



**XX SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
22 a 25 Novembro de 2009  
Recife - PE

**GRUPO - IV**

**GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA - GAT**

**Ambiente Computacional para Avaliação de Confiabilidade de  
Sistemas Elétricos de Grande Porte**

**Andrea M. Rei(\*)    Tiago S. Amaral    Javier R. O. Soto    Luiz A. A. Oliveira    Fabiola C. Veliz**  
**CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica**

**RESUMO**

Ao longo das últimas duas décadas, o CEPEL, em conjunto com o sistema Eletrobrás, vem desenvolvendo e aperfeiçoando o Programa NH2, destinado a avaliação probabilística da confiabilidade de sistemas elétricos de grande porte, em consonância com as necessidades específicas do setor elétrico brasileiro.

Este trabalho tem por objetivo apresentar os últimos avanços computacionais implantados no Programa NH2, e contemplados na nova versão, que incorpora importantes facilidades gráficas. Nesta nova versão do programa a interação com o usuário foi completamente reformulada, contando ainda com outras funcionalidades, como a manipulação eficiente dos dados por meio de planilhas e caixas de diálogo, visualização de dados e resultados em diagramas unifilares e acesso às funções de análise por meio de menus auto-explicativos.

**PALAVRAS-CHAVE**

Confiabilidade, Interface Gráfica, Simulação

**1.0 - INTRODUÇÃO**

As avaliações de confiabilidade probabilística têm se mostrado cada vez mais importantes nos processos de planejamento do setor elétrico brasileiro, conforme diretriz emanada pelo MME. Atualmente, é parte integrante dos estudos de Ampliações e Reforços da Rede Básica [2], conduzidos pelo ONS, conforme indicado no Módulo 23 dos Procedimentos de Rede. Avaliações de confiabilidade também vêm sendo realizadas no âmbito do planejamento da expansão da transmissão, conforme indicado no relatório [4] emitido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Ao longo das últimas duas décadas, o CEPEL, em conjunto com o sistema Eletrobrás, e contando ainda com estreita cooperação de concessionárias do setor, vem desenvolvendo e aperfeiçoando o Programa NH2, destinado a avaliação probabilística da confiabilidade composta de sistemas elétricos de grande porte, em consonância com as necessidades específicas do setor elétrico brasileiro.

Em função da evolução dos requisitos de planejamento e de operação do sistema elétricos brasileiro, as avaliações de confiabilidade probabilísticas têm se mostrado bastante eficientes, agregando valor as demais análises tradicionalmente realizadas. Tal fato requer uma ferramenta computacional adequada: flexível, robusta e de fácil utilização.

Neste sentido, o CEPEL vem sistematicamente adequando os modelos e algoritmos presentes no Programa NH2, visando garantir flexibilidade na modelagem da rede elétrica e das incertezas associadas aos equipamentos e a robustez numérica nos resultados obtidos.

Dentre as funcionalidades existentes no programa pode-se destacar:

- Modelagem e solução não-linear da rede elétrica (fluxo de potência pelo método Newton-Raphson)
- Algoritmo não-linear baseado em pontos interiores para solução de medidas corretivas

- Duas técnicas para seleção de estado: Enumeração e Simulação Monte Carlo não seqüencial
- Modelos markovianos para representação de incertezas em unidades geradoras e circuitos de transmissão (modelos de dois estado e de múltiplos estados)
- Solução integrada para representação de múltiplos cenários
- Análise de confiabilidade determinística (análise de lista de contingências)

Além destas funcionalidades, na nova versão do programa a interação com o usuário foi completamente reformulada, passando a contar com uma interface gráfica. Esta interface permite, dentre outras facilidades, a manipulação eficiente dos dados por meio de planilhas e caixas de diálogo, a visualização de dados e resultados em diagramas unifilares e o acesso às funções de análise por meio de menus auto-explicativos.

Também foram incorporados importantes avanços como o processamento automático de múltiplos casos e o desenvolvimento de uma linguagem própria, com sintaxe semelhante à linguagem SQL, utilizada na definição de listas e conjuntos de dados.

## 2.0 - NOVA INTERFACE GRÁFICA DO PROGRAMA NH2

Até recentemente o Programa NH2 era desenvolvido para trabalhar em plataforma DOS. Estas versões contavam com uma interface extremamente simples, na qual a comunicação com o usuário era realizada por uma “linha de comando” na qual se registravam códigos e opções de execução.

Contudo, com a consolidação da plataforma Microsoft® Windows, tornou-se evidente a limitação das versões DOS, especialmente no que se refere à interface com o usuário. Uma nova interface, apropriada aos novos padrões, possibilitaria ao usuário explorar de modo mais intenso as funções existentes no programa, além de facilitar o desenvolvimento de novas funcionalidades, antes limitadas em função da plataforma utilizada.

A nova interface do Programa NH2 possibilita, então, acesso fácil a todas as funcionalidades do programa, facilitando a manipulação de dados e possibilitando ainda a visualização gráfica de resultados.

