



**XXII SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GAT/08  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

**GRUPO - IV**

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

**APLICAÇÃO DE UM SISTEMA INTELIGENTE DE ILHAMENTO AUTOMÁTICO – SIA  
AO SISTEMA ELÉTRICO DE TRANSMISSÃO DA CTEEP**

**Sergio L. Escalante (\*), Otto W. Ganvini,  
Rômulo C. Magalhães, Thiago B. Cazes  
CHOICE**

**Erasmio Fontana, Hélio Hanawa,  
Wilson R. David Junior  
CTEEP**

**RESUMO**

Este trabalho apresenta os resultados do projeto realizado pela CHOICE TECHNOLOGIES S.A. para a Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista (CTEEP). O objetivo do trabalho é mostrar a aplicação do sistema computacional inteligente – SIA no sistema da CTEEP. O SIA é baseado em algoritmos que detectam situações de risco que possam afetar o fornecimento de energia da elétrica. Na condição de risco iminente, o SIA executará automaticamente ações visando conservar parte da geração conectada à parte da carga isolando-as da fonte da perturbação. O SIA é capaz de efetuar operação de ilhamento em situações de perturbação do Sistema Interligado Nacional (SIN).

**PALAVRAS-CHAVE**

Ilhamento automático, monitoramento, balanço de carga, estabilidade.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Num mundo cada vez mais dependente do suprimento de energia elétrica, é fundamental aperfeiçoar a segurança e minimizar perdas de suprimento (1). As grandes perturbações continuam a ocorrer em todo o planeta, conforme pode ser constatado na literatura técnica. As pesquisas têm dado atenção ao desempenho do sistema elétrico tanto em regime permanente quanto durante a ocorrência dos mais diversos fenômenos transitórios. Dentre os fenômenos transitórios, os que mais preocupam aos operadores são os que potencialmente podem gerar um colapso total ou parcial do sistema elétrico ou blecaute (2).

Em uma perturbação de grande porte, um sistema elétrico fica sujeito a desligamentos automáticos em cascata, o que amplia as consequências adversas em termos de perdas de geração e carga e o colapso de todo o sistema elétrico. Qualquer parte de um grande sistema interligado pode ser arrastada para o colapso pelo efeito cascata intrínseco a uma perturbação de grande porte. Em tais circunstâncias, tudo o que puder permanecer em serviço e manter o suprimento aos consumidores constitui benefício adicional.

Das medidas que podem ser tomadas para conter as consequências adversas de perturbações significativas, destaca-se o conceito de Ilhamento por ser inerente à ideia de conservar parte da carga e geração, isolando-as da fonte da perturbação.

Na literatura, encontramos pesquisas referentes a ilhamentos, seja para detectá-las por serem geradas espontaneamente (falhas nos sistema de proteção e/ou controle) ou para gerá-las de forma sistemática ou intencionais para preservar uma parte do sistema elétrico (3 - 8). A prevenção contra o efeito cascata com o objetivo de minimizar as consequências em perturbações de larga escala pode teoricamente ser feita mediante a criação de ilhas coerentes em geração, transmissão e carga, e flexíveis, capazes de conviver com os pontos de operação externo (pré-distúrbio) e interno (pós-distúrbio). A preservação de ilhas também contribuiria de maneira significativa para simplificar e agilizar a recomposição do sistema elétrico.

(\*) Av. Armando Lombardi, n° 800 – sala 333 – 3° andar - CEP 22.640-000 Barra da Tijuca, RJ, – Brasil.  
Tel: (+55 21) 3094-6276 – Fax: (+55 21) 3094-6250 – Email: sergio.escalante@choice.com.br

O artigo apresentará a determinação acurada de partições de um sistema elétrico para formação antecipada de ilhas, visando à preservação da maior parcela possível de carga e de geração, quando da ocorrência de perturbações com potencial para causar um colapso do suprimento de energia elétrica. A implementação é feita por meio de um sistema computacional baseado em algoritmos de detecção lógica e de *early warning awareness* ou consciência de alerta precoce para identificar condições operativas de risco. São empregados algoritmos de comitê de voto e de veto para evitar atuações desnecessárias, bem como algoritmos de automação de ações que mantenham o fornecimento de parte da geração e da carga que seriam afetadas, pela separação de trechos da transmissão para isolar as respectivas partições e formar ilhas estáveis.

O SIA está subdividido em dois módulos principais de entrada de dados: o primeiro é para o cálculo do balanço de carga que é realizado a cada  $T$  minutos (encontrar a melhor ilha), e o segundo é para a detecção de situações de risco, com taxa de medida em  $ms$  e leitura a cada  $T'$  segundos. O módulo de detecção considera três métodos de detecção, que são processados várias vezes (triggers de atuação serão enviados quando detectado algum risco de blecaute no sistema elétrico). Estes processos dependem das medidas obtidas do sistema elétrico.

