



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

GOP 17
14 a 17 de outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO IX

GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GOP

PROCEDIMENTOS OPERATIVOS QUANDO DE PERDA DE CANAIS DE TRANSFERÊNCIA DIRETA DE DISPARO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO DE AT E EAT

João Francisco Marques Carvalho * Everton Pizolatti Medeiros Adriano Pauli
Anilson Luiz Duarte

ELETROSUL CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.

RESUMO

Os esquemas de Transferência Direta de Disparo – TDD são implementados em linhas de transmissão de AT e EAT para assegurar o desligamento de linhas e/ou equipamentos em determinadas situações, de modo a não submeter estas linhas, equipamentos ou o próprio sistema de potência à condições que lhes imponham riscos acentuados. A ELETROSUL emprega no seu sistema dois canais de teleproteção independentes para a função de TDD.

De um modo geral, são aplicados em esquemas de falha de disjuntor, falhas internas em reatores shunt, proteções contra “blind spot” em arranjos do tipo disjuntor-e-meio, desligamentos em oscilações de potência, desligamentos por sobretensões terminais, desligamentos manuais de linhas de transmissão/equipamentos e desligamentos através de Esquemas de Controle de Emergência – ECE (de larga utilização no Sistema Interligado Nacional – SIN).

O presente artigo apresenta os procedimentos e ações adotados pela área de Operação da ELETROSUL, em consonância com as diretrizes fornecidas pelas áreas de Estudos Elétricos e Proteção, quando de perda simultânea dos canais de TDD. Tais procedimentos e ações têm por objetivo assegurar a integridade dos componentes do seu sistema de transmissão e dos sistemas regionais a ele interligados.

PALAVRAS-CHAVE

Transferência Direta de Disparo, TDD, Sobretensões, Falha de Disjuntor, Esquema de Controle de Emergência

1.0 - INTRODUÇÃO

Em certas situações operacionais pode ocorrer a perda simultânea dos canais de TDD ou do link de comunicação entre as suas subestações terminais, levando à necessidade da operação em tempo real da Empresa de tomar uma decisão até certo ponto severa:

O que fazer? Desligam-se linhas de transmissão ou equipamentos que suprem áreas importantes do SIN com risco de corte de carga, riscos sociais, risco de “apagões”, desdobramentos para outras áreas do sistema ou risco de penalizações quanto à parcela variável (o desligamento manual voluntário da linha de transmissão poderia, ainda, acabar por gerar o problema de exposição dos equipamentos aos riscos que se gostaria de evitar)? Mantemos a linha de transmissão ligada, sujeitando-a à operação com risco de sobretensões e danos aos seus equipamentos terminais ou de não eliminação de uma falta? Operamos a linha de transmissão e/ou equipamentos terminais com suas proteções degradadas? Consideramos o histórico de desligamentos do componente como suporte à decisão que vier a ser tomada?

A decisão que vier a ser tomada pelas equipes de operação deve ter o suporte necessário das áreas de estudos (notadamente da área de transitórios eletromagnéticos) e de proteção de sistemas, conscientes dos riscos envolvidos. Os procedimentos operativos adotados foram normatizados pela empresa.

Com o surgimento de diversos agentes no SIN interligados à subestações existentes e com Contratos de Operação e Manutenção assinados com terceiros (normalmente, o proprietário da subestação), a responsabilidade sobre o procedimento a ser adotado cabe a estes agentes, os quais devem definir os procedimentos operativos que devem ser adotados para seus equipamentos.

Enfatiza-se que a ELETROSUL dispõe de um sistema de comunicação bastante confiável, com rotas alternativas. Emprega para a função de TDD sistemas de fibra óptica, microondas digital e carrier. Mesmo admitindo-se como baixa a probabilidade de perda simultânea dos canais de TDD (foco deste trabalho), o fato é que ela existe (com registros no histórico da empresa), tornando necessária a orientação às equipes de Operação em Tempo Real, bem como às equipes de Manutenção de Telecomunicações.

Sob o ponto de vista de proteção de sistemas, deve sempre ser perseguida a eliminação o mais rápido possível dos defeitos em linhas de transmissão e equipamentos. Os procedimentos adotados pela ELETROSUL tiveram como premissa básica a continuidade do suprimento, desde que sem risco apreciável para seus equipamentos e linhas de transmissão. Levaram em consideração o atual elevado grau de interconexão do sistema da região sul que leva a um bom desempenho dinâmico do sistema, sob o ponto de vista de curtos-circuitos na rede.