A manipulação de dados não está mais restrita a arquivos texto formatos, podendo ser realizada por meio de caixas de diálogo próprias, por um gerenciador de dados ou mesmo por planilhas de dados em formato CSV.

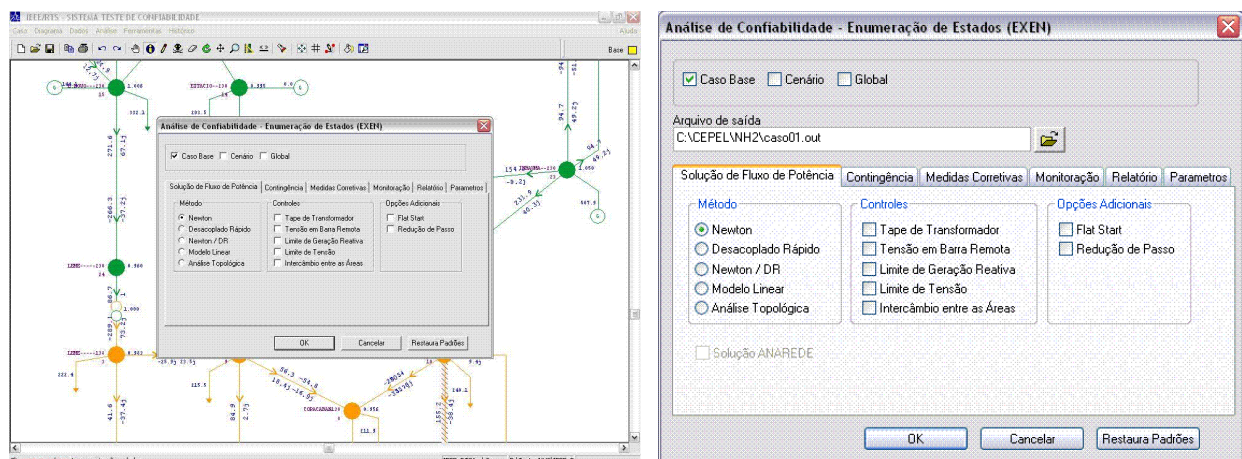


FIGURA 1 - Nova Interface Gráfica do Programa NH2

Além da facilidade ao acesso e manipulação dos dados, a nova interface também promove a utilização das funções de análise, por meio de caixas de diálogo auto-explicativas, dispensando a memorização de códigos como ocorria nas versões em plataforma DOS.

## 3.0 - NOVAS FUNCIONALIDADES PARA MANIPULAÇÃO DE DADOS E PROCESSAMENTO AUTOMÁTICO

### 3.1 Linguagem de Formação de Regras

O programa NH2 manipula diversos conjuntos de dados que especificam agrupamentos de elementos. A *Região de Monitoração*, por exemplo, especifica um conjunto de áreas do sistema, enquanto que a *Lista de Contingências* especifica um conjunto de circuitos e usinas de forma individualizada. Em geral estes conjuntos de dados são extensos, o que dificultava a criação e manutenção dos mesmos.

Visando eliminar as dificuldades na definição de conjuntos de dados associados a agregação de elementos da rede, foi desenvolvida uma **Linguagem para Formação de Regras (LFR)** que é um formato único, utilizado para qualquer função do programa em que seja necessária a agregação de elementos da rede. Com este novo formato proposto, as regras para formação dos conjuntos de dados tornam-se compactas, e portanto de fácil manutenção. Além disso, o novo formato é flexível o suficiente para acomodar variações nos casos, tornando possível o estabelecimento, não de agrupamentos específicos para cada caso, mas de regras para a formação dos agrupamentos que podem ser utilizadas em mais de um caso, e assim refletir critérios adotados nas análises.

A partir da versão 9.0.0, o programa NH2 permite a especificação de regras escritas na LFR nos seguintes conjuntos de dados, além do uso em conjunto com as bases externas:

- Lista de Contingências (DLCT)
- Região de Monitoração (DRMO)
- Espaço de Estados (DFEE)
- Dados de Classe Estocástica de Transmissão (DECT)

Um exemplo típico de agrupamento é a formação de um conjunto composto por elementos de transmissão cuja tensão é igual ou superior a um nível especificado. Nas versões sem a linguagem de seleção seria necessário especificar individualmente cada elemento e, portanto, para cada caso ter-se-ia um conjunto diferente. Com a **LFR** é possível criar uma regra genérica para esta situação indicando exatamente o que se deseja, ou seja, "todos os elementos de transmissão com tensão igual ou superior a tensão de interesse". A **LFR** é uma linguagem de fato, possuindo regras e uma gramática própria.