## 2.0 - ESTRUTURA E METODOLOGIA DO SISTEMA DE ILHAMENTO AUTOMÁTICO

O sistema computacional inteligente de ilhamento automático (SIA) tem como objetivo isolar uma ilha estável selecionada numa região predefinida que tenha geração, transmissão e distribuição compatíveis com as condições prevalentes no sistema elétrico interligado em uma situação pós-distúrbio. A ilha é automaticamente selecionada a partir do balanço de sua geração em relação à carga e às perdas de potências ativa e reativa. A seleção inclui a avaliação do desempenho dinâmico da ilha a partir do instante da sua formação, de sorte a assegurar condições aceitáveis de tensão e frequência (1), (7), (9). As condições de tensão poderão ser melhoradas pelo sistema de ilhamento mediante o chaveamento automático de equipamentos destinados ao controle de tensão, de maneira que a geração ilhada permaneça com margens de potência reativa para suportar contingências internas. Analogamente, cortes automáticos de geração ou carga estarão associados à manutenção da frequência nominal. A estrutura de desenvolvimento e de funcionamento do SIA é mostrada na Figura 1.

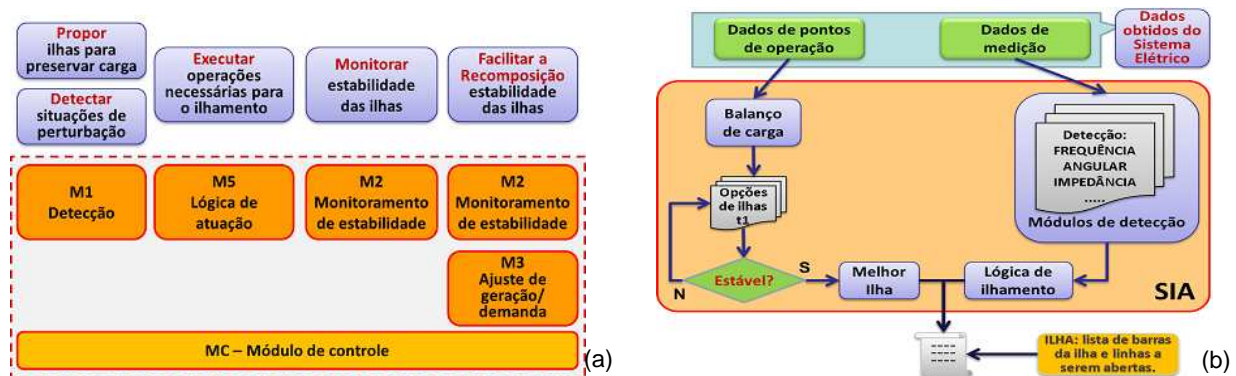


FIGURA 1 – (a) Estrutura do SIA: principais blocos e (b) Diagrama de blocos.

### 2.1 Detecção ON-LINE

De forma resumida, o módulo M1 (Detecção ONLINE) corresponde à execução de dois submódulos: Propor e Detectar.

**2.1.1 Propor ilha.** - Uma base histórica de ilhas fixas como são as DITs (Demais instalações de Transmissão) será criada e as propostas surgirão da comparação entre a situação monitorada com as preestabelecidas. A situação monitorada é referente às informações obtidas do sistema elétrico. O cálculo do balanço de carga-geração é realizado neste submódulo. Considerações como manutenções programadas e previsões de demanda (curvas de carga) e geração são realizadas.

**2.1.2 Detectar.** - O submódulo Detectar depende da taxa de medição utilizada e dos dados obtidos do sistema elétrico. O monitoramento do sistema permitirá ao SIA detectar situações de risco que possam afetar o sistema da CTEEP, podendo eventualmente ocasionar um blecaute. Este submódulo considera três métodos de detecção, os quais serão detalhados no item 3.2.

### 2.2 Lógica de atuação

**2.2.1 Executar.** - A execução das operações do SIA está preparada para que sejam comandadas de forma automática, com a rapidez necessária e considerando as questões de segurança. A não consideração da segurança na criação de uma ilha poderia levar o sistema ilhado a uma situação de instabilidade, tornando inviável sua subsistência. O SIA deverá operar como um sistema de aconselhamento e indicará os comandos para a geração das ilhas, mas a decisão final será dos Operadores do Sistema de Potência da CTEEP.

### 2.3 Monitoramento da Estabilidade e Ajuste de geração/demanda

2.3.1 Monitorar.- Os sistemas de monitoramento de tensão, ângulo e frequência da CTEEP adquirem dados do sistema elétrico em ciclos de varredura, e executam ajustes de forma automática. A monitoração deve ser contínua também nos pontos de desconexão que serão usados para a formação de uma ilha.

2.3.2 Ajuste.- Após a formação das ilhas, os valores de tensão, ângulo e frequência podem oscilar nos primeiros segundos, e o ajuste da geração/demanda deverá estar em alerta. Depois que as ilhas estiverem funcionando em estado estável, estas poderão ser ajustadas para crescer caso a capacidade da geração remanescente o permita. A operação no ajuste de geração/demanda deverá ser realizada pelos Operadores do Sistema de Potência da CTEEP.

### 2.4 Recomposição

2.4.1 Facilitar a Recomposição.- A recomposição deve ocorrer seguindo os procedimentos padrão do ONS (10), de maneira segura e o mais rápido possível. Como indicado no item anterior, a decisão final será dos Operadores de Sistemas da CTEEP.

### 2.5 Módulo de Controle

Este módulo é referenciado ao processo todo, obtendo-se assim como produto final o software SIA. A Figura 1b mostra de forma resumida em diagramas de blocos o SIA. Nessa figura, observam-se as duas entradas de dados, uma para o cálculo da melhor ilha (balanço de carga-geração) que é obtida a cada T minutos e outra para o monitoramento do sistema elétrico (detectar risco no sistema que afete o sistema da CTEEP). No módulo de detecção são mostrados os três métodos de detecção: por variação das medidas de frequência, angular e impedância.

