



**GRUPO X**

**SOBRETENSÕES, COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO E INTERFERÊNCIAS (GSI)**

**MODELO PARA SIMULAÇÃO MONOFÁSICA DO ACOPLAMENTO ENTRE CIRCUITOS  
PARALELOS E DA SUA INFLUÊNCIA NA SOBRETENSÃO DE TERMINAL ABERTO.**

Oswaldo Régis Júnior \*  
CHESF

Antônio Roseval F.Freire  
CHESF

João Varela Eduardo  
CHESF

**RESUMO**

Linhas de Transmissão utilizando a técnica de feixe expandido operam comercialmente na CHESF desde agosto/1996. Alguns meses após sua energização foram observadas divergências entre as grandezas (reativo e tensão de terminal aberto) obtidas nos estudos e as encontrados na operação em tempo real.

Este Informe Técnico (IT) mostra a análise teórica, as simulações e os ensaios, onde diagnosticou-se que as divergências deviam-se a não consideração, nos estudos de fluxo de carga, dos parâmetros mútuos de seqüência positiva entre circuitos paralelos acoplados.

Foi desenvolvido um modelo que permite representar os efeitos do acoplamento nos programas existentes, e assim, poder subsidiar os estudos e operação das instalações em questão.

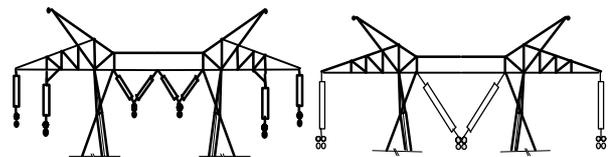
O IT ressalta que estes efeitos existem em todas as LTs de circuito duplo, e a decisão por representá-los, depende da repercussão no sistema. A magnitude desses efeitos depende de características da própria LT, da topologia da rede e da carga nas linhas.

**PALAVRAS – CHAVE:** Linha de Transmissão, Feixe Expandido, Sobretensão de Regime, Efeito Ferranti

**1.0-INTRODUÇÃO**

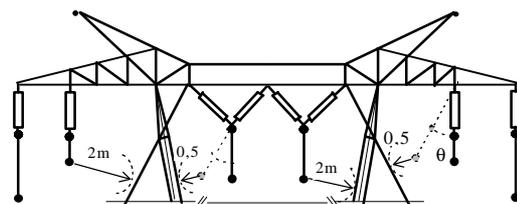
O sub-sistema Norte da Chesf, polarizado pela região metropolitana de Fortaleza, hoje é atendido por cinco circuitos 230kV, a partir da hidrelétrica de Paulo Afonso, distante 660km. Está em construção a LT 500kV Pres. Dutra – Fortaleza, que será o 2º circuito da interligação Norte-Nordeste. Os dois últimos circuitos do corredor 230kV foram concebidos para operar em circuito duplo horizontal 2x636MCM / por

fase, e posteriormente ser convertido em uma LT 500kV, chamada de LT Transformável (Figura 1). Sucessivos adiamentos do 2º circuito N-NE e o crescimento mais acentuado da carga tornaram o atendimento a Fortaleza muito crítico.



**FIGURA 1-LT 2x230kV Transformável em 500 kV**

Este cenário incentivou a aplicação da técnica Feixe Expandido-FEX na LT Transformável (ver Figura 2), quando operando em 230kV, propiciando redução na reatância série e aumento no SIL de 25%[1].



**FIGURA 2-LT Transformável com o FEX em 230kV**

Instalado o FEX, os ganhos foram comprovados, com alívio dos compensadores estáticos (CE) que estavam no limite capacitivo, e melhor distribuição de corrente no corredor, permitindo atender as cargas de Fortaleza em 1997. Em 1998, mais uma vez adiado o 2º circuito N-NE, foi possível atender uma demanda de quase 1400MW, mediante a adição de 150MVar em bancos de capacitores. Ressalta-se também a importância da redução da reatância série da LT por dar uma melhor contribuição para a recuperação de afundamentos de tensão, em relação aos capacitores em derivação[2].