### 3.1.1 Descrição da LFR

A linguagem de formação de regras trabalha com o conceito de tabelas abstratas, onde cada linha representa um registro de dados e cada coluna representa um campo. Com isso, a especificação de um agrupamento de dados é feita selecionando itens específicos de determinadas tabelas. Na versão 9.0.0, existem quatro tabelas pré-definidas que podem ser manipuladas e que se relacionam entre si:

- BARR: tabela com dados de barra
- CIRC: tabela com dados de circuito
- USIN: tabela com dados de usina
- MULT: tabela para contingências múltiplas.

Cada tabela contém campos que estão associados a dados específicos, como o campo módulo de tensão, na tabela de barras, e o campo reatância na tabela de circuitos. Nem sempre as tabelas seguem a mesma estrutura, no que se refere ao conteúdo, dos códigos de dados das versões DOS. A tabela de dados de circuito, por exemplo, não reflete apenas o código DLIN, pois inclui campos para taxas de falha e tempos de reparo, que são objeto do código DCTS, e campos para reatores de linha, objeto do código DSHL. Assim, as tabelas são mais abrangentes e concentram dados que estariam registrados em diferentes códigos das versões DOS.

O esquema da FIGURA 2 ilustra a relação entre as diversas tabelas usadas pelo programa.

O acesso aos campos das tabelas é feito através do operador ponto '.'. Assim, por exemplo, 'barr.num' pode ser interpretado como "barra cujo número..." e permite acessar barras em função de seu número de identificação. Os dados das tabelas podem ser comparados utilizando-se os operadores de comparação '=' (igual), '<>' (diferente), '<' (menor) etc.. Um operador especial é o operador 'LIKE' que permite comparar uma seqüência de caracteres com uma expressão regular.

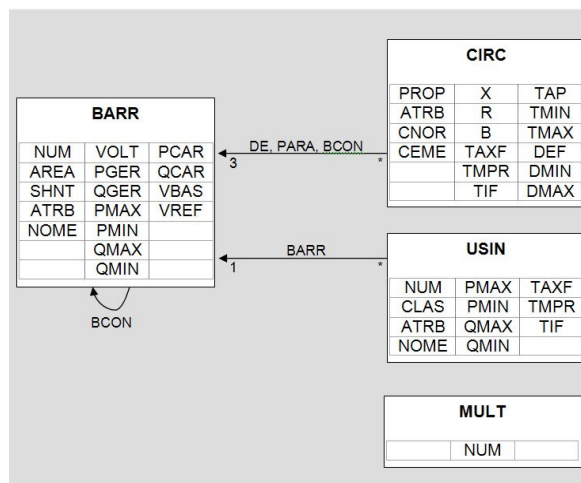


FIGURA 2 – Relação entre as Tabelas Abstratas da **LFR**

Diferentes comparações, por sua vez, podem ser combinadas através dos operadores lógicos de combinação 'AND', 'OR' e 'NOT'. Isto significa dizer que seria válida, por exemplo, a combinação 'barr.num > 10 AND barr.num < 100', que seria interpretada como "todas as barras cujo número seja maior que 10 e menor que 100".

Dessa forma, as regras de seleção são construídas utilizando-se as tabelas, os campos das tabelas e os operadores de comparação e combinação. Elas são então utilizadas na formação dos conjuntos como a lista de contingências, a região de monitoração e o espaço de estados. Além disso, elas podem ser utilizadas em conjunto com as bases externas.

### 3.1.2 Utilização da LFR

Uma seleção simples pode ser formada da seguinte maneira: 'nome\_da\_tabela WHERE condição opção'. O nome\_da\_tabela refere-se à tabela de dados de interesse, ou seja, BARR, para dados de barra, CIRC, para dados de circuito, USIN, para usinas e MULT para contingências múltiplas. A condição é construída utilizando-se os campos das tabelas e os operadores, como por exemplo, 'circ.de.num = 257', que indica "circuitos cujo número da barra DE (origem) é igual a 257". As opções aplicam-se a conjuntos e situações específicas. Assim, seria válida a regra "barr, circ WHERE barr.num >= 10 AND barr.num <= 100", que é interpretada como "todas as barras e circuitos cujo número da barra seja maior ou igual que 10 e menor ou igual que 100". Neste caso, isto englobaria tanto os circuitos cuja barra "DE" (origem) ou "PARA" (destino) atendessem à condição especificada.

A linguagem de formação de regras permite também a criação de rótulos. Rótulos podem ser vistos como variáveis, isto é, locais para armazenar um dado que será referenciado posteriormente. Na LFR, a criação de rótulos é feita utilizando a palavra-chave 'DECLARE' seguida do nome do rótulo, da palavra-chave 'FOR' e da regra a ser armazenada naquele rótulo. Com isso seria possível criar um rótulo 'INTERCAMBIO', por exemplo, para armazenar uma regra para seleção de circuitos de intercâmbio entre áreas: 'DECLARE intercambio FOR circ WHERE circ.de.area <> circ.para.area'. Para utilizar um rótulo já definido, basta inserir a palavra chave 'FROM' ao lado da palavra WHERE. Assim, por exemplo, para utilizar o rótulo definido anteriormente poderia ser escrito 'circ FROM intercambio WHERE barr.vbas >= 230' que é interpretado como "todos os circuitos de intercâmbio nos quais uma de suas barras terminais tenha tensão base maior ou igual a 230".