## 3.0 - SISTEMA DE ILHAMENTO AUTOMÁTICO

### 3.1 Ilhamento Flexível

A ilha formada pode ser modificada de acordo com as condições do sistema no instante imediatamente anterior à separação do resto do sistema. A ilha pode crescer ou encolher dependendo das características da disponibilidade de geração e do carregamento da ilha no instante em que esta é formada, da estabilidade, assim como do balanço de potência reativa.

A formação da ilha tem como objetivo preservar a máxima carga possível da área durante um blecaute parcial ou total que afete o sistema elétrico da CTEEP.

O balanço de carga serve para definir a ilha base. A análise dinâmica serve para conferir se a ilha será estável e segura. A flexibilidade da variação do tamanho da ilha é realizada de acordo com critérios estabelecidos e implementados no SIA.

As alternativas de ilhas ou possíveis ilhas são iniciadas numa área ou região onde a geração disponível seja menor que a carga. Realizar abertura de linhas com cargas no terminal da linha é fazer uma rejeição de carga. Isto traz como consequência a redução da área, gerando assim várias alternativas de ilhas.

3.1.1 Definição da formação da ilha.- A formação das ilhas dependem das informações provenientes das entradas de dados. O objetivo dessa função é deixar o SIA preparado para eventos pré-definidos. Nesses estudos, levou-se em consideração um conjunto de eventos que podem levar o sistema elétrico a um blecaute parcial ou total.

3.1.2 Configuração da Ilha.- A configuração para a formação da ilha depende principalmente de seis passos:

1. Determinação das cargas importantes e da geração disponível; caso não haja cargas importantes, a prioridade será alimentar a máxima carga possível com a geração disponível nesse instante. A formação da ilha é feita de forma semialeatória, respeitando critérios pré-definidos.
2. Com a informação da geração disponível, determinar a quantidade de carga que pode ser atendida fazendo o balanço de carga-geração.
3. Dependendo da informação anterior (balanço carga-geração), determinar as possíveis ilhas. As ilhas viáveis serão avaliadas via restrição estática, estimando-se assim a melhor ilha a ser avaliada dinamicamente.
4. Uma vez estimada a ilha, analisar e avaliar a sua estabilidade e segurança. Se a mesma for estável e segura, ela passa a representar a ilha definitiva a ser criada fisicamente.
5. Caso a ilha não seja estável e segura, avaliar as outras possibilidades ou alternativas de ilhas geradas no item 3, repetindo o item 5 até que uma ilha estável seja selecionada. No estágio atual do SIA, esse processo é realizado off-line.
6. Uma vez que a ilha selecionada seja estável e segura, ela é armada. Se for detectado algum distúrbio que ponha em risco de blecaute o sistema da CTEEP, os procedimentos de operação para a separação da ilha selecionada serão efetivados e a ilha será gerada e monitorada.

3.1.3 Balanço de Carga–Geração.- Independentemente de como sejam obtidos os dados, a avaliação do balanço de carga-geração é realizada a cada T min, no caso de estar conectado online. O tempo T poderá ser modificado

pelo usuário. Esse tempo dependerá da disponibilidade de dados existentes na pasta do SIA (p/SIA), tal como é mostrada na Figura 2a.

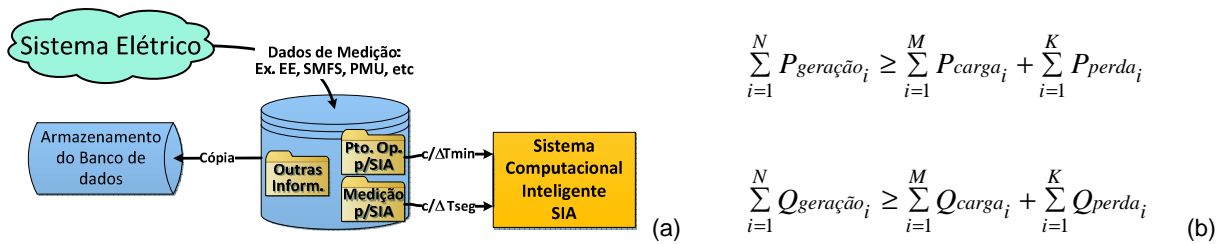


FIGURA 2 – (a) Visão geral dos dados de entrada para o SIA e (b) Equação do balanço de carga.

O balanço de carga é calculado para atender aos critérios de equilíbrio estático entre geração e carga, bem como para cumprir os respectivos critérios dinâmicos. As expressões do balanço de carga-geração, considerando também as perdas, são mostradas na Figura 2b. O formato de dados do arquivo lido e usado no cálculo de balanço de carga-geração é lido pelo software Anarede (\*.PWF) do CEPEL. O cálculo do balanço de carga-geração é aplicado à pasta de “Pto. Op.” da Figura 2a.

A estrutura usada para o cálculo de balanço de carga é mostrada na Figura 3. Nesta figura, a geração total da ilha base é mantida já que a adaptabilidade vai estar relacionada com a saída de cargas. Observa-se também um bloco de perdas, referente às perdas da ilha, com ênfase nas perdas das linhas de transmissão.