2.0 - AVALIAÇÃO DAS SITUAÇÕES ESPECÍFICAS

Esta avaliação busca abordar o impacto da perda dos canais de TDD sobre cada uma das situações nos quais os mesmos são aplicados e o efeito das medidas propostas voltadas a contornar esta perda.

2.1 Esquemas de falha de disjuntor

Consiste em, uma vez detetada a falha de um disjuntor, abrir todos os disjuntores locais associados e, via TDD, transferir a abertura para o terminal remoto. Nas subestações de 525 kV o problema está associado à linha que compartilha o vão. Considere a Figura 1.

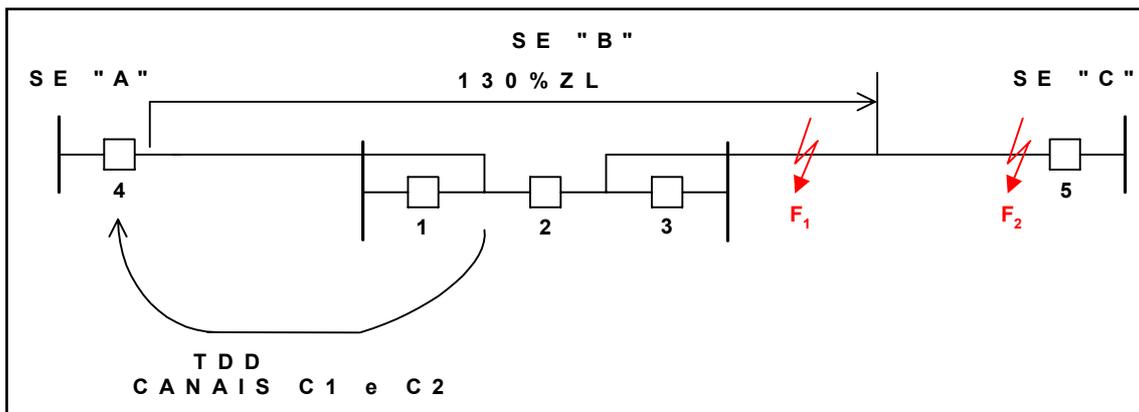


Figura 1 – Filosofia de atuação

Na eventualidade de falha do disjuntor central 2 e um curto-circuito ocorrendo até o limite do sobrealcance da 2ª zona da subestação "A" (falta F_1), a proteção do terminal "A" abriria a linha como retaguarda (desconsiderando eventuais aspectos de infeed), ainda que em tempo de 2ª zona. Entretanto, para curtos-circuitos além deste limite (falta F_2), não haveria proteção remota que eliminasse a falta, ficando o curto-circuito permanentemente alimentado, podendo ser superior à suportabilidade $I_2^2 t$ dos equipamentos. A eventual parametrização de uma 3ª zona reversa no terminal "B" poderia ver o defeito, mas não o eliminaria uma vez que o disjuntor central 2 se encontraria em falha.

No caso de subestações cujos vãos compartilham transformadores, a situação seria ainda mais crítica haja vista a possibilidade de não haver corrente suficiente para curtos-circuitos próximos ao fechamento do centro estrela para sensibilizar a proteção remota. O mesmo se aplica a linhas que possuem reatores shunt (manobráveis ou não).

Salienta-se o contexto destes riscos:

- No caso de linhas de transmissão, deveria haver a perda dos canais de TDD, haver uma falta na porção da linha além do alcance da 2ª zona e haver falha do disjuntor central. Todos simultaneamente.

No caso de transformadores e reatores, deveria haver a perda dos canais de TDD e falha nestes equipamentos.

POSIÇÃO DA ELETROSUL: Manter a linha de transmissão ligada operando com o disjuntor central aberto nos dois extremos da linha de transmissão. No caso de linhas de transmissão com reatores shunt manobráveis desligar os reatores e solicitar ao ONS providências para compensar esta retirada com outros reatores na vizinhança ou outro procedimento operativo que julgar necessário.

No caso específico de alguns acessantes à instalações da ELETROSUL, houve posicionamento explícito no sentido de manter suas linhas de transmissão e equipamentos em operação, considerando o histórico de falhas em reatores, a baixa probabilidade de haver a falha nos esquema de TDD e de haver abertura accidental em somente um terminal. Em condições de defeito nas linhas, as proteções em ambos os terminais a abririam, independentemente de canais de TDD.

