

ANÁLISE DO REGIME ESTÁTICO EM CONDIÇÃO NORMAL

4.1 INTRODUÇÃO

A análise em regime estático ou permanente de um sistema é certamente um dos mais tradicionais e importantes estudos freqüentemente realizados em sistemas de potência. Condições de operação do sistema são determinadas através desta análise que comporta problemas para os quais inúmeras formulações são propostas por pesquisadores, acadêmicos e profissionais de diversas empresas, universidades e centros de pesquisa [17], onde se busca obter condições reais de operação para diversos horizontes de tempo.

O objetivo principal desta análise é verificar o atendimento às cargas sob condições de tensão, geração e carregamento dos componentes do sistema, dentro de limites operacionais. Dessa forma, estes estudos são realizados principalmente pelas áreas de operação em tempo real, de planejamento da operação e da expansão, de forma a analisar as diferentes condições de um sistema de potência influenciado por condições operativas ou entrada de obras. A ferramenta típica para realizar estes estudos é o programa de fluxo de potência. Dependendo do tipo de aplicação, os modelos de fluxo de potência podem ter diferentes graus de detalhes na representação do sistema, quais sejam: fluxo de potência linearizado (fluxo CC) ou fluxo de potência CA.

Os estudos de fluxo de potência em regime permanente visam fornecer elementos para uma análise do desempenho elétrico do sistema quanto aos fluxos de potência ativa e reativa nos ramos da rede, contingências (tais como, perdas de elementos da transmissão) e condições para regulação de tensão. Assim, busca-se definir pontos de operação onde o perfil de tensões do sistema e os níveis de carregamentos em linhas e transformadores não sejam violados, levando em consideração margens de segurança que permitam suportar eventuais distúrbios.

No caso do sistema elétrico brasileiro, em que a fonte de geração é predominantemente de origem hidráulica, deve-se levar em consideração as variações hidrológicas de cada região, se necessário ajustando o despacho de geração entre elas.

De acordo com os critérios estabelecidos nos Procedimento de Rede [11], no âmbito da operação do sistema elétrico de potência brasileiro, os principais estudos de desempenho em regime permanente são: planejamento e programação da operação elétrica, ampliações e reforços da rede básica, estudo de proteção e estudos especiais que abrangem assuntos específicos. O estudo de planejamento e programação da operação está dividido em mensal, quadrimestral e anual, enquanto que o de ampliação e reforços da rede básica abrange um horizonte de três anos.

Nesses estudos analisa-se a adequação da capacidade instalada de geração, do controle de tensão e da topologia da rede para uma correta operação desse sistema, durante determinado período. Além disso, outro elemento essencial à tal operação refere-se ao comportamento da carga, definido em patamares como, por exemplo: carga pesada, média e leve.

Com os resultados dos estudos de fluxo de potência pode-se elaborar as instruções de operação, que irão dar diretrizes para se fazer frente a diversos cenários operativos.

Este capítulo tem como objetivo utilizar os sistemas-teste em que se caracterizem problemas típicos estudados nas empresas, sob o enfoque de regime estático, em condição normal de operação.

4.2 FERRAMENTA COMPUTACIONAL

O programa de fluxo de potência utilizado para análise dos sistemas-teste foi o ANAREDE (Análise de Redes), desenvolvido pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) [18]. O seguinte conjunto de aplicações integram este programa:

- Fluxo de Potência Continuado, utilizado na determinação das margens operacionais do sistema;

- Análise de Contingências, que visa detectar o efeito da ausência de um componente do sistema;
- Análise de Sensibilidade de tensão e fluxo, que objetiva o cálculo de fatores de sensibilidade influentes na tensão e no comportamento dos fluxos dos diversos circuitos da rede e;
- Equivalente de Redes, que tem como finalidade a determinação de um modelo reduzido de fluxo de potência do sistema.

O programa ANAREDE tem como objetivo o cálculo do estado operativo da rede elétrica para condições de carga, geração, topologia e restrições operacionais pré-definidas.

O processo iterativo do cálculo do estado operativo da rede elétrica para as condições impostas, consiste na obtenção de soluções para os sistemas CA e CC. O algoritmo é executado até que as variações, entre iterações consecutivas, das potências injetadas na rede CA e pela rede CC sejam menores que uma tolerância especificada.

O primeiro passo do processo de solução é a determinação do estado operativo do sistema CC para condições iniciais estabelecidas. Nos passos seguintes, os sistemas CA e CC são solucionados alternadamente, considerando os controles automáticos ativados, até a obtenção da convergência da interface entre estes sistemas.

Dois métodos estão disponíveis para a solução das equações da rede elétrica CA:

- Método Desacoplado Rápido;
- Método de Newton.

4.3 PROCEDIMENTOS

Nos estudos realizados foram consideradas as seguintes premissas:

- As cargas foram modeladas com 100% da potência ativa e 100% da potência reativa constante (modelo de representação de carga conhecido como potência constante);

- Os casos foram processados utilizando-se para solução do fluxo de potência o método de Newton-Raphson completo, opção NEWT, a opção STEP que limita as correções das magnitudes de tensão e ângulo durante o processo iterativo, a opção QLIM que realiza o controle do limite de geração de potência reativa e a opção CREM que ativa a aplicação de controle remoto de tensão por excitação de geração durante o processo de solução do problema de fluxo de potência;
- A opção de controle de tape (CTAP) foi inicialmente desativada para obtenção da solução de fluxo de potência e em seguida ligada, reprocessando-se com esta opção. Este procedimento de bloquear o valor do tape na primeira solução foi adotado para facilitar o processo de convergência;
- O número máximo de iterações permitidas pelo programa para solução do fluxo de potência foi de 90;
- A tolerância de convergência utilizada para erro de potência ativa foi de 10^{-5} MW e para erro de potência reativa 10^{-5} Mvar, correspondendo aos valores usualmente assumidos pelo programa;
- As opções de monitoramento MOCT (limite de tensão), MOCF (limite de fluxo) e MOCG (limite de geração) foram ativadas para permitir a rápida identificação de violação de limites dessas grandezas.

4.3.1. Modelos e representações de cargas

Num estudo de fluxo de potência convencional, a carga em cada condição de operação pode ser representada por três modelos distintos:

- Impedância constante;
- Corrente constante;
- Potência constante.