Entretanto, nos primeiros meses após a energização dos FEX, foram observadas divergências significativas entre os valores previstos em estudos da operação e valores encontrados na operação em tempo real.

## 2.0-HISTÓRICO DA INSTALAÇÃO DO FEX.

Em 1995 já estavam construídas as LT PAF/MLG F4/F5 e MLG/BNB M4/M5 no padrão Transformável. O cenário daquele ano [1] levou a decisão de que o último trecho, a linha Banabuiu-Fortaleza F4/F6, já fosse construída com o Feixe Expandido, a qual entrou em operação em julho/1996.

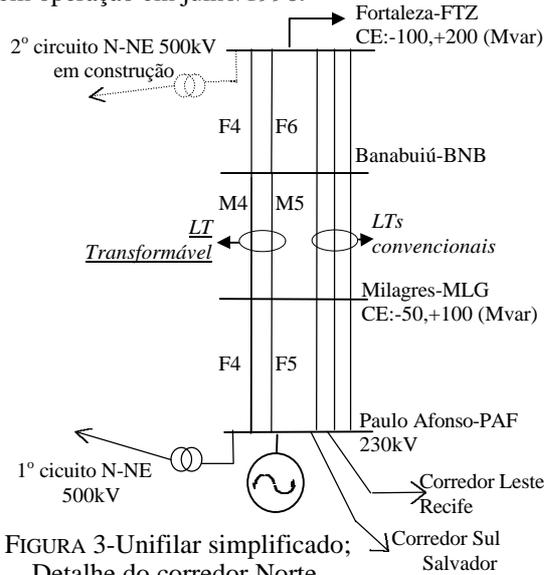


FIGURA 3-Unifilar simplificado; Detalhe do corredor Norte.

Em final de 1996, postergada a entrada em operação do 2º circuito N-NE para Dez/1998, e o primeiro trecho de FEX (LT BNB/FTZ F4/F6) operando a 6 meses sem a engenharia ter relato de problemas, decidiu-se recapacitar os outros trechos da linha com a expansão de seus feixes. A expansão foi realizada entre fevereiro e outubro de 1997, com desligamentos diários, acomodando-se também ao cronograma de troca de um dos cabos pára-raios pelo cabo OPGW.

## 3.0-HISTÓRICO DAS DIVERGÊNCIAS

Em abril/97, ainda durante o processo de expansão dos feixes, foram relatadas divergências significativas entre os valores previstos em estudos de sistemas e os encontrados na operação em tempo real, causando falta de confiança nas simulações e diversos transtornos a operação, conforme se segue.

### 3.1-Tensão sustentada no terminal aberto da LT “as vezes” maior que previsto

Para uma tensão pré-manobra definida pelos estudos elétricos, e após amortecido o transitório da energização, a linha apresentava tensões de regime com valor variável no terminal aberto, às vezes, bem acima do previsto em estudos.

Nas energizações de PAF/MLG foram registrados valores diferentes de tensão no terminal aberto, mesmo com topologias de rede iguais e mesma tensão pré-manobra na barra de geração. A medida preventiva de baixar a tensão de partida em PAF, não podia ser adotada pois a tensão desta barra é controlada de forma a atender as necessidades também dos outros corredores, que cobrem seis estados (da BA ao RN).

Neste contexto ocorria inesperada e aleatória atuação da proteção de sobretensão temporizada, quando da energização de trechos das linhas FEX, dando um caráter de imprevisibilidade ao fenômeno.

### 3.2-Inesperada “sobra” de reativo capacitivo

Verificou-se carregamentos na faixa capacitiva dos compensadores estáticos menores em até 50 MVAR que os valores previstos nas simulações de fluxo de carga máxima. Isto sugeria que a linha estava gerando mais reativo capacitivo que o previsto.