2.2 Proteções contra blind spot

Nos arranjos do tipo disjuntor e meio há pontos cegos entre os TC's da proteção e os disjuntores das barras A, B e Central que não são eliminados pelas proteções diferenciais dos barramentos ou pelas proteções das linhas ou equipamentos associados ao bay. Na Figura 2 abaixo os pontos F_2 , F_4 e F_5 são exemplos destas situações.

Defeitos nos pontos F_2 e F_5 não são vistos pelas proteções das linhas (se encontram atrás dos TC's), porém são vistos pelas proteções diferenciais dos barramentos. Entretanto, a abertura dos disjuntores das barras A ou B não eliminaria os defeitos. A sua eliminação somente se dará com a abertura dos disjuntores do vão através de lógicas envolvendo os relés de falha de disjuntor (ou outra unidade de supervisão de corrente) e posição dos disjuntores do vão, com transferência de disparo para o terminal remoto da linha, via TDD. De forma análoga, defeitos no ponto F_4 também não são eliminados pelas proteções das linhas. A Figura 3 a seguir mostra a lógica de desligamento dos disjuntores pela proteção blind spot.

Estando fora de operação os canais de TDD para defeitos nos pontos F_2 e F_5 , a eliminação do defeito pelo terminal remoto se dará pela atuação das proteções daquele terminal, em tempos de 2ª zona (da ordem de 0,4 segundo).

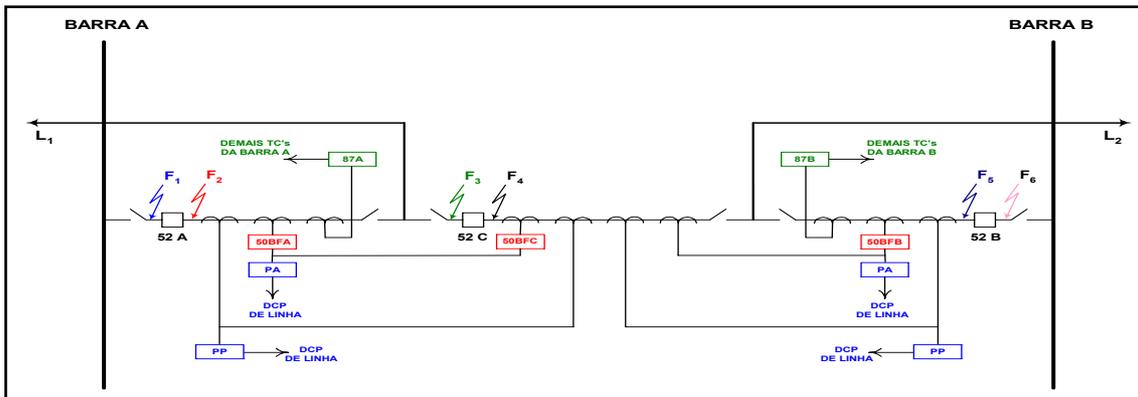


Figura 2 – Esquema de blind spot

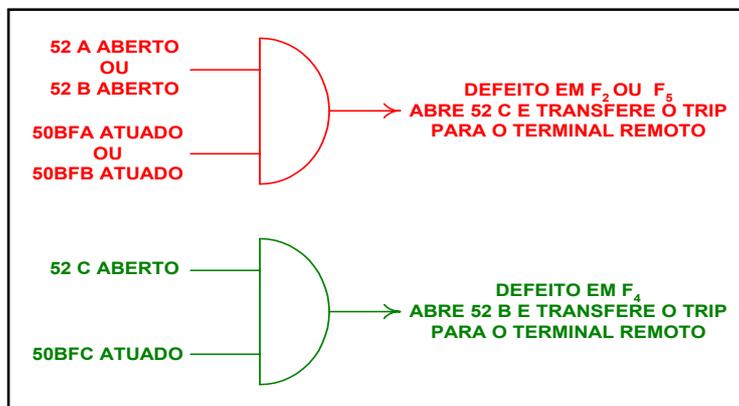


Figura 3 – Lógica de atuação

POSIÇÃO DA ELETROSUL: Manter a linha de transmissão ligada, operando com o disjuntor central aberto.

2.3 Desligamentos em oscilações de potência

Durante condições de oscilações de potência no sistema, duas possibilidades de ação são consideradas: o bloqueio das proteções de distância (função 68) ou o desligamento da linha (função 78).