O programa ANAREDE permite uma representação da carga através de combinações dos três modelos citados anteriormente.

Como as magnitudes das tensões nodais da carga não permanecem iguais aos respectivos valores nominais, a modelagem por potência constante é mais crítica para solução do fluxo de potência, podendo não se obter uma solução.

Normalmente, as empresas do setor elétrico fazem testes em campo para identificar a melhor representação da carga. Na maioria das vezes, a potência ativa da carga é representada com uma parcela em potência constante e outra em impedância constante e a potência reativa da carga é representada na maioria das vezes em 100% de impedância constante.

4.3.2. Múltiplas barras de referência

O uso de várias barras de referência implica em fixar o módulo da tensão e ângulo em mais de um ponto do sistema, fazendo com que o algoritmo de fluxo de potência determine a injeção de P e Q necessárias para manter aquela tensão e ângulo nos valores definidos.

Uma aplicação para este recurso é trabalhar num caso com mais de uma área de controle quando se desejar alocar as perdas na sua própria área e manter constante o intercâmbio entre as áreas.

4.3.3. Ponto de operação de difícil convergência

Salvo os casos de erros de dados ou problemas numéricos, este problema decorre de casos de fluxo de potência que se encontram no limite da capacidade de transmissão de potência pelas linhas ou no limite de suporte de tensão, estando associados a problemas de estabilidade de tensão.

4.3.4. Controle de tensão

Um dos grandes problemas na operação de um sistema elétrico está no controle de tensão, ou seja, manter as tensões nos barramentos dentro dos limites especificados.

No sistema elétrico existem barras consideradas importantes para a manutenção da tensão, chamadas de barras de referência. Nessas barras devem ser adotadas faixas de

tensões que permitam uma monitoração adequada da situação da rede. Em caso de violação, as primeiras ações devem ser nos equipamentos adjacentes à barra com tensão violada, atuando em tape de transformadores, capacitores e/ou reatores etc.

Numa segunda etapa, deve-se realizar ações nos equipamentos que não são adjacentes à barra com tensão violada. Aqui, surgem algumas questões como, onde agir, em que ordem e finalmente, qual o efeito quantitativo de cada ação possível.

Nos sistemas radiais, o controle de tensão é mais difícil em virtude das variações, mesmo normais, da carga. Estes sistemas são ditos “sistemas fracos” e exige a instalação de fontes de reativos em locais estratégicos, de forma que o perfil de tensão atenda às condições necessárias para uma operação satisfatória.

Em sistemas malhados, o controle de tensão é mais facilmente realizado, muitas vezes reduzindo-se a um ajuste fino das tensões nos barramentos, realizado mediante a atuação de comutadores em carga dos transformadores. Entretanto, mesmo nesses sistemas, existe a necessidade de manter a tensão em faixas relativamente estreitas, o que conduz à instalação de fontes de reativos em locais adequados.

O controle de tensão é uma medida de qualidade no fornecimento de energia elétrica, bem como da segurança do sistema.

4.3.5. Violações de limites

Violações em linhas de transmissão e/ou equipamentos de alta tensão são consideradas mais críticas devido ao risco de perda de uma quantidade grande de carga, se comparado com violações em linhas ou equipamentos de menor tensão (e.g. 13,8 kV).

Os limites podem ser físicos ou operativos. Em uma linha de transmissão, o limite operativo é determinado pelo equipamento ou respectivos acessórios que limitam a capacidade de condução de corrente na mesma a um valor determinado. Na determinação do limite operativo é considerado o menor valor limitante.

Cada linha de transmissão deverá conter os seguintes limites:

- Contínuo;

- De curta duração;
- De longa duração.

Para aquelas linhas de transmissão, em que não são mencionados valores de curta e longa duração, deverá ser considerado o valor admissível em regime contínuo.

4.4 ESTUDOS DE PROBLEMAS TÍPICOS

Nesta seção foram feitas as seguintes análises, com a utilização dos sistemas-teste elaborados:

- *Montagem, ajuste e análise do caso-base;*
- *Análise de curva e patamares de carga;*
- *Análise de contingência simples (N-1);*
- *Ajuste em tape de transformador;*
- *Adição de um elo de corrente contínua no sistema-teste 107 barras.*

4.4.1 Montagem, Ajuste e Análise do Caso-Base

O início de um estudo em um sistema elétrico de potência começa pela montagem e ajuste do caso-base, que define o ponto de operação a ser considerado na realização dos estudos a posteriori. Tal ponto representa um sistema de potência ajustado para uma determinada condição de operação que deverá estar em conformidade com o enfoque a ser estudado.

Esta seção se dedica à montagem do caso-base do **sistema-teste de 9 barras**, a partir do qual são feitas alterações para ajustes do sistema. Isso facilita a convergência em casos com um elevado número de barras e circuitos, porque se baseia em uma condição inicial favorável de tensão e ângulo das barras, e a solução final não estará muito distante desta [41].

Na Figura 4.1 é fornecida uma listagem em formato de entrada de dados para o programa ANAREDE do caso inicial do sistema em estudo. Observe que as tensões do

sistema estão em 1 p.u., os ângulos em 0° e os limites de geração de reativos das máquinas estão abertos, não levando em conta as limitações operativas.

A barra 1 foi escolhida como referência do sistema. Na modelagem de fluxo de potência a barra de referência não entra na montagem da matriz Jacobiana, logo os valores iniciais de tensão e ângulo definidos para esta barra não se alteram durante o processo de solução do fluxo de potência.

A Figura 4.2 mostra um relatório completo do sistema depois de processado o fluxo de potência com o programa ANAREDE e a Figura 4.3 mostra o diagrama unifilar do sistema com as tensões e os fluxos para o caso base do sistema com 9 barras.