Embora pudesse parecer bom, em função da situação crítica do sistema, o fato causava falta de confiança nas simulações do load-flow, inclusive quanto à avaliação do limite de transmissão do corredor. Isto colocava em cheque também a validade do processo de cálculo de parâmetros elétricos para esta LT com Feixe Expandido.

### 3.3-Expectativa inicial

Naturalmente, no primeiro momento, mesmo sem diagnosticar a causa dos problemas, tentou-se atribuir a culpa destes efeitos ao FEX, posto que era a única novidade aparente no sistema.

Especulou-se sobre as mais diversas possibilidades (até esotéricas) tais como: Não linearidade dos parâmetros elétricos no FEX ; variação destes parâmetros com as condições ambientais ; capacitância parasita devido às dimensões do FEX e existência de carga residual, devida a tensão do transitório de energização, nesta capacitância ; e várias outras...

Pensou-se em paralisar a expansão do feixe nos trechos em andamento, porém como seria possível atender a demanda prevista para o fim do ano ?. Passado o transitório emocional, foi consenso que era necessário identificar as reais causas das ocorrências.

## 4.0-ABORDAGEM DO PROBLEMA (1ª Fase)

Diversas áreas da empresa foram acionadas na busca das causas. Através de testes e aferições foram afastadas falhas de atuação da proteção ou leitura errada dos dados de operação em tempo real.

A concepção do FEX durante o projeto executivo, buscando o maior ganho possível na Potência Natural (SIL), tinha a dimensão variável, torre a torre, em função do relevo e das folgas de plotação. Foi então levantado junto a área de Projeto as dimensões médias

do feixe por tramo, conforme construído.

O cálculo dos parâmetros para o feixe médio, ou a média dos parâmetros para cada feixe, não mostrou variação que justificasse as divergências encontradas.

Medições de campo, em manobras monitoradas com equipamentos de laboratório, mostraram sobretensões transitórias dentro de valores esperados em simulação, e com amortecimento em um ciclo de 60Hz.

Entretanto registrou-se em PAF/MLG sobretensão de regime de 1,17pu quando se esperava 1,1pu pelos cálculos do load-flow, o que justificava a atuação da proteção temporizada. Além disso, as leituras operacionais mostravam tensões de regime com forte desequilíbrio. No trecho MLG/BNB não havia desequilíbrio mas as tensões também estavam acima do previsto.

### 5.0-INVESTIGAÇÕES ADICIONAIS

Foi formado um grupo de trabalho que partiu para investigação em várias frentes, na busca de fatos e dados que pudessem ser relacionados ao assunto.

#### 5.1-Avaliação de desequilíbrios

A transposição da LT Transformável foi projetada para a futura operação em 500kV. Quando em 230kV, duas SE tinham uma localização diferente, o que mudava o comprimento das LT, gerando desequilíbrios em PAF/MLG e BNB/FTZ, aceitáveis segundo estudos com premissas anteriores. Novas simulações com a carga atual, mais elevada, sugeriram ajustes no esquema de transposição. A área de projeto concebeu e implantou uma solução inédita e de baixo custo, em um tempo recorde.

#### 5.2-Busca de registros e ocorrências anteriores

Foi feito um trabalho de busca de registros e ocorrências anteriores, procurando-se investigar algumas correlações entre os fatos ou algum comportamento sistemático. Um fato relevante é que conseguiu-se levantar 2 registros de ocorrência deste tipo de sobretensão, em 1996, antes da instalação do FEX em qualquer trecho (!!) aos quais não foi dado atenção na época.

Tratando-se os registros operacionais identificou-se que na condição de carga mínima, a divergência entre os valores de reativo simulados e constatados do CE, era bem menor que a divergência encontrada na condição de carga máxima.