Com isso, uma lista de contingências inteira pode ser resumida a umas poucas linhas de regras de formação. A seleção torna-se evidentemente mais simples, e a regra pode ser "lida" de modo direto e claro, sem o conhecimento prévio de códigos e formatações específicas do programa. Além disso, este tipo de seleção também se adapta a alterações na rede, sem necessidade de alteração da regra. Uma mesma regra é capaz de comportar automaticamente casos em que sejam retirados ou acrescentados circuitos de intercâmbio, por exemplo. Esta flexibilidade é bastante útil quando da análise de diversos casos associados à evolução temporal de um sistema, pois será necessário definir as regras apenas uma única vez.

### 3.2 Base Externa de Dados

Quando da preparação e/ou ajuste de um caso-base para avaliação de confiabilidade, é usualmente necessário acrescentar e/ou alterar dados do caso original, como por exemplo, acrescentando dados estocásticos de circuitos e dados de usinas. Até a versão 8.0 do Programa NH2 (versão DOS), a alteração de dados deveria ser realizada por meio de arquivos textos formatados, ou por meio da linha de comando na interface do programa. A utilização de arquivos textos possui alguns inconvenientes:

- Necessidade de conhecer a formatação de cada conjunto de dados
- Dificuldade em utilizar um mesmo conjunto de dados para diversos casos
- Manutenção e gerenciamento dos dados ao longo do tempo

De modo a reduzir estes problemas e facilitar o gerenciamento dos dados utilizados, o Programa NH2 permite, a partir da versão 9.0.0, a utilização de bases externas com dados em formato CSV.

Essas bases externas também representam aspecto fundamental para a nova funcionalidade de processamento de múltiplos casos, pois garantem a coerência entre as diversas análises e facilitam a reprodução de resultados.

#### 3.2.1 Descrição das Bases Externas

Bases Externas referem-se a arquivos com dados de um sistema elétrico, que serão utilizados tanto para alterar dados no sistema original, como alteração de carga ou despacho de geração, quanto para acrescentar novos dados, como dados estocásticos de circuitos e usinas. Portanto, as bases externas podem ser utilizadas para substituir os códigos de dados DBAR, DLIN, DUSI, DCTS, DECT e DECG das antigas versões DOS do programa. Em lugar dos tradicionais arquivos texto utilizados pelo programa, as novas bases externas são arquivos em formato CSV, que podem ser gerados por aplicativos como o Microsoft Office Excel® ou o Open Office Calc®. Os arquivos são planilhas, com linhas e colunas. Cada coluna representa um tipo de dado, como módulo da tensão de barra, limite de carregamento do circuito, taxa de falha, etc., enquanto cada linha apresenta os diversos tipos de dados associados a cada barra (na base de barras), circuito (na base de circuitos) ou usina (na base de usinas) do sistema, dependendo do tipo de base externa sendo utilizada.

A diferença entre os arquivos CSV e os arquivos formatados utilizados nas versões DOS reside no fato de que os arquivos CSV dispensam a tradicional formatação por colunas. Portanto podem ser registrados apenas os campos de interesse, em colunas consecutivas e em qualquer ordem. Para tal, exige-se apenas que cada coluna seja identificada com uma palavra-chave, em função do tipo de dado. A FIGURA 3 mostra um exemplo de base externa para dados de barra. Nota-se que neste exemplo apenas alguns tipos de dados são especificados, e as colunas não seguem a mesma ordenação dos arquivos formatados.

Além da ausência de formatação específica, os arquivos CSV podem ser manipulados como planilhas comuns, e, portanto, podem ser aplicadas operações como copiar, colar, realização de operação com células e colunas, dentre outras.

#### 3.2.2 Utilização das Bases Externas

As Bases Externas podem ser utilizadas para acrescentar ou alterar dados a um sistema, dependendo do tipo de base externa. No caso da base externa de barras, por exemplo, existe a possibilidade de sua utilização para alterar dados do sistema. Sua leitura é feita de tal forma que, se um campo chave (o número da barra) não é encontrado

no caso carregado em memória, os dados são ignorados. Isso faz com que uma mesma base externa possa ser utilizada para diversos casos com configurações da rede elétrica totalmente diferentes. Pode-se, por exemplo, utilizar a mesma base externa para um estudo do ano corrente, que tem um certo número de barras, e para estudos de configurações futuras com barras novas ou retiradas: a base externa pode conter dados da maior de todas as configurações e ser utilizada em todas elas sem qualquer necessidade de alteração. O mesmo é válido para a base externa de circuitos.