TITU

Sistema Teste de 9 Barras - Caso Base

DOPC IMPR

(Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E

QLIM L CREM L CTAP L NEWT L MOCT L MOCG L MOCF L RCVG L RMON L

9999

Tensão e ângulo

DBAR

(No) 0 TB(nome)G(V)(A)(Pg)(Qg)(Qn)(Qm)(Bc)(Pl)(Ql)(Sh)(A(Vf)

1 2 BAR-1 GER1 A1000 0. 100. -9999 9999 1

2 1 BAR-2 GER2 A1000 0. -9999 9999 1

3 BAR-3 A1000 0. 1

4 BAR-4 A1000 0. 1

5 BAR-5 CAR1 A1000 0. 55. 27. 1

6 BAR-6 CAR2 A1000 0. 37. 18. 1

7 BAR-7 CAR3 A1000 0. 68. 45. 1

8 BAR-8 CAR4 A1000 0. 90. 35. 1

9 BAR-9 CAR5 A1000 0. 75. 28. 1

9999

DLIN

(De) 0 (Pa)NcEP (R%)(X%)(Mvar)(Tap)(Tmn)(Tmx)(Phs)(Bc)(Cn)(Ce)Ns

1 3 1 5.34 1. 300 330

2 4 1 7.68 1. 260 286

3 5 1 1.7 9.2 15.8 200 220

3 8 1 1. 8.5 17.6 200 220

4 7 1 0.9 7.9 16.2 200 220

5 7 1 3.2 16.1 30.6 200 220

6 4 1 .85 7.2 14.9 200 220

6 8 1 1.1 8.4 25.6 200 220

7 9 1 1.19 10.08 20.9 200 220

8 9 1 3.9 17. 35.8 200 220

9999

DGLT

(G (Vmn) (Vmx)

A .95 1.05

99

DARE

(Ar) (Xchg) (Identificacao da area) (Xmin) (Xmax)

1 0. *** AREA 1 ***

9999

FIM

Ativação de alguns controles, escolha do método de solução e monitoração das grandezas.

Limites abertos para melhor convergência do caso.

Limites de tensão nas barras do sistema.

Figura 4.1 – Dados do caso base

CEPEL - CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA - PROGRAMA DE ANÁLISE DE REDES - V08-MAR05A

Sistema Teste de 9 Barras - Caso Base

RELATÓRIO COMPLETO DO SISTEMA

D A D O S - B A R R A										F L U X O S - C I R C U I T O S									
DA BARRA	TENSÃO	GERAÇÃO	INJ EQV	CARGA	ELO CC	SHUNT	MOTOR												
NUM. KV TIPO	MOD/	MW/	MW/	MW/	MW/	Mvar/	MW/												
NOME	ANG	Mvar	Mvar	Mvar	Mvar	EQUIV	Mvar												
FLUXO %	SHUNT L	PARA BARRA	NC	MW	FLUXOS	MVA/V_d	TAP	DEFAS	TIE										
NUM.	NOME	NC	MW	Mvar	MVA/V_d	TAP	DEFAS	TIE											
1	2	1.000	230.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BAR-1	GER1	0.0	35.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1	1.000	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BAR-2	GER2	-8.4	24.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	1	0.989	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BAR-3		-7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	1	0.984	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BAR-4		-12.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	1	0.966	0.0	0.0	55.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BAR-5	CAR1	-12.2	0.0	0.0	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	1	0.977	0.0	0.0	37.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BAR-6	CAR2	-14.3	0.0	0.0	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	1	0.959	0.0	0.0	68.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BAR-7	CAR3	-15.9	0.0	0.0	45.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	1	0.944	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BAR-8		-12.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	1	0.944	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BAR-9		-12.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Figura 4.2 - Relatório completo do caso base (continua na próxima página)

D A D O S - B A R R A - X										F L U X O S - C I R C U I T O S - X									
DA BARRA			TENSÃO	GERAÇÃO	INJ EQV	CARGA	ELO CC	SHUNT	MOTOR										
NUM.	KV	TIPO	MOD/	MW/	MW/	MW/	MW/	Mvar/	MW/										
NOME			ANG	Mvar	Mvar	Mvar	Mvar	EQUIV	Mvar	PARA BARRA	FLUXOS								
							FLUXO %	SHUNT L		NUM.	NOME	NC	MW	Mvar	MVA/V_d	TAP	DEFAS	TIE	
X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
8	1	0	0.972	0.0	0.0	90.0	0.0	0.0	0.0										
BAR-8	CAR4		-14.0	0.0	0.0	35.0	0.0	0.0	0.0										
							69.1%			3	BAR-3	1	-134.4	-3.3	138.3				
							9.7%			6	BAR-6	CAR2	1	4.2	-18.5	19.5			
							21.8%			9	BAR-9	CAR5	1	40.3	-13.2	43.7			
9	1	0	0.952	0.0	0.0	75.0	0.0	0.0	0.0										
BAR-9	CAR5		-18.2	0.0	0.0	28.0	0.0	0.0	0.0										
							19.3%			7	BAR-7	CAR3	1	-35.1	-11.0	38.7			
							22.7%			8	BAR-8	CAR4	1	-39.7	-17.0	45.3			
TOTAIS																			
X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
GERACAO			INJ EQV	CARGA	ELO CC	SHUNT	EXPORT	IMPORT	PERDAS										
MW/			MW/	MW/	MW/	Mvar/	MW/	MW/	MW/										
Mvar			Mvar	Mvar	Mvar	EQUIV	Mvar	Mvar	Mvar										
X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
330.2			0.0	325.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4										
59.9			0.0	153.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-93.0										