Também correlacionou-se que os desligamentos programados para o OPGW ocorriam pela manhã, com carga leve, e as tensões no terminal aberto eram mais próximas do simulado. Ao se devolver a linha, já na carga média, passado o transitório e com a mesma topologia da rede, a tensão assumia um valor mais alto e com maior divergência em relação ao simulado.

## 6.0-ABORDAGEM DO PROBLEMA (2ª Fase)

Foram afastadas algumas causas pensadas no início. Os novos indícios apontavam para uma correlação das divergências com a variação da carga no corredor. Isto poderia também ser associado ao acoplamento entre circuitos da LT transformável, que tinha sido apontado no começo como uma possível causa. Iniciou-se a etapa de análise teórica, simulações e ensaios.

### 6.1-Tratamento analítico das matrizes de parâmetros

Foi realizado todo um tratamento nas matrizes completas dos parâmetros elétricos da LT em questão, considerando os acoplamentos mútuos entre circuitos.

No domínio das componentes de fase não se chegou a nenhuma relação conclusiva. O tratamento em componentes de seqüência, aplicada a valores numéricos da LT, foram coerentes com a modelagem teórica de um circuito duplo com transposição 3x3 (1/3, 1/3, 1/3). Na figura 4 os índices 0, 1 e 2 representam as seqüências zero, positiva(+) e negativa(-). As indicações com um ou dois apóstrofes representam dados de cada um dos circuitos.

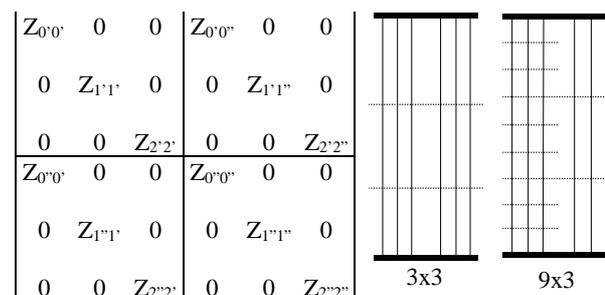


FIGURA 4- Matriz de seqüência de LT em circuito duplo com transposição 3 x 3 ; esquema de transposição 3x3 e 9x3.

No caso de LT não transposta todos os elementos seriam diferentes de zero, existindo reatâncias mútuas até inter-sequenciais entre circuitos. Na transposição 3x3 são zerados os elementos fora da diagonal de cada sub-matriz, e além das próprias de cada circuito (seq. 0, +, -) restam as mútuas de seqüência entre circuitos. Com a transposição 9x3 restariam apenas as mútuas de seqüência zero (Z<sub>0'0'</sub> e Z<sub>0'0''</sub>).

Os programas de curto-circuito consideram as mútuas de seqüência zero. O importante é ressaltar que os programas de load-flow desprezam todas estas mútuas de seqüência entre circuitos, independente dos seus valores em relação às impedâncias próprias. Nas LT muito acopladas esta diferença pode ser significativa.

### 6.2-Simulação trifásica no ATP

Para considerar estes parâmetros foram realizadas várias simulações adotando o modelo Modal do ATP. Simulou-se inclusive os trechos que ainda não tinham a transposição ajustada. A análise de regime mostrou coerência de valores de reativo e da sobretensão em relação aos valores anteriormente coletados no campo, mesmo nos trechos com desequilíbrio.

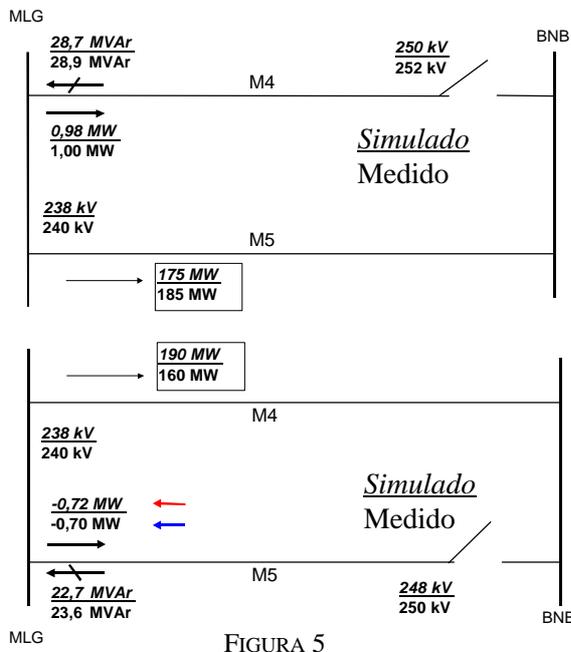
### 6.3 Ensaio no sistema / Calibração do ATP