Quando a leitura da base externa é feita, os dados passam pela mesma validação e armazenagem que passariam se utilizados arquivos de texto formatados, garantindo a coerência entre os mesmos. No caso da base externa de usinas, existe uma opção extra: a especificação do número máximo de máquinas em uma usina. O usuário pode especificar, não apenas quantidade de máquinas despachadas, mas a quantidade de máquinas disponíveis para despacho em uma usina e o programa calculará automaticamente o número de máquinas necessárias.

Uma outra facilidade adicionada pelo uso de bases externas é que as mesmas já estão totalmente integradas com a linguagem de formação de regras. Isso faz com que seja possível alterar dados para um conjunto grande de elementos em uma única linha. Isso é possível através da especificação de critérios. Os critérios são colunas especiais nas bases externas (que devem ser sempre as últimas) e que contêm a especificação de regras para a seleção dos elementos que devem sofrer determinadas alterações. A FIGURA 4 apresenta o exemplo de uma base externa de dados estocásticos de transmissão que utiliza critérios para a seleção dos circuitos a serem modificados.

	A	B	C	D	E	F
1	NUM	NOME	VOLT	AREA	PGER	VBAS
2	1	BARRA---1	1.04	1	151.7	138
3	2	BARRA---2	1.04	1	151.7	138
4	3	BARRA---3	0.984	1		138
5	4	BARRA---4	0.998	1		138
6	5	BARRA---5	1.017	1		138
7	6	BARRA---6	1.007	1		138
8	7	BARRA---7	0.99	1	251.2	138
9	8	BARRA---8	0.969	1		138
10	9	BARRA---9	0.997	1		138
11	10	BARRA--10	1.02	1		138
12	11	BARRA--11	1.005	1		138
13	12	BARRA--12	1.013	1		138
14	13	BARRA--13	1.04	2	529.1	230
15	14	BARRA--14	0.995	2	0	230
16	15	BARRA--15	1.006	2	165	230
17	16	BARRA--16	1.01	2	112.3	230
18	17	BARRA--17	1.021	2		230
19	18	BARRA--18	1.025	2	343.7	230

FIGURA 3 – Exemplo de Base Externa para Dados de Barra

	A	B	C
1	TAXF	XL	CRIT
2	3.1949	0.6334	circ FROM lin WHERE circ.de.vbas = 34 AND circ.para.vbas =34
3	3.1949	0.6334	circ FROM lin WHERE circ.de.vbas = 34.5 AND circ.para.vbas =34.5
4	3.1949	0.6334	circ FROM lin WHERE circ.de.vbas = 44 AND circ.para.vbas =44
5	3.1949	0.6334	circ FROM lin WHERE circ.de.vbas = 66 AND circ.para.vbas =66
6	3.1949	0.6334	circ FROM lin WHERE circ.de.vbas = 69 AND circ.para.vbas =69
7	0.0399	0.6069	circ FROM lin WHERE circ.de.vbas = 88 AND circ.para.vbas =88
8	0.0399	0.2608	circ FROM lin WHERE circ.de.vbas = 115 AND circ.para.vbas =115
9	0.0399	0.2608	circ FROM lin WHERE circ.de.vbas = 138 AND circ.para.vbas =138
10	0.0399	0.2608	circ FROM lin WHERE circ.de.vbas = 161 AND circ.para.vbas =161
11	0.0232	0.074	circ FROM lin WHERE circ.de.vbas = 230 AND circ.para.vbas =230
12	0.0228	0.0316	circ FROM lin WHERE circ.de.vbas = 289 AND circ.para.vbas =289
13	0.0228	0.0316	circ FROM lin WHERE circ.de.vbas = 345 AND circ.para.vbas =345
14	0.0144	0.0166	circ FROM lin WHERE circ.de.vbas = 440 AND circ.para.vbas =440
15	0.0183	0.0127	circ FROM lin WHERE circ.de.vbas = 500 AND circ.para.vbas =500
16	0.0183	0.0127	circ FROM lin WHERE circ.de.vbas = 525 AND circ.para.vbas =525
17	0.0102	0.005786	circ FROM lin WHERE circ.de.vbas = 750 AND circ.para.vbas =750
18	0.0102	0.005786	circ FROM lin WHERE circ.de.vbas = 765 AND circ.para.vbas =765

FIGURA 4 – Exemplo do Uso da Linguagem de Formação de Regras nas Bases Externas

### 3.3 Processamento Automático de Múltiplos Casos de Confiabilidade

Os estudos de confiabilidade envolvem, em geral, a análise de um grande número de cenários, submetidos a critérios comuns. Nas versões DOS, seria necessário a preparação de diversos casos e/ou arquivos de dados, um para cada cenário de interesse. Isto porque, uma vez que os cenários-base são oriundos de estudos de fluxo de potência, é necessário agregar dados específicos das avaliações de confiabilidade, como parâmetros de falha, definição de regiões de interesse, listas de contingências, dentre outros.