Figura 4.2 - Relatório completo do caso base

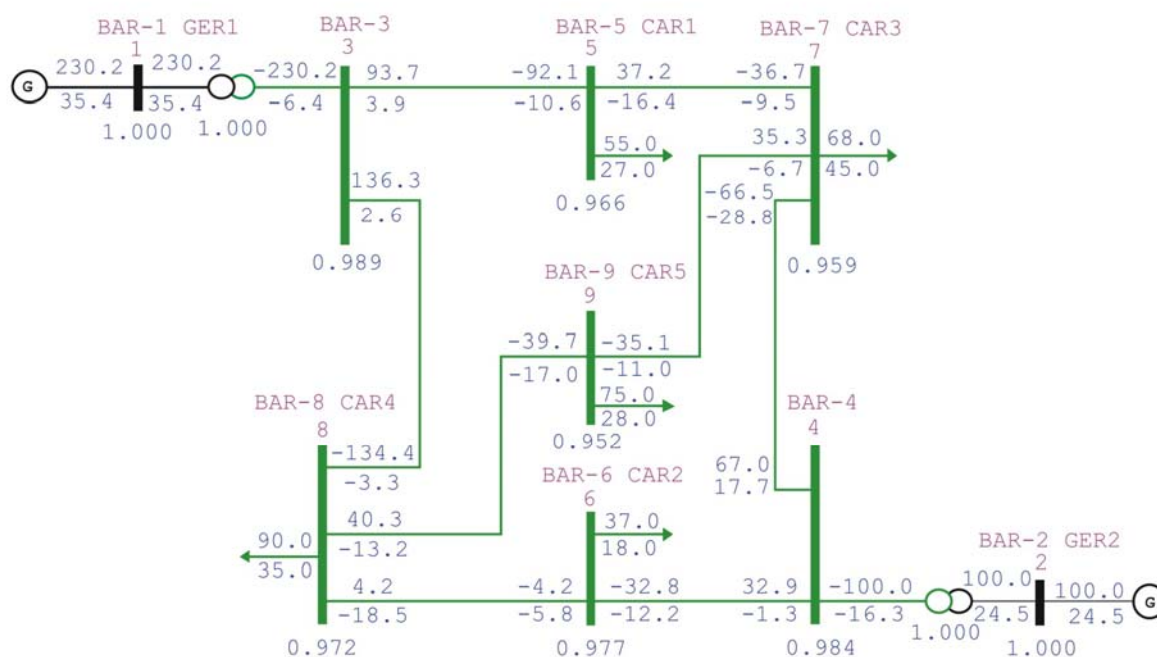


Figura 4.3 - Diagrama unifilar do sistema com as informações do caso base

Com relação aos níveis de tensão, esse sistema pode operar numa faixa de 0,95 a 1,05 pu. Porém as tensões desejadas nas barras de 230kV do sistema devem estar entre 0,97 e 1,03 pu para que o sistema possua uma margem de segurança numa eventual contingência. Naquelas onde estiverem conectadas cargas, a tensão mínima deve estar em torno de 1,0 pu.

Analizando os resultados apresentados no relatório completo, observa-se que apesar de nenhum limite ter sido violado, o nível de tensão no sistema ficou abaixo de 1 pu. Como este sistema não dispõe de capacitores nem de reatores, o controle de tensão é feito através do ajuste na tensão terminal dos geradores.

O próximo passo é colocar os limites de geração de reativo nos geradores, alterar a tensão terminal nos geradores da barra 1 e da barra 2 para 1.030 e 1.035 pu respectivamente, de modo a aumentar a potência reativa gerada para elevar o perfil de tensão no sistema. Uma última medida corretiva tomada foi aumentar o despacho de potência ativa no gerador da máquina 2 de 100MW para 150MW para minimizar as perdas elétricas do sistema e conseqüentemente elevar as tensões nas barras.

A Figura 4.4 mostra o resultado da ação corretiva tomada.

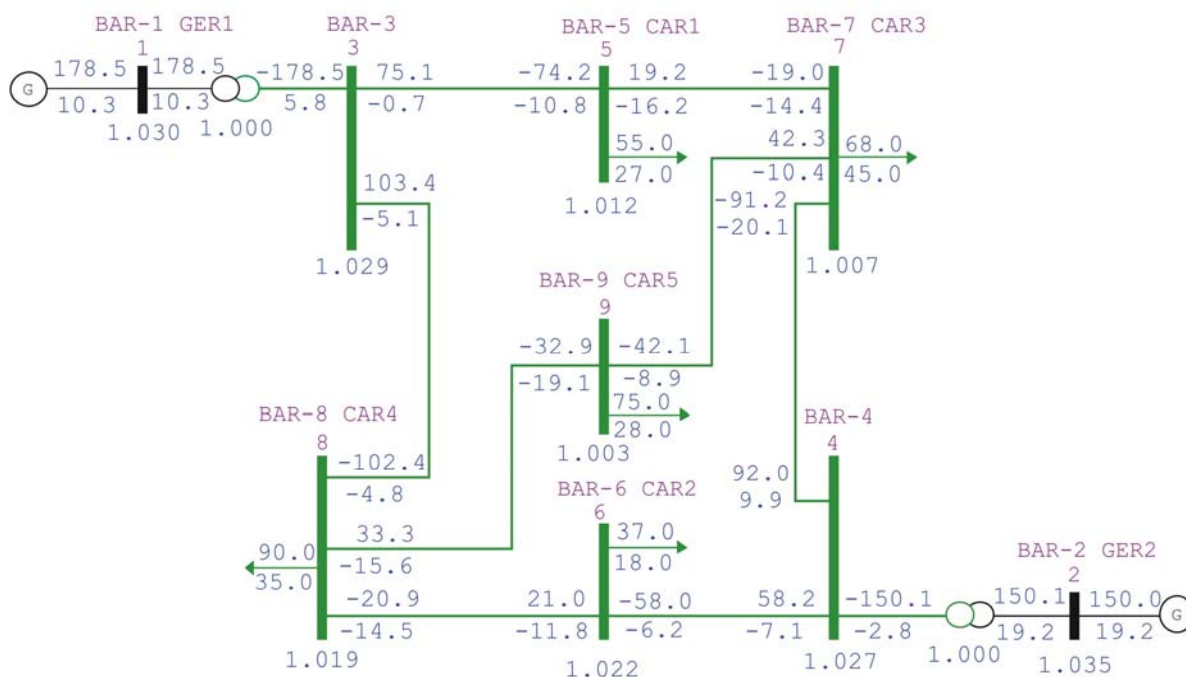


Figura 4.4 – Diagrama unifilar do sistema com as informações após ajuste

Observando os resultados mostrados na Figura 4.4, após as medidas corretivas, obteve-se uma solução, onde todas as grandezas estão dentro da faixa operativa especificada, não violando nenhum limite. O perfil de tensão nos barramentos do sistema ficou acima de 1 pu, mostrando que o caso base está ajustado num ponto de operação aceitável.