O passo seguinte foi realizar ensaios e medições em MLG/BNB que tinha uma transposição equilibrada, e naquela ocasião o circuito M4 já tinha o Feixe Expandido e o M5 ainda estava com o Feixe normal. Isto se mostrou ideal para testar eventuais divergências de comportamento das linhas com os dois tipos de feixes.

Foram realizadas manobras com 17 configurações diferentes, visando obter medições em todas topologias possíveis. Foram combinadas: as duas LT em carga; uma em carga e a outra energizada com um terminal aberto; uma em carga e a outra aberta dos dois lados, com e sem aterramento; uma só com tensão e a outra aberta com e sem aterramento.

Todas estas configurações foram simuladas antes dos ensaios e o objetivo era também validar e calibrar a modelagem feita no ATP. Foram usados equipamentos de alta precisão para medições nas barras e nos terminais das LT, de todas as grandezas elétricas representadas no ATP: potência ativa e reativa; tensão de barra e da linha aberta, em um ou ambos terminais; e todas as correntes inclusive no aterramento. Com isto conseguiu-se capturar todos os efeitos próprios e mútuos inclusive acoplamento indutivo e capacitivo.

Segue-se a Figura 5 com resultados, de simulação previa e medidos no campo, de apenas duas das manobras. Observe-se a diferença de 2kV na tensão da barra de saída (simulado x medido) que se mantém no terminal aberto. Isto ocorreu porque era difícil acertar o ponto de operação com antecedência. Simulações a posteriori, mostraram total aderência dos resultados.



Para o grupo de trabalho o ponto alto foi quando se mediu potência ativa negativa no terminal do M5 em MLG, com o terminal aberto em BNB, e o M4 em

carga. Isto significava que a linha aberta estava injetando MW na barra. Embora essa situação já tivesse sido encontrada na simulação, havia descrença que tal fato pudesse ser medido. Algumas pessoas atribuíam o resultado simulado a erros numéricos da modelagem do ATP, mas a medição mostrou que não.

Os resultados dos ensaios estavam de acordo com os previstos nas simulações com o ATP, indicando que a LT FEX com transposição simétrica estava sob controle, ou seja, tinha um comportamento previsível por simulação, assim como uma LT convencional.

Outra importante constatação através das simulações e dos ensaios realizados foi o efeito do acoplamento entre circuitos e a importância da sua representação nos estudos envolvendo linhas de circuito duplo.

### 7.0-MODELAGEM MONOFÁSICA (seqüência +)

O ATP não é uma ferramenta adequada para o estudo de load-flow, e nos programas para este fim, não são representadas as mútuas. Por outro lado, dependendo da geometria da torre e distância entre os circuitos, e do faseamento e transposição das LT, poderá existir um acoplamento de seqüência positiva significativo entre circuitos paralelos, que se não for considerado, pela limitação dos programas, causará divergência nos resultados. Decidiu-se desenvolver um modelo para que se pudesse continuar usando os programas tradicionais.

#### 7.1-Correção dos parâmetros das LT com acoplamento

Através de tratamento analítico do equivalente  $\pi$ , das matrizes  $[Z]$  e  $[Y]$ , e apoiado pelas simulações com o ATP e resultados dos ensaios em campo, foi definido um modelo para correção dos parâmetros.