Alguns destes conjuntos podem ser considerados *critérios*, uma vez que são aplicados a todos os cenários da análise. É usual definir uma região de interesse ou mesmo um critério associado a formação de lista de contingências, como por exemplo, considerar apenas os elementos pertencentes a determinadas regiões do sistema.

O procedimento utilizado nas versões DOS, por envolver a manipulação de vários casos/arquivos e conjuntos extensos de dados, poderia facilmente levar a inconsistências, inutilizando assim os resultados obtidos nas análises.

A partir da versão 9.0.0, está disponível um procedimento automatizado que possibilita o processamento de diferentes casos, submetidos a um mesmo conjunto de critérios, sem a necessidade de preparar casos/arquivos individualizados para cada cenário.

O procedimento pode ser resumido nos seguintes passos básicos:

1. Seleção de casos-base de fluxo de potência, armazenados em arquivo histórico do Programa ANAREDE (FIGURA 6).
2. Seleção de bases-externas com as alterações de dados necessárias, a serem aplicadas aos casos-base. Essas bases conterão, em geral, parâmetros de falha de circuitos e/ou usinas, dados de usinas, eventuais alterações em dados de barra e de circuito (FIGURA 7).
3. Seleção da base de critérios. Os critérios, em geral, incluem a lista de contingências, as regiões de controle, monitoração e cálculo de índices, os dados para formação do espaço de estados.

4. Definição das opções de processamento e preparação dos casos-base, como métodos de solução, adoção de controles, opções de monitoração.
5. Definição das opções de processamento das análises de confiabilidade, como métodos de solução, técnica de seleção de estados, opções de monitoração e opções de contingência.

Nota-se que, depois de definidos os dados e as opções de análise, o processamento é automático, sem qualquer intervenção do usuário. Fica evidente também a garantia na coerência e consistência das informações, uma vez que os critérios estabelecidos apenas uma vez e aplicados automaticamente a todos os casos-base.

O função de análise de múltiplos casos de confiabilidade utiliza intensivamente as bases-externas e a *Linguagem para Formação de Regas (LFR)*, uma vez que são estas as funcionalidades que garantem a consistência e coerência das informações. As bases-externas concentras as alterações de dados, garantindo que as mesmas alterações sejam aplicadas a todos os casos e a *LFR* permite a criação de regras independente de dados específicos dos casos, como números de barras, sendo assim adaptáveis aos diversos casos de interesse.

**A Erro! A origem da referência não foi encontrada.** ilustra o funcionamento do processamento de múltiplos casos de confiabilidade, realizados pelo NH2.