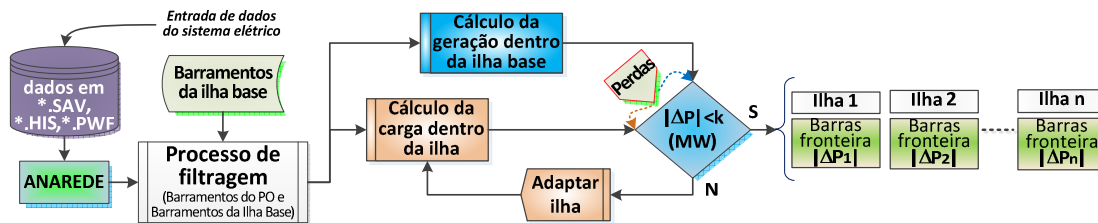


FIGURA 3 - Entrada de dados para o SIA.

### 3.2 Métodos de detecção

Dos dados de entrada que o SIA utiliza, os primeiros são referentes aos dados do ponto de operação (PO). Estes dados são obtidos do próprio sistema elétrico da CTEEP para o cálculo da melhor ilha mediante o balanço de carga-geração.

A segunda entrada de dados é referida à detecção de algum distúrbio que produza riscos de colapso no sistema da CTEEP e por tal se determine a geração de subsistemas ou ilhas.

Os métodos de detecção pesquisados e implementados no SIA foram: por variação de frequência, angular e de impedância. Esses métodos nascem da premissa de detectar as oscilações de potência, especificamente a perda de sincronismo ou “out-of-step” (OOS) ((3), (5), (11) e (12)).

#### 3.2.1 Método de Detecção por variação de frequência.

Este método é amplamente utilizado para detecção de ilhamento. Os desvios da frequência do nominal e a taxa de variação  $df/dt$  são bons indicadores para uma condição de ilhamento. Entre os dispositivos que podem ser usados, temos (3): a) Relés de frequência que medem a tensão das barras e determinam a frequência; b) Relés de variação de frequência  $\Delta f/dt$  que medem a taxa de variação da frequência e ficam em alerta se essa taxa exceder o parâmetro determinado pelo usuário (em torno de 2.5 Hz/s); c) Relés Vector Shift que medem o comprimento da onda e detectam qualquer variação dessa grandeza.

a.- Detecção baseado em medição local.- São utilizadas medições da frequência assim como da taxa de variação ( $df/dt$ ) de pontos dentro da região onde se quer gerar a ilha. Uma representação gráfica deste método é mostrada na Figura 4a. O software SIA tem até dois sinais de saída para detecção por variação de frequência local.

b.- Detecção baseada em medição remota.- Este método utiliza medidas sincronizadas no tempo de um ponto remoto fora da ilha a ser formada e medições d geradores pertencentes à referida ilha. Características de variação e aceleração da frequência são usadas. A frequência é obtida da variação angular com relação ao tempo. A Figura 4b mostra a região de operação normal do sistema antes de ser ilhado.

O software SIA tem um sinal de saída para detecção por variação de frequência remota.

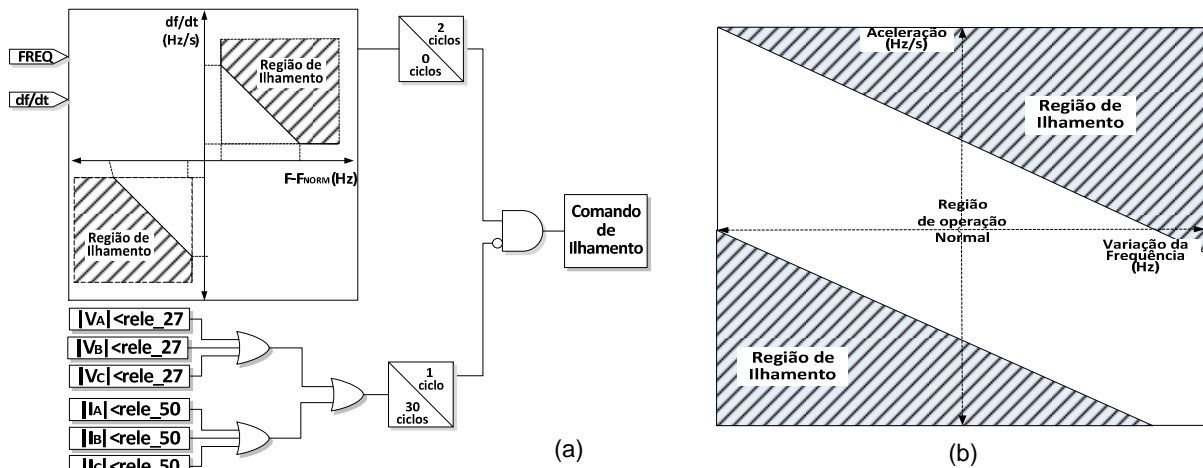


FIGURA 4 - Esquema de detecção utilizando (a) medições locais e (b) medições remotas.

### 3.2.2 Método de Detecção por variação do Ângulo

Este método parte da lógica mostrada na Figura 5a, onde OOSTH (out-of-step threshold) indicaria o valor limite para estar fora de sincronismo, isto é, o valor limite para operar na região de não ilhamento (esta variável define a região de operação da diferença angular). OOSD (OOS detection) indicaria a detecção do sistema estar fora de sincronismo, ou quando a operação do sistema sai da região de não ilhamento. OOSCN (OOS count) seria um contador de OOS.

A Figura 5b mostra os limites da diferença angular indicados pela variável OOSTH. Nota-se que a diferença angular do ponto de operação (ADOP) pode atravessar a região de esquerda a direita ou vice-versa.