O bloqueio das proteções de distância – função 68 – é amplamente usado nos sistemas de 230 e 525 kV da ELETROSUL e aplica-se em condições nas quais o sistema possa se recuperar e se manter estável, após um determinado distúrbio. Suas lógicas de controle independem dos canais de TDD.

O desligamento da linha – função 78 – normalmente é aplicado em situações nas quais o sistema não consegue se recuperar depois de determinada contingência que deu origem à oscilação ou à tendência de fuga de sincronismo, quando a abertura do disjuntor se der em condições não especificadas para ele ou, quando o centro elétrico tiver tendência de passar “dentro” de um transformador de potência. É aplicado em poucas linhas da ELETROSUL, utilizando os canais de TDD para abertura do terminal remoto, com comprimentos variando na faixa de 700 m a 176 km (uma única linha tem 235 km de extensão).

POSIÇÃO DA ELETROSUL: Manter a linha de transmissão ligada, uma vez que:

- a função 68 independe dos canais de TDD e a sua ausência não compromete a manutenção da linha em operação;
- a função 78, com a perda dos canais de TDD não obriga, necessariamente, ao desligamento manual da linha. A proteção permanece em serviço e, no caso de sua atuação, haverá o desligamento local dos disjuntores, cessando a oscilação pela linha em questão. Deixaria de haver a transferência de abertura para o terminal remoto. Eventuais restrições de manutenção da linha em vazio nesta situação podem se dar em vista de outros motivos como, por exemplo, a elevação da tensão terminal, eventualmente impedindo a manutenção da linha em operação. Os estudos de transitórios eletromagnéticos realizados pela ELETROSUL não mostram violações destas tensões terminais, razão por que, as linhas onde existem estas funções foram mantidas em operação.

2.4 Desligamentos por sobretensões terminais

Desligamentos por sobretensões em sistemas de potência se constituem em uma das mais difundidas aplicações de lógicas de desligamentos de linhas através de esquemas de TDD.

Diversas são as classificações das sobretensões em sistemas de potência, dentre as quais destacaríamos:

2.4.1 Quanto à origem do evento que as produziu, podendo ser classificadas em externas ou internas.

As sobretensões externas são originadas fora do sistema considerado, sendo sua principal fonte as descargas atmosféricas.

As sobretensões internas resultam de eventos dentro do sistema de potência como, por exemplo, manobras de chaveamentos ou curtos-circuitos.

2.4.2 Quanto ao grau de amortecimento e o tempo de suas durações, podendo ser classificadas em três categorias:

- Sobretensões temporárias

As sobretensões temporárias são geralmente causadas por manobras como, por exemplo, rejeições de carga, faltas como, por exemplo, curtos-circuitos monofásicos, fenômenos não-lineares como, por exemplo, ferro-ressonância e Efeito Ferranti em linhas de transmissão. São detectadas por relés de proteção e, dependendo dos seus valores, podem impor elevados riscos aos equipamentos terminais das linhas de transmissão e demais equipamentos do sistema.

Como regra geral, a ELETROSUL tem admitido, para estas sobretensões, 110 % onde há transformadores a vazio e em terminais de linhas abertos, desde que a tensão no terminal emissor não seja superior a 107 % se houver neste terminal transformador em carga (isto se reveste numa flexibilização momentânea, até a normalização da linha uma vez que, por Norma, esta tensão deveria ser limitada em 105 %).

Na fase de especificação dos equipamentos a ELETROSUL tem adotado os parâmetros de referência apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de referência para especificação de equipamentos

SISTEMA DE 230 kV	
EQUIPAMENTO	TENSÃO NOMINAL SUPORTÁVEL, 60 Hz, 1 MINUTO, A SECO E SOB CHUVA
DISJUNTORES	395 kV – 1,72 pu
CHAVES SECCIONADORAS	395 kV – 1,72 pu
TRANSFORMADORES DE CORRENTE	395 kV – 1,72 pu
TRANSFORMADORES DE POTENCIAL CAPACITIVOS	395 kV – 1,72 pu
TRANSFORMADORES DE POTENCIAL INDUTIVOS	395 kV – 1,72 pu