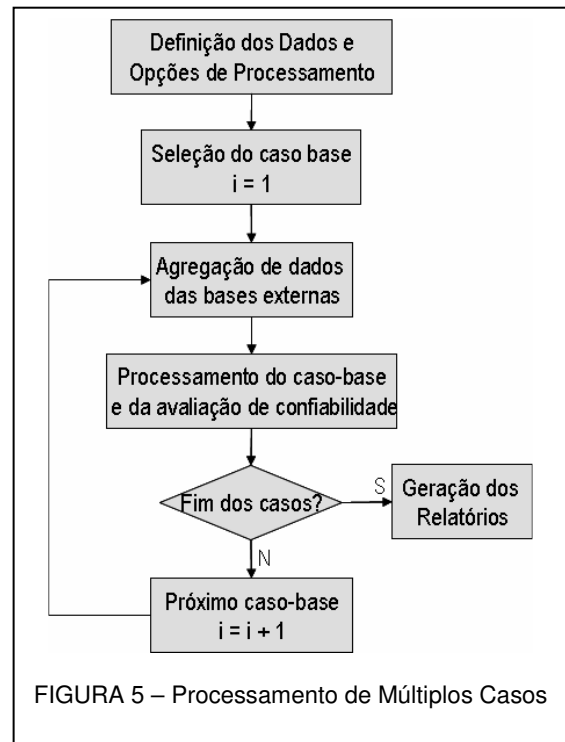


FIGURA 5 – Processamento de Múltiplos Casos

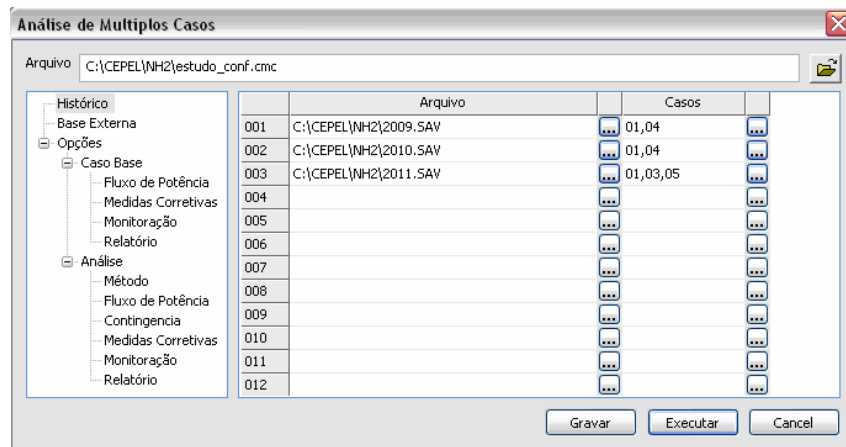


FIGURA 6 – Processamento de Múltiplos Casos: Seleção de casos-base

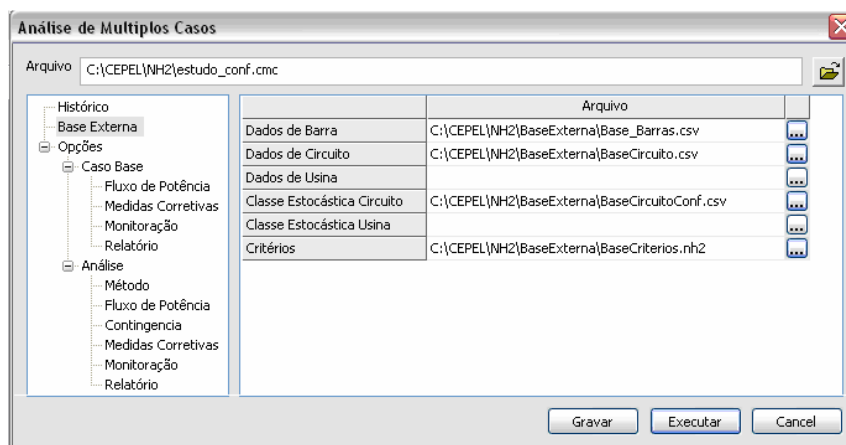


FIGURA 7 – Processamento de Múltiplos Casos: Seleção de bases-externas de dados e critérios

### 3.4 Outras Funcionalidades e Conjuntos de Dados

Além das funcionalidades descritas anteriormente, também foram realizados outros aprimoramentos, visando facilitar a utilização do programa, a manutenção dos dados e maior controle sobre os critérios adotados.

#### 3.4.1 Espaço de Estados Probabilístico

Nas versões anteriores do programa, o espaço de estados probabilístico era formado por todos os elementos, i.e. circuitos e unidades geradoras, para os quais fossem definidos parâmetros de falha. Esta restrição impossibilitava a alteração do espaço de estados sem a conseqüente alteração de dados, o que poderia resultar em perda de informação. A partir da versão 9.0.0, o espaço de estados está desacoplado dos parâmetros de falha, o que permite criar diferentes espaços de estados sem alterar os dados. Assim, por exemplo, é possível definir o espaço de estado como sendo formado apenas por elementos de transmissão, mesmo tendo sido definidos parâmetros de falha de unidades geradoras. Do mesmo modo que a lista de contingências, a definição do espaço de estados também utiliza a **LFR**.

#### 3.4.2 Região de Monitoração e Região para Cálculo de Índices de Confiabilidade

Até a versão 8.1, o programa trabalhava com duas regiões: *Região de Controle e Contingências* e *Região de Monitoração e Índices*.

A *Região de Controle e Contingências* corresponde a porção do sistema onde estão localizados os controles utilizados na solução de fluxo de potência e fluxo de potência ótimo, como redespacho, controle de tensão e corte de carga, além de definir a região do sistema que contém os elementos (usinas e circuitos) que podem ser considerados nas análises de contingências. Esta região é definida por um conjunto de áreas elétricas do sistema.

A *Região de Monitoração e Índices* tinha por objetivo definir os barramentos e circuitos sob monitoração, bem como os barramentos cujos eventuais cortes de carga seriam utilizados no cálculo dos índices tradicionais de confiabilidade. Por ser também definida como um conjunto de áreas elétricas do sistema, o processo de monitoração era de difícil controle, impossibilitando a seleção de elementos específicos da rede.

Com a evolução do sistema elétrico e o refinamento dos estudos de confiabilidade realizados pelos usuários do Programa NH2, observou-se que a esta região deveria ser desmembrada em *Região de Monitoração* e *Região para Cálculo de Índices de Confiabilidade*. O novo conceito adotado para a *Região de Monitoração* não é mais definida apenas como um conjunto de áreas elétricas, mas permite a utilização da **LFR**. Deste modo, possibilita uma especificação clara e objetiva dos elementos da rede que estarão sob monitoração durante as contingências.