Para uso em load-flow cada parâmetro elétrico de seqüência positiva deve ser corrigido, de acordo com a Tabela 1, e conforme a topologia da rede considerada, que podem ser: 2 circuitos em carga; 1 em carga com outro energizado e em vazio (sem carga); 1 em carga e o outro fora de operação (aberto e aterrado).

Tabela 1-Correção dos parâmetros

Topolog.	Circuito 1			Circuito 2		
Dois circuitos em carga	R11 -/+ R12	X11 -/+ X12	B11 +/- B12	R22 -/+ R21	X22 -/+ X21	B22 +/- B21
Circ. 1 em carga, e o 2 em vazio	R11	X11	B11 +/- B12	R22	X22	B22 +/- B21
Circ.1 em carga, e o 2 fora de op.	R11	X11	B11	-	-	-

Os elementos do tipo K11 e K22 são parâmetros próprios de seq. positiva, dos circuitos 1 e 2, sem o

acoplamento. Os elementos K12 e K21 são parâmetros mútuos de seq. positiva entre os circuitos 1 e 2, e vice-versa, que corrigirão os parâmetros próprios.

O sinal (+/-) dos elementos mútuos depende do faseamento (ABC-ABC ou ABC-CBA). Na maioria dos casos analisados a reatância mútua, X12 ou X21, foi negativa. Além disso, para torres típicas da Chesf e faseamentos analisados, o sinal das mútuas de X e B foram sempre invertidos (um em relação ao outro).

### 7.2-Relevância das mútuas em relação as próprias

A partir deste ponto os parâmetros mútuos serão indicados como Xm e Bm e os próprios como X e B.

Com o objetivo de avaliar a importância dos parâmetros mútuos em relação aos próprios de linhas acopladas, foram feitos cálculos destes parâmetros para linhas de 230 kV dos tipos : 2 circuitos simples (CS) vizinhos; circuito duplo (CD) vertical com 2 tipos de faseamento; LT transformável com o FEX (CD horizontal); e CD vertical com 2 cabos por fase com o feixe normal, e com o FEX.

Os valores são mostrados na Tabela 2, como uma porcentagem da mútua em relação a própria. A linha CD vertical ABC-ABC foi a única que apresentou  $X_m > 0$  e  $B_m < 0$ , o que causa aumento da reatância série, e queda na capacitância da linha e na Potência Natural (SIL).

Tabela 2 - Relação entre os parâmetros mútuos e próprios de seq. positiva.

CONFIGURAÇÃO	Xm/X (%)	Bm/B (%)
2 x CS Horizontal	-1,0	+0,8
CD Vertical - ABC-ABC	+3,2	-2,6
CD Vertical - ABC-CBA	-3,3	+2,2
Transformável FEX (2 cabos /fase)	-3,5	+3,3
CD Vertical-ABC-CBA (2 cabos /fase)	-4,7	+2,8
CD Vertical-ABC-CBA (2 cabos /fase-FEX)	-5,0	+2,9
500kV Convencional	-1,2	+1,1

Da tabela 2 conclui-se que: as linhas CS vizinhas tem o mais baixo acoplamento; a LT transformável com o FEX tem o valor percentual da mútua menor que a torre CD vertical com 2 cabos por fase.

A importância do efeito do acoplamento e dos parâmetros mútuos sobre o sistema de transmissão é função da magnitude de  $X_m/X$  e, como será mostrado, do carregamento elétrico dos circuitos.

### 7.3-Efeito do acoplamento no reativo do sistema

A oferta de reativo da LT, ou seja, o reativo gerado menos o reativo consumido, sofre influência do acoplamento (correção de X e B), e as equações abaixo mostram também a influência da carga dos circuitos.