SISTEMA DE 525 kV	
EQUIPAMENTO	TENSÃO NOMINAL SUPORTÁVEL, 60 Hz, 1 MINUTO, A SECO E SOB CHUVA
DISJUNTORES	600 kV – 1,14 pu (Ver NOTA)
CHAVES SECCIONADORAS	600 kV – 1,14 pu
TRANSFORMADORES DE CORRENTE	655 kV – 1,25 pu
TRANSFORMADORES DE POTENCIAL CAPACITIVOS	660 kV – 1,26 pu
REATORES SHUNT	680 kV – 1,30 pu

NOTA – tensão máxima em vazio do sistema

- Sobretensões de manobra

São sobretensões cuja origem está fortemente associada à energização de linhas e equipamentos e religamento de linhas de transmissão. A exemplo das sobretensões temporárias são também detectadas por relés de proteção e, dependendo dos seus valores, podem impor elevados riscos aos equipamentos terminais das linhas de transmissão e demais equipamentos do sistema.

- Sobretensões atmosféricas

São sobretensões de curta duração e elevada amplitude originando-se em decorrência de descargas atmosféricas ou outra causa natural. Não são, usualmente, detetadas por relés de sobretensão. Os pára-raios se constituem nas principais formas de proteção dos equipamentos associados.

A Figura 4 apresenta as características básicas dos três tipos de sobretensão conceituados com respeito à amplitude e ao tempo total de duração¹.

A abertura dos disjuntores locais não necessariamente elimina a exposição dos equipamentos terminais e remotos às sobretensões. Em algumas situações, a abertura voluntária de um terminal de linha que perdeu os canais de TDD, acabaria por gerar o problema de sobretensões.

¹ RAGALLER, Klaus. *Surges in high voltage networks*. Plenum Publishing Co, 1980.

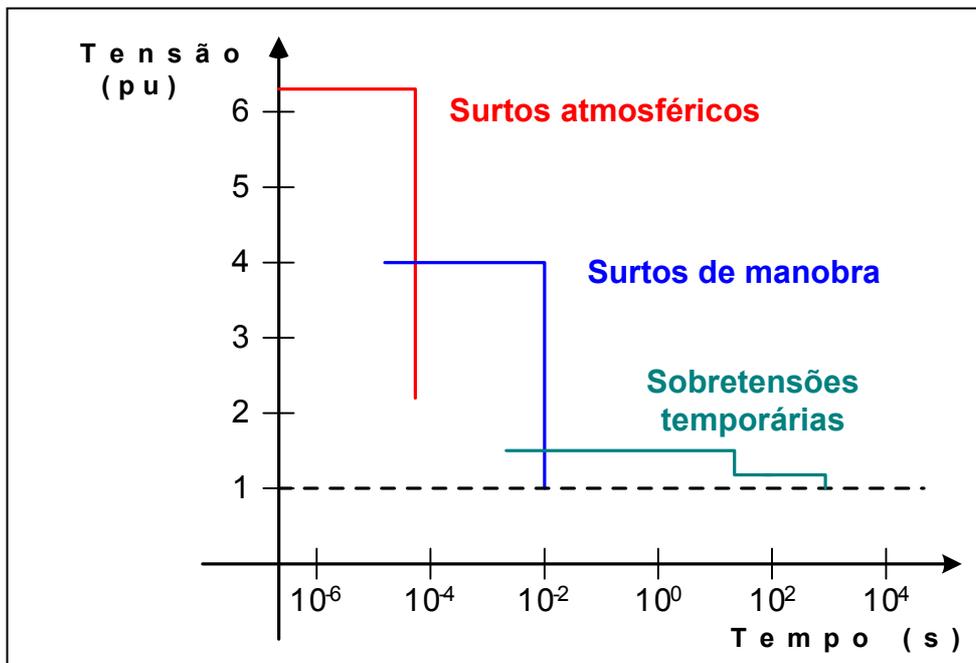


Figura 4 – Características das sobretensões

A necessidade de se abrir o terminal remoto das linhas de transmissão por TDD fica condicionada à suportabilidade dos equipamentos terminais da linha e da subestação remota às sobretensões.

Em nenhuma linha de transmissão da ELETROSUL, com a configuração atual do seu sistema, os estudos de transitórios eletromagnéticos apontaram a superação de pára-raios terminais por questões de energia, corrente drenada ou disparos sucessivos quando de rejeições de carga e energizações de linhas (mesmo que sob falta), ou seja, não houve necessidade de aplicação de TDD por questões de sobretensões transitórias. A aplicação é mais voltada para o controle de sobretensões temporárias.