O software SIA tem até dois sinais de saída para detecção por variação angular. Onde: ADOPR é a região de operação do ponto de operação. A e B são pontos de medida para realizar a diferença angular.

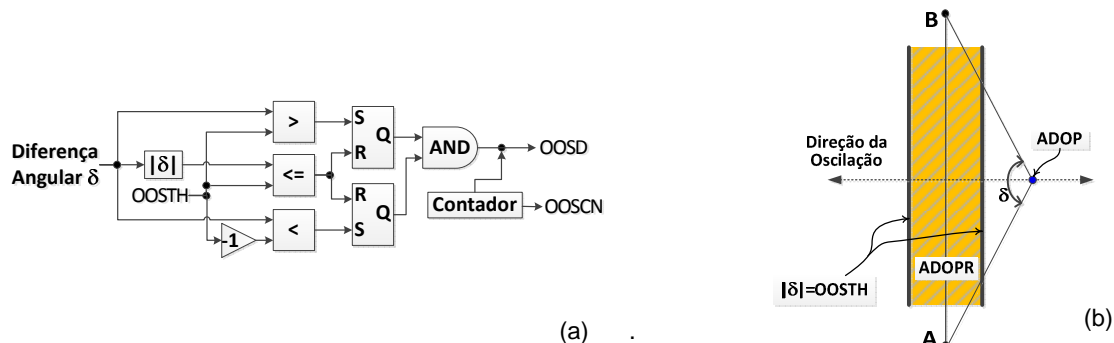


FIGURA 5 - (a) Lógica para detectar a perda de sincronismo ou OSS via diferença angular e (b) Região de operação por diferença angular.

### 3.2.3 Método de Detecção por variação da impedância

Um critério para distinguir uma condição de OOS ou uma condição de falha é a taxa de variação da impedância. Numa falha, a impedância varia instantaneamente de impedância de carga para a de falha. No caso de um OOS, a impedância medida vai “viajar” no plano R/X com uma taxa ( $dZ/dt$ ) muito menor de que causado por uma falha.

Ao longo do tempo, os esquemas convencionais das características de impedâncias foram concebidos para detectar os OOS. Estas características incluem dupla blindagem, polígonos concêntricos, círculos concêntricos, etc, tal como são mostradas na Figura 6a. A Figura 6b mostra um esquema de dupla blindagem (interna e externa) para a detecção do OOS. Nesta figura a variável OSDB é o tempo antes da função de OOS seja bloqueada.

O software SIA tem até três sinais de saída para detecção por variação de impedância.

### 3.3 Ajuste dos limites das regiões de segurança

Uma das entradas de dados do SIA são as medidas que os métodos de detecção precisam como frequência, módulo e ângulo da tensão, impedâncias, etc. onde o SIA vai monitorar se as referidas medidas saem das regiões de operação segura. Os limites ou faixas das regiões de segurança são previamente determinados. Para calcular as regiões ou limites de segurança, foram realizadas diversas simulações para cada ponto de operação (cargas leve, média e pesada). Por exemplo, dado um PO foram gerados vários eventos com o intuito de provocar colapso parcial ou total no sistema da CTEEP. A Figura 7 mostra de forma genérica como foram realizadas as simulações.



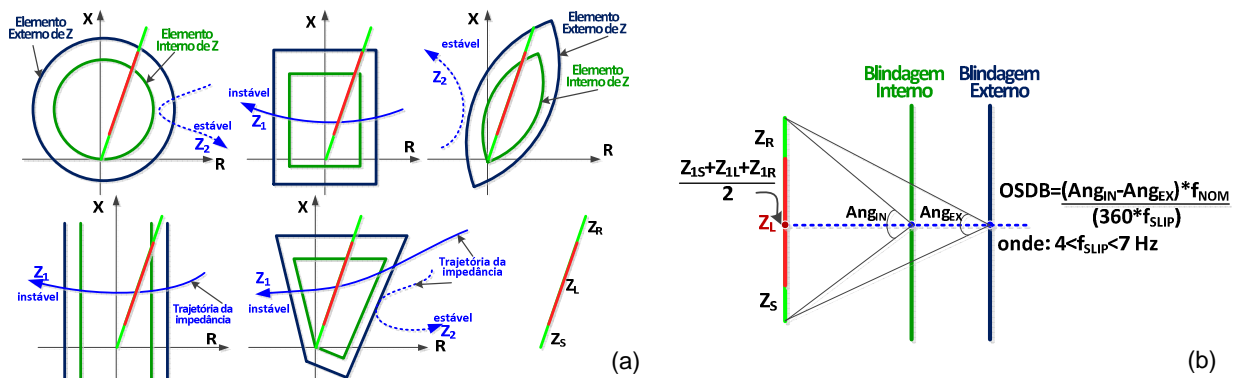


FIGURA 6 - (a) Diferentes características de blindagens para detecção de OOS; e (b) Blindagem interna e externa da proteção OOS.