Com este caso já se poderia realizar os demais estudos, portanto a partir deste ponto, pode-se partir para um outro processo de ajuste chamado “ajuste fino”. Neste tipo de ajuste o objetivo é fazer um refinamento, atuando em alguns pontos importantes do sistema no intuito de obter níveis satisfatórios de tensão e aumento das margens de segurança. No capítulo referente à análise em condições otimizadas, este caso base será explorado buscando-se um melhor ponto de ajuste através de métodos de otimização.

4.4.2 Análise de Curva e Patamares de Carga

A tarefa de representar a carga de um sistema, estabelecendo um modelo o mais próximo possível do seu verdadeiro comportamento, envolve vários procedimentos, muitos deles abordados em diversos estudos sobre o assunto como em [19].

As cargas são normalmente divididas nas classes de consumo: industrial, comercial, residencial e rural. Em cada uma dessas classes, determinadas características são predominantes. Na classe industrial, existe uma elevada proporção de motores de indução, enquanto que na comercial e residencial há uma grande variedade de equipamentos, predominando a iluminação, aquecimento de água e condicionadores de ar. A classe rural apresenta um perfil de consumo menos significativo se comparado às outras, sendo relevante uma representação mais precisa apenas quando de estudos de atendimento específicos a estas áreas.

Além dessas classes, existem outras de modelagem específica, como os eletrointensivos de forno a arco e a indústria de alumínio (cubas eletrolíticas).

As curvas de carga representam o comportamento da carga ao longo de um dia de semana ou fim de semana típico, contendo o pico máximo de carga (carga máxima pontual naquele período), em determinada hora. A carga pesada é o valor médio da carga no período de cerca de 3 horas em que está contido o pico de carga daquele dia. A carga média é o valor médio da carga no período de cerca de 13 horas daquele dia e finalmente a carga leve ocorre no período da madrugada cujo intervalo de tempo é de cerca de 8 horas.

A análise das curvas de carga mostra o comportamento social dos habitantes de uma região. A Figura 4.5 apresenta duas curvas de carga do sistema elétrico brasileiro; uma referente a um dia útil sem a ocorrência de evento no sistema e a outra curva indicando o efeito da transmissão de jogos da Copa do Mundo de futebol de 2006, quando ocorre um jogo do time brasileiro.

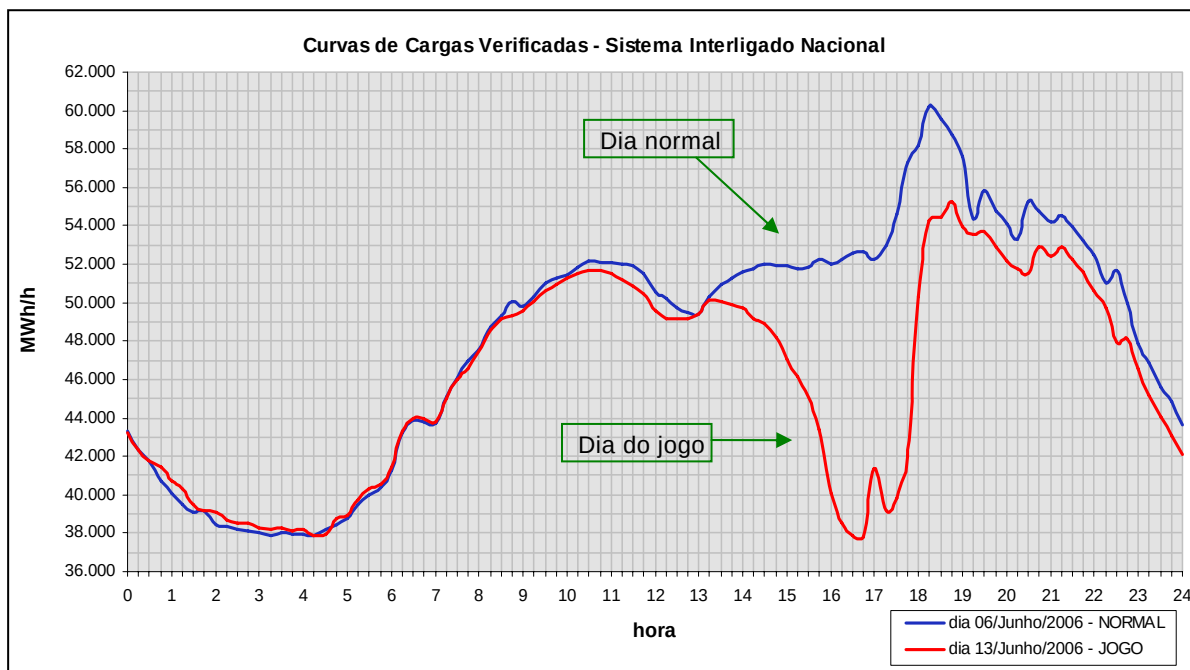


Figura 4.5 – Curva de demanda diária verificada no SIN

A Figura 4.6 apresenta a mesma curva de carga da Figura 4.5 mostrando apenas o período que sofreu alteração em função do jogo. Esta curva está comentada, indicando cada alteração sofrida no comportamento da carga e suas razões.