#### 3.4.3 Novos Dados e Funcionalidades

- **Tensão Base:** o valor das tensões bases em kV associadas às barras do sistema passam a ser explicitamente definidos, individualmente, para cada barra, sendo portanto eliminados os antigos “grupos base de tensão”. Isto facilita não só a consulta aos dados, mas também facilita a utilização da tensão base como critério de seleção de elementos por meio da **LFR**.
- **Comprimento de Linhas de Transmissão:** quando da atribuição dos parâmetros de falha das linhas de transmissão é usual a especificação de taxas de falha por quilômetro, associadas à classes de tensão. Até a versão 8.1 o programa estimava o comprimento das linhas de transmissão com base em “reatâncias típicas”, podendo acarretar discrepâncias com relação os comprimentos reais. Uma vez que o comprimento das linhas de transmissão pode ser explicitamente especificado, as taxas de falha para cada circuito podem então ser corretamente calculadas, aumentando assim a segurança nos resultados obtidos.
- **Agregadores de Barra, Circuitos e Usinas:** visando aumentar a flexibilidade na definição de conjuntos de dados, utilizados, por exemplo, como listas de contingências, região de monitoração ou espaço de estados, foram criados “agregadores” para barras, circuitos e usinas. Estes agregadores são informações alfanuméricas que possibilitam atribuir livremente características aos elementos e assim utilizá-las como fator agregador. Isto permite, por exemplo, identificar a quais estados da federação ou região geográfica pertencem as barras e circuitos, e assim, por meio da **LFR** utilizar estas informações na formação de subconjuntos de elementos.
- **Identificação automática de transformadores de 3 enrolamentos:** o programa é capaz de identificar automaticamente transformadores de 3 enrolamentos e assim executar corretamente a retirada de todos os ramos do equipamento quando da análise de contingência. Até a versão 8.1 este processo deveria ser feito manualmente pelo usuário, utilizando “alterações vinculadas”.
- **Construção automática do conjunto de dados de usina:** a base externa de usina permite especificar o número máximo de unidades geradoras para cada usina, possibilitando ao programa determinar automaticamente o número de unidades necessárias em cada usina. Na determinação do número de unidades pode ser adotados quatro critérios: (i) centro de faixa; (ii) geração mínima; (iii) número mínimo de unidades; (iv) número máximo de unidades.
- **Relatórios em formato html:** os relatórios das análises de confiabilidade são gerados em formato html, com funcionalidades de navegação típicas deste tipo de formato, possibilitando assim um acesso mais rápido às informações de interesse.

## 4.0 - CONCLUSÃO

O Programa NH2 é resultado de duas décadas de dedicação de profissionais do CEPEL, Eletrobrás e demais empresas do setor elétrico brasileiro.

Mantendo a mesma motivação em desenvolver aplicativos e metodologias adaptadas a evolução do setor, a nova versão do Programa NH2 passa a oferecer a seus usuários funcionalidades que possibilitam uma utilização mais intensa de avaliações de confiabilidade nos estudos tradicionais de planejamento e operação. O programa passa a dispor de uma interface gráfica intuitiva, de fácil utilização e rápida adaptação, e também possibilita a manipulação mais eficiente do grande conjunto de dados e informações utilizados nas análises de confiabilidade composta. Destacam-se nesta nova versão a utilização de arquivos de dados em formato CSV, o desenvolvimento de um tipo próprio de linguagem para manipulação de informações, similar a linguagem SQL, e ainda a nova função para processamento de múltiplos casos, particularmente adaptada a estudos da evolução temporal do sistema elétrico.

As especificações atualmente disponíveis no Programa NH2 tornam-no uma ferramenta única no mercado nacional e internacional, perfeitamente adaptada e em consonância às necessidades de seus usuários.

## 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CEPEL, Programa NH2 – Manual do Usuário.
- (2) ONS, Plano de Ampliações e Reforços da Rede Básica – Período 2009-2011, Rio de Janeiro, Brasil, 2008 [Online]. Disponível: <http://www.ons.org.br>
- (3) EPE, Estudos Associados ao Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2007/2016 – Análise dos Índices de Confiabilidade do SIN, Rio de Janeiro, Brasil, 2007 [Online]. Disponível: <http://www.epe.gov.br>

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

**Andrea M. Rei** é graduada em engenharia elétrica pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1988), mestrado e doutorado em Sistemas de Potência pela PUC-RJ em 1992 e 1997, respectivamente. Trabalha como pesquisadora no CEPEL desde 2002 no desenvolvimento do Programa NH2.

**Tiago Snatana do Amaral** é graduado em engenharia elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2004), com mestrado em Sistemas de Potência pela COPPE/UFRJ em 2008. Trabalha como pesquisador do CEPEL desde 2006.

**Javier R. O. Soto** é graduado em Matemáticas na UNI-Lima, Peru (1993), com Mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação na COPPE/UFRJ em 1998. Atualmente está realizando doutorado em Engenharia Elétrica na PUC/RJ. Trabalha como pesquisador no CEPEL desde 1995.

**Luiz Antonio Alves de Oliveira** possui graduação em Matemática pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1998), graduação em Informática pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2001) e mestrado em Informática pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 2002. Atualmente está realizando doutorado em otimização pela COPPE-UFRJ. Trabalha como pesquisador no CEPEL desde 2006.

**Fabiola Ferreira Clement Veliz** é graduada em engenharia elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2004), com mestrado em Sistemas de Potência pela COPPE/UFRJ em 2008. Trabalha como pesquisadora do CEPEL na área de estudos elétricos desde 2003.