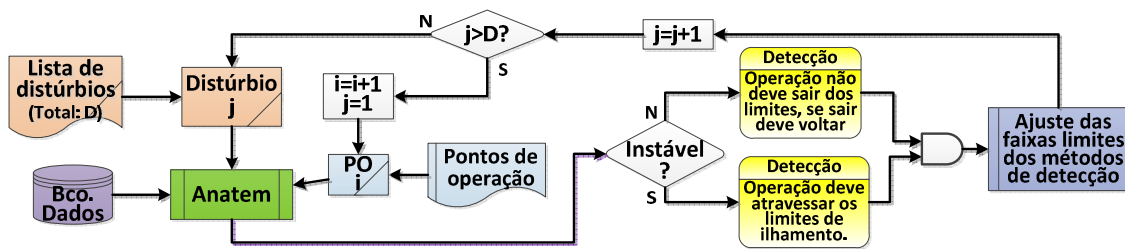


FIGURA 7 - Ajuste dos limites de operação normal (não ilhamento).

### 3.4 Lógica de atuação do SIA

O critério da lógica de atuação tem como base assegurar que o SIA só enviará um comando de formar ilhas nos casos de colapso.

A lógica consiste em que pelo menos três saídas dos métodos (por variação de frequência, angular e impedância) enviem um comando, sendo certo que o tempo de ilhamento será determinado pelo tempo do terceiro método.

Cabe ressaltar que foi implementado um tempo de alerta que se inicia assim que o primeiro método entra em ação e finaliza quando o terceiro método envia o comando.

A sequência do formar a ilha, armar o SIA e ilhar consistirá em ações diferentes entre si no tocante ao método e à velocidade de execução.

Resumindo, essa operação segue o seguinte roteiro:

- Armar o SIA: Consiste em um sinal remoto que deixa os dispositivos que formam a ilha de prontidão para formá-la.
- Ilhar: Sinal remoto que vai operar os dispositivos previamente armados (preparados para comandos de abertura de disjuntores e gerar a ilha escolhida).
- Desarmar: Sinal remoto que desativa os dispositivos, retornando à posição normal.

### 4.0 - APLICAÇÃO DO SIA NO SISTEMA DA CTEEP

A CTEEP é a principal concessionária de transmissão do estado de São Paulo. O sistema elétrico da CTEEP é formado por 12.993 km de linhas, 18.782 km de circuitos, 2.488 km de cabos de fibra ótica e 106 subestações com tensão de até 550 kV, onde trafegam 30% da energia elétrica produzida no Brasil e 60% da energia consumida na região Sudeste, o equivalente a quase 80% do consumo no Estado de São Paulo. Seus principais clientes são outras concessionárias de serviços públicos de energia. Conta com mais de 106 subestações, sendo que 56 pertencem à Rede Básica e 50 são unidades das Demais Instalações de Transmissão (DITs), operando nas tensões de 11,5 a 550kV (13).

Para a aplicação do SIA, simulou-se o evento do blecaute de novembro de 2009. A Figura 8 mostra o evento simulado no SIN assim como a tela do SIA no início da monitoração e no momento em que é realizado o comando de *trip* para formar as ilhas.

No LOG mostrado na Figura 8d é indicado o tempo em que os métodos de detecção dispararam o *trigger* (limites de segurança atingidos). Para frequência local\_1 (FREQ 561) em  $t=0,237$ , para frequência remota (FREQ 584 e 5001) e para frequência Local\_2 (538) em  $t=0,360$ . Para impedância (Z de 584 - 574), é detectada no tempo  $t=0.414$ .

Na Figura 9 são mostradas as abas de monitoramento do SIA para os métodos de detecção por frequência e por impedância. A Figura 10a mostra o método para variação angular. Nota-se que entre os métodos de detecção, os que tiveram maior sensibilidade ao distúrbio foram os de variação de frequência (Figura 9b) e os de menor sensibilidade

foram as de variação angular (Figura 10a). O SIA também monitora o sistema tal como é mostrado na Figura 10b.

```

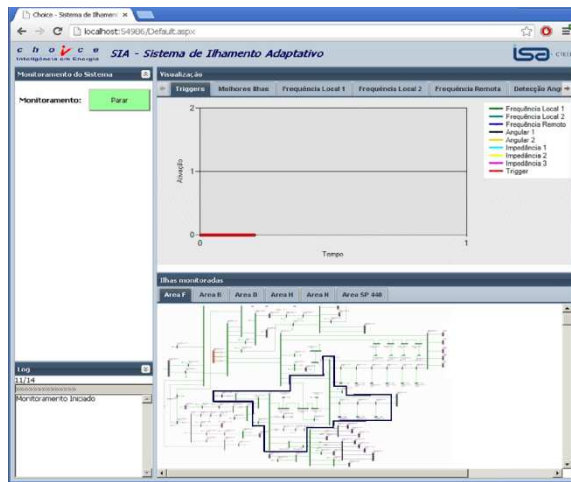
DEV T IMPR
(Tp) (Tempo) ( El ) ( Pa ) Nc ( Ex ) ( % ) ( ABS ) Gr Und
MDSH 0.20 69 +2000
MDSH 0.22 71 +2000
MDSH 0.23 72 +2000
ABCI 0.26 72 69 1
ABCI 0.28 65 69 1
ABCI 0.295 72 70 1
MDSH 0.30 72 -2000
ABCI 0.31 65 70 1
MDSH 0.31 70 -2000
ABCI 0.355 65 71 1
ABCI 0.365 72 71 1
999999