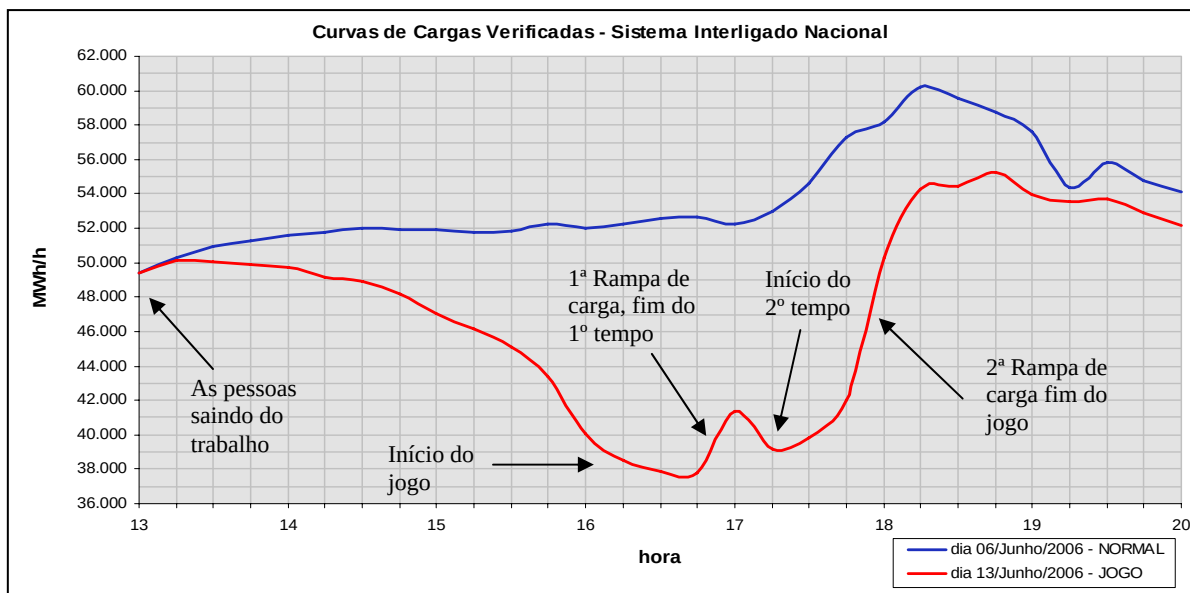


Figura 4.6 – Curva de demanda do período afetado pela realização do jogo

As curvas das Figuras 4.5 e 4.6 mostram que conforme esperado, o jogo de futebol Brasil X Croácia, pela Copa do Mundo, provocou variação no perfil de carga do SIN, a

partir das 13h00min, devido à interferência nos hábitos de consumo da sociedade, em todos os segmentos.

Duas rampas acentuadas de carga foram verificadas durante o jogo:

- A primeira ocorreu ao término do 1º tempo, verificando-se uma elevação da ordem de 4.000 MW em 7 minutos na carga do SIN. Logo no reinício da partida, houve uma redução de aproximadamente 2.500 MW nessa carga.
- A segunda rampa ocorreu ao final da partida, com a entrada de carga de aproximadamente 11.800 MW em 18 minutos, montante equivalente à usina de Itaipu (12.600 MW). Entre 17h53min e 18h01min, ou seja, em 8 minutos, a elevação foi da ordem de 7.800 MW, correspondendo a aproximadamente 1.000 MW por minuto.

A partir das 20h00min o SIN retornou ao patamar de carga de um dia típico.

Estas rampas de potência influenciam diretamente na frequência e na tensão do sistema. Para esses períodos são feitos estudos para garantir a operação do sistema, que envolvem a adoção de medidas operativas preventivas, visando assegurar uma operação normal do sistema, de modo a manter sob controle a tensão e frequência durante todo o período que envolve a ocorrência do evento.

Na Tabela 4.1 são mostrados os três patamares clássicos de carga e os períodos do dia em que normalmente ocorrem.

Tabela 4.1 – Patamares de carga

Carga	Período
Leve	00h00min – 07h00min
Média	07h00min – 17h00min
Pesada	17h00min – 22h00min
Média	22h00min – 24h00min

O ideal é discretizar a curva de carga em um número maior de patamares. Se isto for necessário, recomenda-se fazer uma análise de sensibilidade procurando determinar,

para o sistema em estudo, qual o número mínimo de patamares que melhor representa a carga do sistema.

4.4.3 Análise de Contingência Simples (N-1)

O objetivo deste estudo é detectar situações que potencialmente podem levar o sistema a operar em estado de emergência. Será analisado o comportamento do **sistema-teste de 33 barras**, quando da simulação de contingências simples em linhas de transmissão, ressaltando o aspecto de sobrecarga em linhas e transformadores bem como subtensão ou sobretensão em barras.

A aplicação prática deste estudo será sobre o sistema-teste de 33 barras, que teve sua carga total majorada de 5.085 MW + j1.190 Mvar para 5.605,7 MW + j1.433,4 Mvar, criando-se uma condição de carga pesada. Para compensar esse aumento na carga, foram alterados os despachos de geração nas diversas usinas, respeitando-se os limites de geração das diferentes bacias hidrográficas envolvidas. O sistema foi ajustado num ponto de operação em que o intercâmbio de energia da área B para a área A foi maximizado, sem violar nenhum limite operativo. Na Figura 4.7 é mostrado um diagrama unifilar do sistema com esse ponto de operação explicitado. No Anexo I, as Tabelas 8a e 8b apresentam uma listagem completa do sistema neste ponto de operação.

O subsistema da área A não possui geração suficiente para atendimento de suas cargas. Além disso, em alguns períodos do ano devido à baixa hidraulicidade, aumentam as trocas energéticas. Neste exemplo, o ponto de operação definido no caso está considerando uma situação energética muito desfavorável para área A, implicando num elevado intercâmbio de potência e conseqüentemente aumentando os riscos de surgimento de problemas, caso ocorra a saída de algum elemento do sistema.

A área A possui uma capacidade total de 4.264 MW de geração, sendo a carga da área de 4.713 MW e seu despacho de geração é de 1.777 MW. A área B possui 4.648 MW de capacidade total de geração, sendo a sua carga de 893 MW e seu despacho de 4.000 MW, portanto ocorre um intercâmbio de aproximadamente 3.077 MW da área B para área A. Na Figura 4.8 é mostrado um diagrama resumido dessas informações.