Tomando-se Q como o reativo líquido da LT ( reativo gerado menos consumido) temos :

$$Q_{sem} = B.V^2 - X.(S/V)^2, \text{ sem acoplamento.}$$

$$Q_{com} = (B+B_m).V^2 - (X+X_m).(S/V)^2, \text{ com acop.}$$

A diferença entre os valores de reativo líquido da LT com e sem acoplamento, é dada por :

$$\Delta Q = Q_{com} - Q_{sem}, \text{ ou}$$

$$\Delta Q = B_m.V^2 - X_m.(S/V)^2,$$

onde S = carga (MVA) da LT. Quando  $B_m > 0$  e  $X_m < 0$  (caso mais comum), o efeito é a “sobra” de reativo na LT, que aumenta com o carregamento (Figura 6).

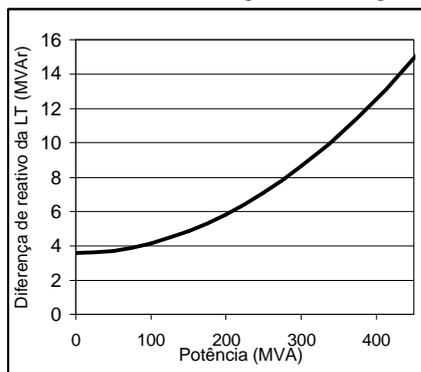


FIGURA 6-Diferença de reativo p/circuito(1 trecho)

Considerando o efeito do acoplamento nos circuitos FEX da área Norte e seus carregamentos, estimou-se uma sobra maior que 50 MVAR na carga máxima.

### 7.4-Efeito do acoplamento na tensão da LT em vazio.

Com os parâmetros corrigidos para as LT, representa-se o efeito do acoplamento entre circuitos do ponto de vista do sistema. Ou seja, fluxos de ativo e reativo em qualquer topologia, e todas as outras grandezas quando os dois circuitos estão em carga.

Uma parcela da elevação de tensão no terminal aberto já está representada também pela correção da susceptância (B), conforme a topologia de um circuito em carga e o outro em vazio. Sabemos que a tensão sem considerar o acoplamento mútuo é dada por :

$$V_o = 2V_s / (2 - XB)$$

Enquanto que a tensão com o modelo proposto é:

$$V_o = 2V_s / \{2 - X(B+B_m)\}$$

Quando o valor de  $B_m$  é maior que zero (caso mais geral) o denominador diminui e a tensão  $V_o$  aumenta.

### 7.4.1 Fator de acoplamento

Em dois circuitos acoplados, a tensão no terminal aberto da LT em vazio tem uma variação adicional em função dos fluxos no outro circuito em carga. A tensão obtida nos nossos estudos de fluxo de carga, já com os parâmetros corrigidos, foi diferente do valor do ATP (e de campo) em até 4 kV. O sinal desta diferença depende do sentido dos fluxos de ativo e reativo. A Figura 7 mostra este efeito, com tensão em PAF de 230kV, só possível na carga mínima. Na carga média a tensão de partida mínima possível é de 240kV.

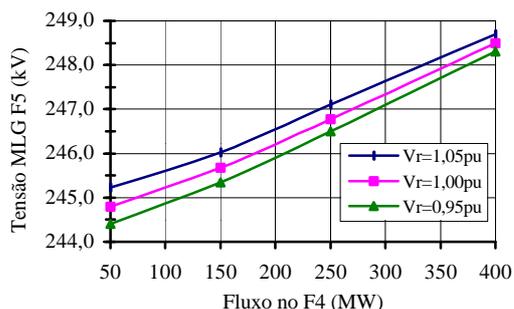


FIGURA 7 - LT F5 : Tensão no terminal aberto em MLG, em função da carga no F4.