Como critério geral, a ELETROSUL emprega pára-raios de ZnO em seu sistema de 525 e 230 kV. Pára-raios de gap ativo ainda são aplicados, notadamente na rede de 230 kV, menos suscetível ao problema de sobretensões temporárias e de manobra.

A Tabela 2 apresenta uma síntese dos valores do Efeito Ferranti em algumas linhas da ELETROSUL (listados somente para as linhas que possuem valores superiores a 4 %).

Tabela 2 – Efeito Ferranti em linhas da ELETROSUL (%)

EFEITO FERRANTI – %	
LINHA DE TRANSMISSÃO	EFEITO FERRANTI – %
BLUMENAU – CAMPOS NOVOS 2 525 kV	11,73
ITÁ – NOVA SANTA RITA 525 kV	8,84
ITÁ – CAXIAS 525 kV	5,69
BLUMENAU – CAMPOS NOVOS 1 525 kV	5,56
AREIA CURITIBA 525 kV	4,74
AREIA – BATEIAS 525 kV	4,16
ITÁ – SANTO ÂNGELO	4,15
DOURADOS – GUAÍRA 230 kV	4,42

POSIÇÃO DA ELETROSUL: Manter suas linhas de transmissão ligadas. Solicitar ao ONS providências para conectar reatores shunt no sistema para fazer frente à eventual abertura da linha em um terminal.

2.5 Desligamentos manuais voluntários de linhas de transmissão/equipamentos

Trata-se de procedimentos operativos rotineiros no SIN. Face à configurações frágeis de alguns pontos do sistema da ELETROSUL, notadamente nos seus estágios iniciais de operação – década de 80, com meios de controle de tensão menos robustos (ou seja, mais afastados das usinas hidroelétricas de porte), tornava-se necessário a TDD para o terminal remoto quando da abertura de um terminal. Emprega os mesmos canais de TDD utilizados nas funções anteriormente descritas.

POSIÇÃO DA ELETROSUL: Manter as linhas de transmissão ligadas estabelecendo rigidamente nos seus procedimentos normatizados que, na necessidade de se desligar manualmente uma linha de transmissão, se dê prioridade à abertura inicial do terminal mais “fraco” da linha de transmissão. Precede-se a esta manobra um ajuste das tensões pré-chaveamento a valores que imponham menores elevações da tensão terminal da linha, pós-chaveamento.

2.6 Desligamentos através dos Esquemas de Controle de Emergência – ECE

Há diversas aplicações de ECE's no sistema de transmissão da ELETROSUL, a grande maioria direcionada para problemas localizados (sobrecarga ou perda de transformadores e linhas de transmissão, desligamento e inserção de reatores shunt, desligamento de disjuntores de transformadores (evitar a re-energização dos mesmos durante a remoção de faltas), ilhamento de usinas térmicas, bloqueio de conversora de frequência, corte de geração, etc.).

A grande maioria destes ECE's atua diretamente nos disjuntores locais ou em circuitos de controle específicos, sem a necessidade de esquemas de transferência de disparo. Alguns poucos casos, entretanto, necessitam destes esquemas de transferência de disparo. Para estes casos, **não são empregados** os mesmos canais de TDD utilizados nas situações descritas nos itens anteriores deste trabalho, sendo empregados, se necessário, canais específicos para os ECE's.

POSIÇÃO DA ELETROSUL: Uma vez que os canais de transferência de disparo associados aos ECE's são específicos para esta função, desassociados dos canais de TDD aplicados juntamente com as funções de proteção das linhas de transmissão, a ELETROSUL adota, por critério, analisar cada caso isoladamente. De um modo geral, não há necessidade de desligamento voluntário de suas linhas de transmissão ou equipamentos.

3.0 - CONCLUSÕES

As equipes de operação do sistema em tempo real tomam suas decisões em função do suporte e orientações explícitas que recebem de outras áreas da empresa. Este suporte deve ser o mais objetivo possível, sem que haja margem a dúvidas, haja vista a urgência com que certas decisões têm que ser tomadas. Somente em raras situações tomam decisões por si próprias, sem o devido respaldo técnico/institucional necessário.