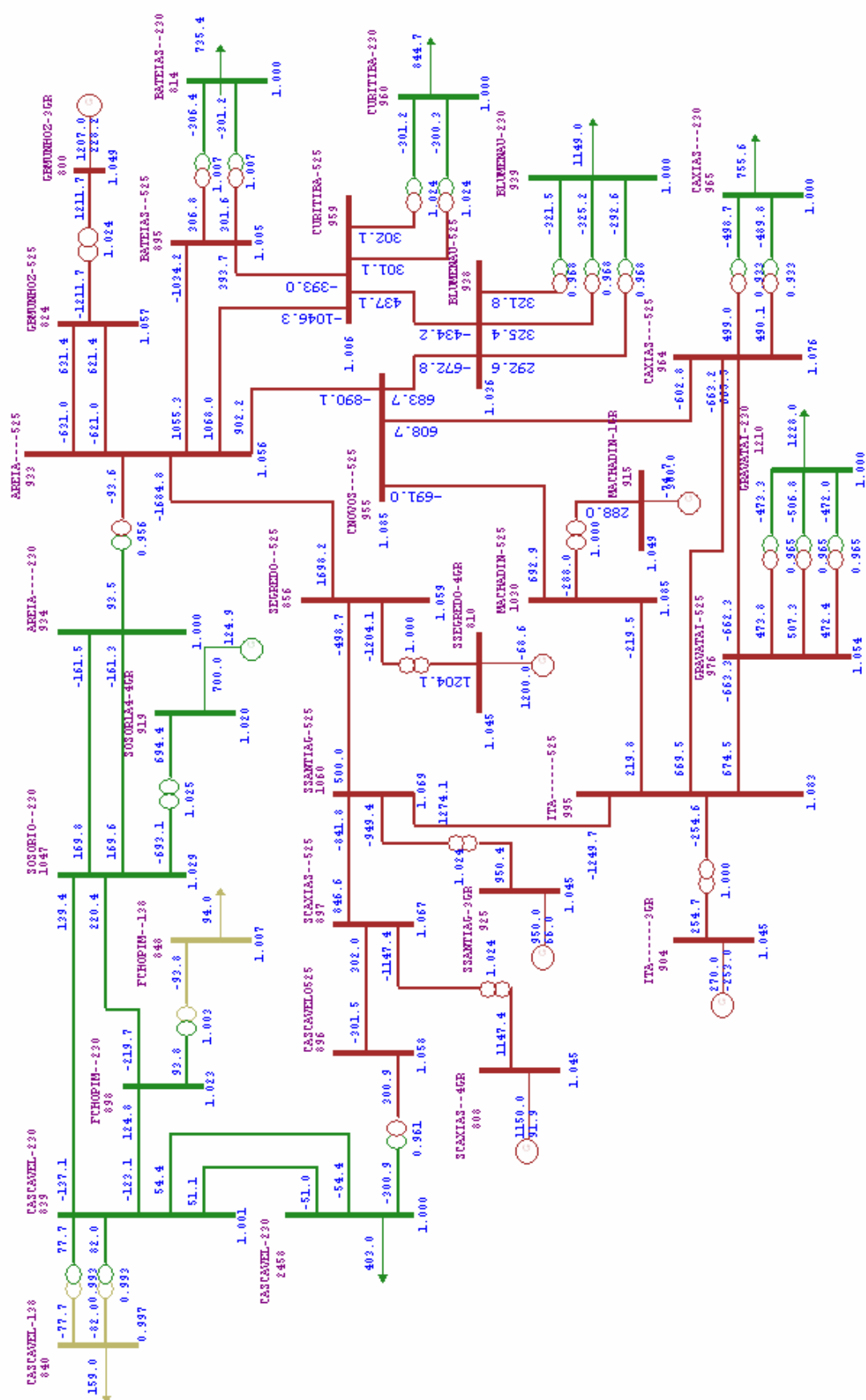


Figura 4.7 – Diagrama unifilar com ponto de operação do estudo

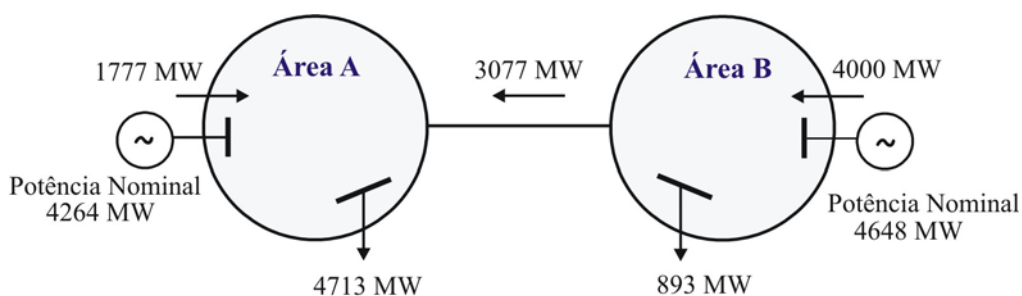


Figura 4.8 – Dados de intercâmbio entre as áreas

Dentre os três cenários de intercâmbio de energia para operação deste sistema, conforme mostra a Tabela 4.2, apenas o cenário 2 é possível de ocorrer. Sendo assim, o estudo será feito sobre esse cenário, considerando a baixa afluência das usinas da área A. Esta área precisa importar energia da área B para atender ao seu mercado consumidor.

Tabela 4.2 – Cenários de operação

Cenário	Despacho		Intercâmbio
	Área A	Área B	
1	Alto	Baixo	A → B
2	Baixo	Alto	B → A
3	Médio	Médio	0

Para este sistema foram considerados limites de tensão nas barras, conforme descrito na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Limites de tensão

Tipo de Barras	Tensão (p.u.)			
	Condição Normal		Condição de Emergência	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Gerador	0,95	1,05	0,95	1,05
138 kV	0,95	1,05	0,90	1,07
230 kV	0,95	1,05	0,90	1,10
500 kV	0,95	1,09	0,90	1,10

O comportamento do sistema será analisado frente a algumas das contingências consideradas significativas, conforme mostrado na Tabela 4.4 a seguir.

Tabela 4.4 – Lista de contingências

Contingência	Descrição
1	Perda da LT 230kV Salto Osório – Areia C.1
2	Perda da LT 500kV Salto Caxias – Salto Santiago
3	Perda da LT 500kV Salto Santiago – Itá
4	Perda do Transformador 500/230kV – Areia
5	Perda da LT 500kV Salto Caxias – Cascavel do Oeste
6	Perda da LT 500kV Segredo – Areia
7	Perda da LT 500kV Machadinho – Campos Novos

4.4.3.1 Análise da contingência 1

Os resultados demonstraram que a indisponibilidade desse circuito provoca sobrecarga na LT 230kV S.Osório-Cascavel de 3,12% violando o limite de carregamento em regime normal (189 MVA), conforme mostra o relatório de monitoração de fluxo na Figura 4.9. O carregamento do circuito pode ser calculado para um fluxo de potência aparente da seguinte forma:

$$\text{Carregamento (Ca)} = \frac{\text{Maior fluxo no circuito medido entre a barra DE e a barra Para (Fluxo)}}{\text{Capacidade do circuito em MVA (Cap)}} \times 100 \%$$

$$\text{Ca} = \frac{\text{Fluxo}}{\text{Cap}} \times 100 \quad \text{Ca} = \frac{194,9}{189} \times 100 \quad \text{Ca} = 103,12 \%$$