```

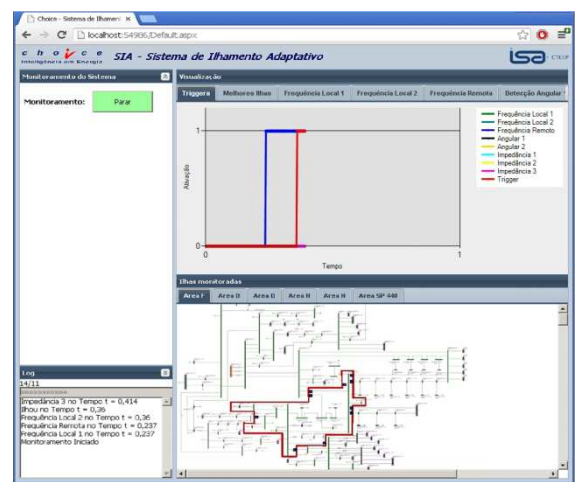


(a)

(b)

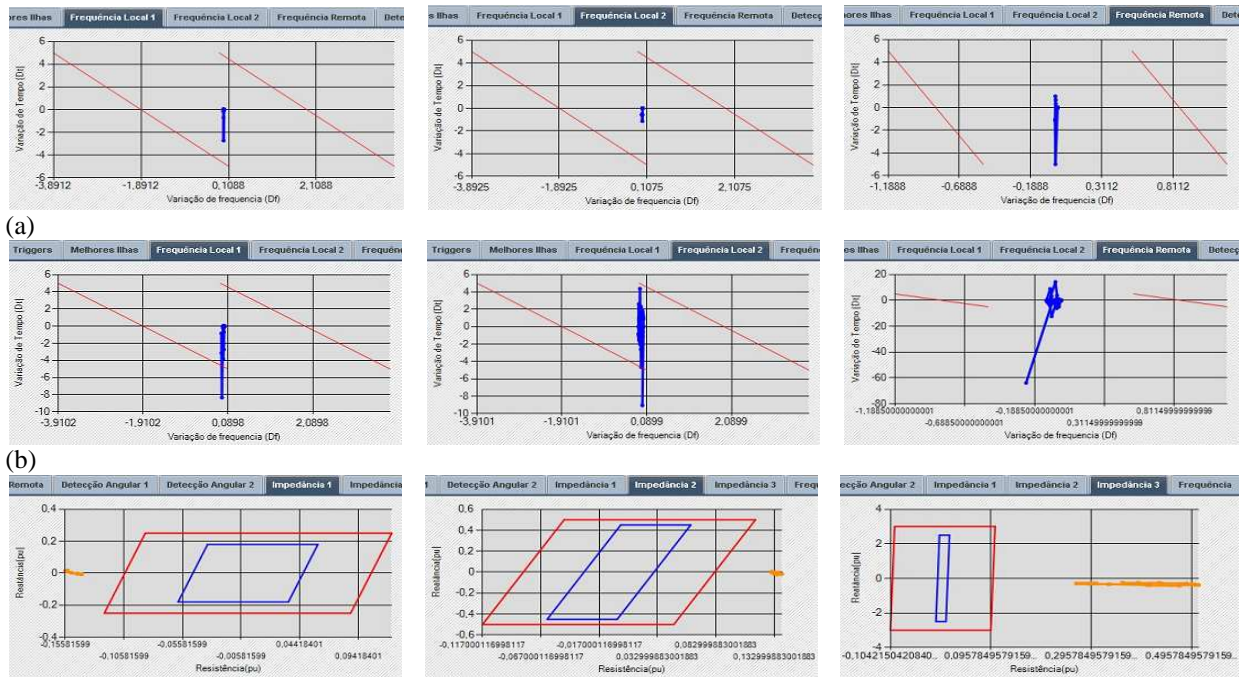


(c)



(d)

FIGURA 8 – (a) Evento simulado no Anatem (b) Procura de melhores ilhas (c) Tela de monitoramento das áreas da CTEEP (início) e (d) Resposta do SIA indicando o tempo e a ilha (vermelho) a formar.



(a)

(b)

(c)

FIGURA 9 – (a) Início da detecção por variação de frequência. (b) Momento em que o PO sai da região de segurança (gatilho por variação de frequência) (c) Resposta por variação da impedância.

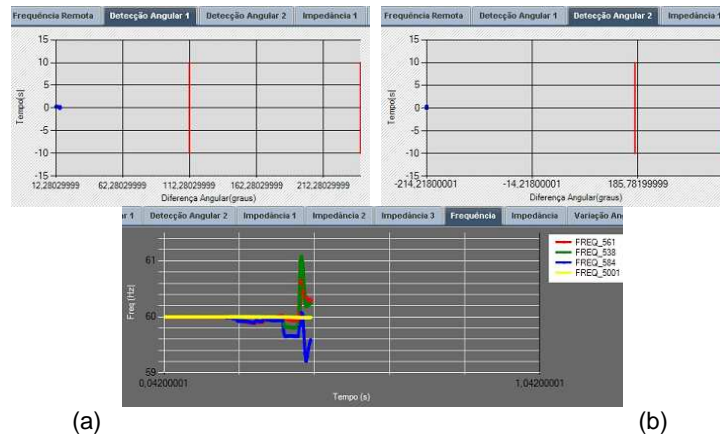


FIGURA 10 – (a) Método de detecção por variação angular; (b) Monitoramento do sistema: frequência.

## 5.0 - CONCLUSÃO

O produto obtido no projeto mostrou a viabilidade de uma ferramenta que pode ser conectada ao Sistema de Supervisão e Controle da CTEEP.