No caso de perda dos canais de TDD em linhas que necessitam deste recurso, a decisão de desligar ou não uma linha de AT ou EAT poderia recair sobre: abrimos a linha de transmissão com suas eventuais conseqüências para a Empresa e para determinadas regiões do SIN, ou mantemos a linha ligada com eventuais riscos aos equipamentos? Embora não muito freqüentes tais situações, até recentemente a orientação geral na ELETROSUL era no sentido de: desligue-se a linha de transmissão.

As restrições operacionais que advinham desta medida, dependendo da região, do período da carga e da época do ano, poderiam ser extremamente severas. Com o porte atual do sistema da região sul, com o maior malhamento de sua rede de transmissão, com a entrada em operação de diversas usinas em pontos até então considerados weak-infeeds, o cenário sofreu uma forte transformação.

Algumas medidas adicionais prévias são tomadas, dentre as quais destacamos:

- Sob o ponto de vista operacional e de manutenção

É solicitada a paralisação de todo e qualquer serviço (se eventualmente em curso) nas subestações terminais associadas à linha cujo canal de TDD foi perdido. São acionadas as equipes de manutenção em telecomunicações da ELETROSUL cujo tempo médio de início de atendimento às emergências varia na faixa de 1 a 12 horas, dependendo da distância física entre a subestação e a base dessas equipes.

Em caso de necessidade de chaveamento de alguma linha de transmissão se inicia o processo pela abertura do terminal mais fraco, minimizando os efeitos das sobretensões terminais. Previamente, se solicita à operação o ajuste do sistema procurando minimizar os efeitos da manobra.

- Sob o ponto de vista de proteção de sistemas e equipamentos

A abertura voluntária dos disjuntores centrais em arranjos do tipo disjuntor-e-meio e o desligamento dos reatores shunt manobráveis de linhas de transmissão minimiza o risco para os equipamentos, em caso de falha de disjuntor central ou do disjuntor do reator.

Sob o ponto de vista de desligamentos em oscilações de potência, defeitos em blind spot de subestações com arranjo disjuntor-e-meio e sobretensões, seria aceitável a atuação da proteção remota em 2ª zona ou a permanência das linhas com a função 78 em operação por um terminal. No caso de sobretensões terminais, uma linha de transmissão se mostrou mais crítica (foi, no entanto, mantida em operação pelo acessante, considerando a baixa probabilidade de ocorrências simultâneas na linha).

Os equipamentos terminais aplicados pela ELETROSUL, na grande maioria dos casos, têm suportabilidade elevada para as sobretensões temporárias esperadas.

- Sob o ponto de vista de histórico estatístico

No que concerne a reatores shunt no sistema de 230 kV, não foram registrados nenhum defeito nos mesmos.

No sistema de 525 kV foram registrados 7 desligamentos por falhas internas, 6 deles em reatores de um único fabricante, possivelmente decorrentes de manobras indevidas. À época, os mesmos eram protegidos por pára-raios de gap ativo, inadequados para proteções contra surtos de manobra. Após a troca para pára-raios de Z_nO e aplicação de sincronizadores (prática atual), não mais se registraram anormalidades.

Quanto aos esquemas de falha de disjuntor, no horizonte de 1980 a 2004 houve 14 atuações dos esquemas de falha de disjuntor de 230 kV e 6 atuações de disjuntores de 525 kV, por falha nos mesmos, propriamente dita.

- Sob o ponto de vista econômico/financeiro

Desde que não haja risco para os equipamentos, as linhas são mantidas em operação mantendo a disponibilidade para o sistema e minimizando os reflexos sobre a parcela variável da receita do componente.

De todo o acima exposto poder-se-ia sintetizar as medidas adotadas na ELETROSUL, todas analisadas sob o ponto de vista de transitórios eletromagnéticos, proteção de sistemas e suportabilidade de equipamentos, ou seja, avaliando-se o risco de cada orientação fornecida e normatizada.

Em linhas gerais, as orientações são no sentido de se manterem todas as linhas de transmissão ligadas na eventualidade de perda dos canais de TDD, uma vez que o histórico da empresa e os estudos de apoio realizados, assim o permitem.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) ATPdraw – Alternative Electromagnetic Transients Program – Version 4.0p1 – User's Manual

(2) ELETROSUL – Estudos de energização de linhas e rejeições de carga – Relatório DPES/SEACS – Diversos relatórios

(3) ELETROSUL – Análise estatística da atuação das proteções de linhas, geradores, transformadores de potência, barramentos e equipamentos de compensação reativa do Sistema – Relatório DPES/SEPRO – Diversos anos