Para obter o valor real da tensão, deve-se multiplicar a tensão do fluxo de carga, com os parâmetros já corrigidos, pelo fator de acoplamento (fa). Este fator é função dos fluxos (Pr, Qr) no circuito vizinho (ver Figura 8), e da reatância Xm e resistência Rm mútuas de seqüência positiva entre circuitos, sendo dado por:

$$fa = 1 + (Ir / Vs) \cdot [Xm \cdot \text{sen} \alpha - Rm \cdot \text{cos} \alpha]$$

O fator de acoplamento pode ser maior ou menor que 1 dependendo da magnitude e do sentido do fluxo de MW/MVAr no circuito em carga, afetando a tensão no terminal aberto da LT em vazio. Esta constatação explica o fato de que para uma mesma tensão de partida em alguns casos atuava a proteção de sobretensão e em outros não.

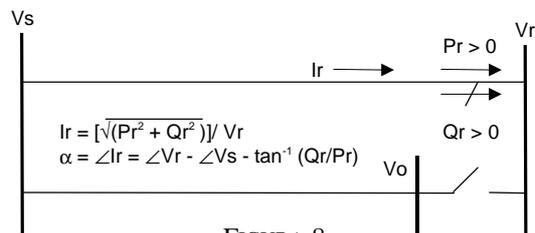


FIGURA 8

O conhecimento deste efeito permitiu criar esquemas especiais de manobra. Como exemplo, o estudo com o F5 em carga, e a energização do F4 no sentido inverso (fechado em MLG) mostrou tensão no terminal aberto em PAF mais baixa, uma vez que neste sentido, o fator fa é menor que 1. Este esquema de energização passou a vigorar desde então.

## 8.0-CONCLUSÃO

Os parâmetros mútuos de seqüência positiva entre LTs acopladas pode ter efeitos significativos e devem ser considerados nos estudos elétricos, principalmente para a definição da estratégia de controle de tensão, limites de transmissão e condições para a realização de manobras nestes circuitos.

Entretanto os programas de load-flow não representam as mútuas de seqüência, causando divergências entre estudos e operação em tempo real, de grandezas tais como o fluxo de reativo e tensão no terminal aberto de uma LT em vazio.

A magnitude dos efeitos depende de características da LT (geometria, faseamento, extensão), e o mais surpreendente, da topologia da rede e do carregamento das linhas.

Estes efeitos se tornaram evidentes na LT transformável com FEX, causando transtornos a operação, por se tratar de um corredor longo e com fluxos elevados. Ressalta-se que estes efeitos existem em todas as LTs acopladas e de circuito duplo, e a necessidade de sua representação depende da repercussão no sistema. No caso da Chesf, o modelo aqui proposto já está sendo aplicado em outras linhas longas de circuito duplo.

O conhecimento deste efeito pode trazer benefícios, e no nosso sistema adotou-se faseamentos que aumentam a oferta de reativo e o SIL. O efeito da carga na linha paralela, sobre o valor da tensão no terminal aberto e definição da tensão pré-manobra, pode influenciar de forma benéfica na escolha do terminal preferencial para iniciar a manobra da linha.

O modelo proposto para avaliar o regime de LTs acopladas consta de uma correção prévia dos parâmetros de seqüência positiva para o load-flow, e a adoção de um fator de acoplamento para correção adicional da tensão no terminal aberto. De forma a simplificar os estudos e tendo em vista os benefícios que podem advir do conhecimento do acoplamento de seqüência positiva, sugere-se o desenvolvimento de programas para cálculo de fluxo de carga que permitam representar este acoplamento.

## 9.0-BIBLIOGRAFIA

- [1] Recapacitação de Circuitos 230 kV com o Conceito de Feixe Expandido. Oswaldo Régis Jr, S. J. Gusmão Cavalcanti, Marcelo J. A. Maia, José Felipe A. G. Wavrik, Georgij Viktorovich Podporokin - XIII SNPTEE, GLT, Camboriú, 1995.
- [2] Definição de limites de transmissão considerando restrições de estabilidade de tensão, proteções e qualidade de energia. Antonio Roseval Freire, Sandra M. Pontes. XV SNPTEE, GAT, Foz do Iguaçu, 1999.