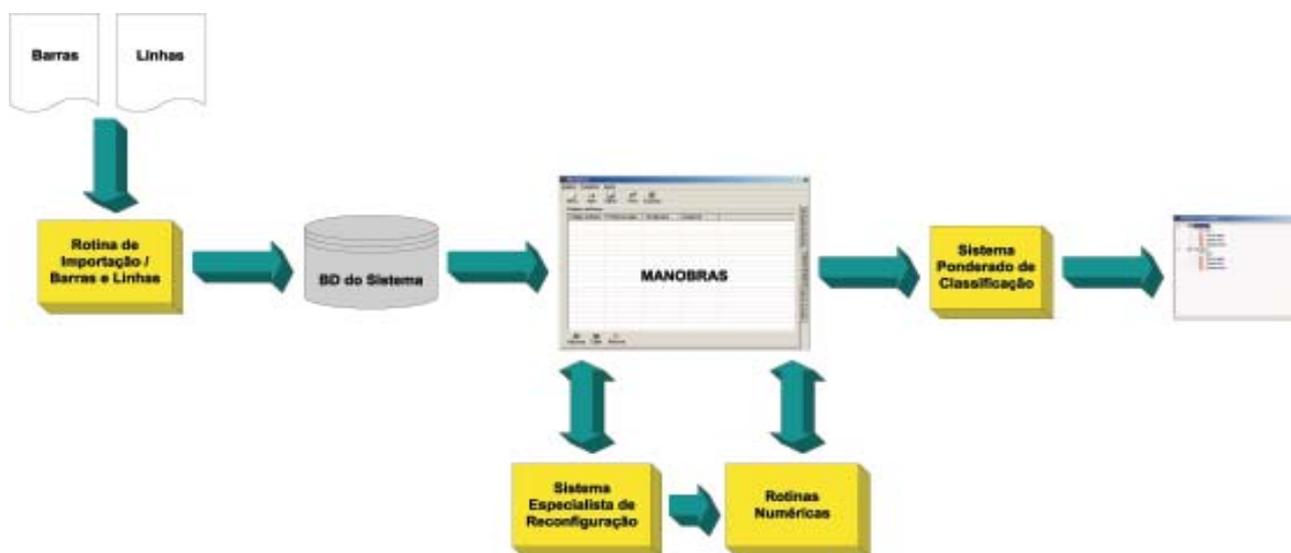


FIGURA 7 – Fluxograma do Programa

De posse desses dados o programa inicialmente monta a base de dados do sistema, e inicia o processo de reconfiguração, que será executado pelo Sistema Inteligente de Reconfiguração (SIR). O SIR irá acessar a base de dados do sistema e irá determinar quais são as possíveis manobras para reestabelecer a área afetada.

O SIR gerará possíveis soluções para todas as manobras, e essas soluções serão encaminhadas para as Rotinas Numéricas (RN), as quais são responsáveis pelos cálculos de fluxos de potências e subtensão.

Por fim, todas as soluções são encaminhadas para o Sistema Inteligente de Classificação (SIC), o qual é responsável pela classificação segundo critério de escolha de menores sobrecargas e subtensões.

O SIC então irá apresentar as melhores soluções em uma janela para o usuário, e ainda irá escrever um arquivo texto que será lido pelo SAO para apresentação do mesmo dentro do sistema do SAO.

## VII. CONCLUSÕES

O resultado esperado mais importante neste projeto era a construção de um sistema computacional de suporte a tomada de decisão durante o processo de reconfiguração do sistema de distribuição da CEB, e que pudesse ser integrado a sistema já utilizado pelos despachantes. Este resultado foi alcançado.

O programa operacional poderá também ser utilizados pelos despachantes para reconfigurar a sistema visando futuras condições operativas, como concentração de carga em certos ramais ou desligamentos para manutenções programadas. Isto leva a redução da interrupção de energia nos clientes.

## VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. Peponis e M. Papadopoulos – “Application of Heuristic Methods on Large Scale Networks”, IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol. 142 No. 6 pp. 631-638, 1995.
- [2] D. Srinivasan, A.C. Lievj, C.S. Chang, e J. Chen – “Intelligent Operation of Distribution Network”, IEE Proc. Ger. Transm. Distrib., 141, (2), pp. 106-116, 1994.
- [3] S. Curcic, C.S.Ozveren, L. Crowe e K.L. Lo – “Electric Power Distribution Network Restoration: A Survey of Papers and A Review of the Restoration Problem”, Electr. Power Syst. Res., 35. (2). pp. 73-80, 1993.
- [4] G. Lambert-Torres, C.I.A. Costa, e H. Gonzaga - “Decision-Making System based on Fuzzy and Paraconsistent Logics”, Logic, Artificial Intelligence and Robotics – Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, LAPTEC 2001, Ed. Jair M. Abe and João I. da Silva Filho – IOS Press, pp. 135-146, 2001
- [5] J.L. Kolodner e D.B. Leake - “A Tutorial: Introduction to Case-Based Reasoning”, in Case Based Reasoning: Experiences, Lessons, and Future Directions, D. B. Leake, Ed. Menlo Park, CA: AAAI Press, 1996.