Os métodos de detecção implementados se mostraram eficientes. Muito tempo e esforço foram requeridos para determinar as fronteiras de ilhamento de maneira que consigam atuar somente em casos de oscilações que levariam o sistema ao colapso e não atuassem em caso de oscilações amortecidas. Durante o ajuste dos limites, foi observado que em certos casos, dependendo de onde acontece o evento, alguns métodos detectam o risco do sistema e outros não, o que torna muito importante a escolha dos pontos de medição.

A lógica de ilhamento cumpre um papel muito importante no sistema de detecção, evitando que o SIA atue em casos desnecessários, e atue de maneira adequada e o mais rápido possível em casos de oscilações instáveis.

As ilhas a serem formadas que são indicadas pelo SIA trazem grandes vantagens, tais como: preservação de maior montante de carga nas ilhas e manutenção das grandezas elétricas dentro dos limites permitidos em regime; não interrupção do fornecimento de energia para algumas regiões (ganho social); continuidade parcial do serviço de transmissão de energia durante um colapso do sistema (ganho econômico); a ilha preservada, já contemplando a maximização de carga aderente ao montante de geração disponível na ilha, fica predisposta à recomposição do sistema, agilizando esse processo (redução no tempo de recomposição).

A sensibilidade e experiência dos Operadores de Sistema com a rede elétrica da CTEEP e/ou sistema interligado é de suma importância. Porém como ferramenta de apoio o SIA pode proporcionar aos Operadores, maior rapidez na tomada de decisão frente a perturbações de grande magnitude.

Como próximo passo, espera-se continuar a pesquisa, em busca de aperfeiçoar a detecção de instabilidades e da necessidade de ilhamento, desenvolvimento, testes e implantação de uma ferramenta de apoio ao Operador em tempo real.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) KUNDUR P., Power System Stability and Control, McGraw-Hill Inc., 1994.
- (2) ORDACGI F., J.M.; LIMA, R.C.; MORAES, R.M.; SOLLERO, R.B. "System Integrity Protection Schemes – SIPS," Paper IP13, PAC World 2010 Conference, Dublin (IE), June 2010.
- (3) MULHAUSEN, J.; SCHAEFER, J.; MYNAM, M.; GUZMÁN, A.; DO-NOLO, M. "Anti-Islanding Today, Successful Islanding in the Future," proceedings of the 36th Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, October 2009.
- (4) GULER, T.; GROSS, G., "Detection of Island Formation and Identification of Causal Factors Under Multiple Line Outages", IEEE Trans. Power Systems, vol. 22, no. 2, pp.505-513, May 2007.
- (5) GUZMÁN, A.; MYNAM, V.; ZWEIGLE, G. "Backup Transmission Line Protection for Ground Faults and Power Swing Detection Using Synchrophasors," proceedings of the 34th Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, October 2007.
- (6) MASON, C.R. The Art and Science of Protective Relaying, 1th ed., John Wiley & Sons, 1956.



- (7) NAJAFI, S.; ABEDI, M.; HOSSEINIAN, S.H. "A Strategy for Fre-quency Stability of Islanded Power Systems". 2nd IEEE International Conference on Power and Energy (PECon 08), December 1-3, 2008, Johor Baharu, Malaysi.
- (8) YUPING LU, XIN YI, JI'AN WU, XIA LIN, An Intelligent Islanding Technique Considering Load Balance for Distribution System with DGs, IEEE, 2006, pp. 567-573.
- (9) IEEE guide for abnormal frequency protection for power gener-ating plants, An American National Standard, 1987.
- (10) ONS, "Submódulo 10.11 – Norma de Operação – Recomposição na Rede de Operação após Perturbação", Manual de Procedimentos da Operação, Revisão: 1.1, Data de Vigência: 09/16/2010.
- (11) HEMMINGSSON M, "Power System Oscillations: Detection, Esti-mation and Control", Ph.D. Dissertation, Dept. Industrial El. Eng. and Automation, Lund University, Sweden. March 2003.
- (12) TZIOUVARAS, D.; HOU, D., "Out-of-Step Protection Fundamen-tals and Advancements", 30th Annual Western Protective Relay Conference, October 21-23, Report Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. Spokane, Washington 2003.
- (13) CTEEP, Relatório Técnico RT\_OPOE\_10\_0054; Esquema de Ilhamento das DITs, Divisão de Análise da Operação Estudos de Operação e Proteção CTEEP/OPO.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Sergio Escalante** Nasceu em 1974 em Arequipa – Peru. Graduiu-se em Engenharia Elétrica pela Universidad Nacional de Ingeniería–UNI (2001) Perú, trabalhou em Lima–Peru (2001-2002) executando estudos em média e baixa tensão, tem mestrado em Eng. Elétrica pela Universidade Federal do Maranhão–UFMA (2005) e doutorado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro U-FRJ/COPPE (2011). No mestrado participou em projetos P&D com a Eletronorte, no doutorado em P&D com a Light em desempenho dinâmico da geração distribuída e em simulação dinâmica trifásica nas redes de distribuição. Atualmente trabalha na empresa Choice Technologies S.A. como consultor III. Tem experiência na área de Eng. Elétrica, com ênfase em Transmissão e Distribuição de energia, atuando principalmente em Sistemas de Potência, controladores FACTS e HVDC, fluxo de potência, oscilações eletromecânicas, controle e estabilizadores de sistemas de potência e PMUs (unidades de medida fasorial).