MONITORAÇÃO DE FLUXOS								
X-----X-----X-----X-----X								
DA BARRA	PARA BARRA			FLUXOS		VIOLACAO		CARREGAMENTO %
NOME	NOME	NC	MW	Mvar	MVA	MVA		SEVERIDADE
X-----X-----X-X-----X-----X-----X-----X-----X								
1047	839							103.12 %
SOSORIO--230	CASCADEL-230	1	194.1	17.4	194.9	5.9	*	
-----	IND SEVER.		1.1	-----				

Figura 4.9 – Relatório de monitoração de fluxo

O índice de severidade (IND SEVER) mostrado na última linha da Figura 4.9 corresponde ao desvio quadrático médio em relação aos limites para a grandeza que está

sendo monitorada. Este índice é utilizado para ordenação dos casos de contingências. A referência [18] apresenta uma abordagem mais detalhada, sobre o cálculo deste índice.

Como o limite de carregamento de emergência desta LT é de 323 MVA (vide tabela A-3.2) para curta duração, neste caso o carregamento não é severo, tendo o operador tempo para promover um redespacho de geração para eliminar esta sobrecarga. O redespacho é feito da seguinte maneira: como a linha em sobrecarga pertence à área B e o fluxo está no sentido de S.Osório para Cascavel, a melhor estratégia do redespacho é reduzir geração na UHE Salto Osório e aumentar em outra usina da área B.

Para esta contingência foram feitas variações nas opções de controle de execução do programa para verificar a influência na solução do fluxo de potência, não sendo observada nenhuma influência significativa que afetasse o processo de solução do fluxo de potência.

Variações na representação da carga para verificar a sua influência nas tensões, principalmente nas barras de carga do sistema, são mostradas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Variação da tensão com a representação da carga

Barra	Tensão (pu)			
	A	B	C	D
814	0,999	0,995	0,997	0,997
939	0,999	0,995	0,997	0,997
960	0,999	1,000	0,997	0,997
965	0,999	0,996	0,998	0,998
1210	0,999	0,996	0,998	0,998
840	0,995	0,997	0,997	0,997
848	1,007	1,003	1,004	1,004
934	0,999	0,995	0,996	0,996
2458	1,000	0,995	0,996	0,996

Legenda das Tabelas 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8.

- (A) = Caso inicial com a rede completa e as cargas modeladas com representação de potência constante.
- (B) = Caso inicial sem a LT 230kV S.Osório-Areia e as cargas modeladas com representação de potência constante.
- (C) = Caso inicial sem a LT 230kV S.Osório-Areia e as cargas modeladas com representação de 50% da potência ativa e 100% da potência reativa variando com o quadrado da tensão.
- (D) = Caso inicial sem a LT 230kV S.Osório-Areia e as cargas modeladas com representação de 75% da potência ativa e 100% da potência reativa variando com o quadrado da tensão.

Analisando os resultados da Tabela 4.5, observa-se que os valores das colunas C e D em relação ao da coluna B mostram que, a utilização de uma representação de carga mais flexível melhora o perfil de tensão do sistema, além de favorecer o processo de convergência do fluxo de potência. Porém, o efeito destas representações só é percebido quando ocorrem variações significativas nas tensões do sistema.

Além disso, foram verificadas a geração na barra de referência e as perdas do sistema, mostrados nas Tabelas 4.6 e 4.7.

Tabela 4.6 – Geração ativa na barra de referência

Barra Swing	Geração Ativa (MW)			
	A	B	C	D
800	1207,4	1215,1	1198,4	1191,8

Tabela 4.7 – Perdas elétricas no sistema

Perdas Elétricas (MW)			
A	B	C	D
171,7	179,4	178,2	177,9

Os resultados das Tabelas 4.5, 4.6 e 4.7 mostram que a representação de carga tem uma influência no resultado numérico. Isso pode ser observado através da geração da barra de referência e das perdas no sistema. Onde ocorreu redução das perdas, conseqüentemente, a barra de referência gerou menos potência ativa, o que indica que uma parcela da carga foi reduzida com a tensão conforme mostra a Tabela 4.8, que compara o valor da carga na condição utilizada na coluna B da Tabela 4.5 com o da coluna D da mesma tabela.

O resultado obtido nessa análise mostra que a representação mais próxima do comportamento real da carga conduz a um melhor resultado, evitando-se que se tenha um caso irreal ou mesmo, mascarando algum problema no sistema.

Tabela 4.8 – Variação da carga com a tensão em função da representação

Barra	Representação da carga			
	B		D	
	MW	MVAR	MW	MVAR
814	735,4	191,0	732,5	190,0
939	1149,0	53,1	1144,4	52,8
960	844,7	469,1	841,2	466,5
965	755,6	56,2	753,1	56,0
1210	1228,0	425,0	1223,9	423,1
840	159,0	36,0	158,2	35,8
848	94,0	18,0	94,5	18,1
934	237,0	59,0	235,7	58,6
2458	403,0	126,0	400,4	124,9

4.4.3.1.1 Medidas corretivas

Medidas corretivas são ações tomadas no sistema visando manter suas grandezas monitoradas dentro de valores especificados, conforme estabelecem normas e instruções de operação definidas pela área de estudos.

Deve-se por exemplo aplicar uma medida corretiva para resolver um problema de sobrecarga observado na análise de contingências. A título de ilustração, para reduzir o carregamento na linha Cascavel – Salto Osório, foi realizado um procedimento operativo de remanejamento de geração, habitualmente utilizado em situações de sobrecargas em linhas e transformadores para evitar corte de carga. A geração na UHE Salto Osório foi reduzida de 700 para 650 MW e elevada a geração na UHE Salto Santiago de 950 para 1.000 MW. Essa troca de energia permite que os fluxos nas linhas de 230kV sejam reduzidos, o que alivia a linha em sobrecarga.

A medida tomada surtiu efeito, reduzindo o fluxo na linha para 177 MVA e eliminando a sobrecarga, conforme mostra a Figura 4.10.

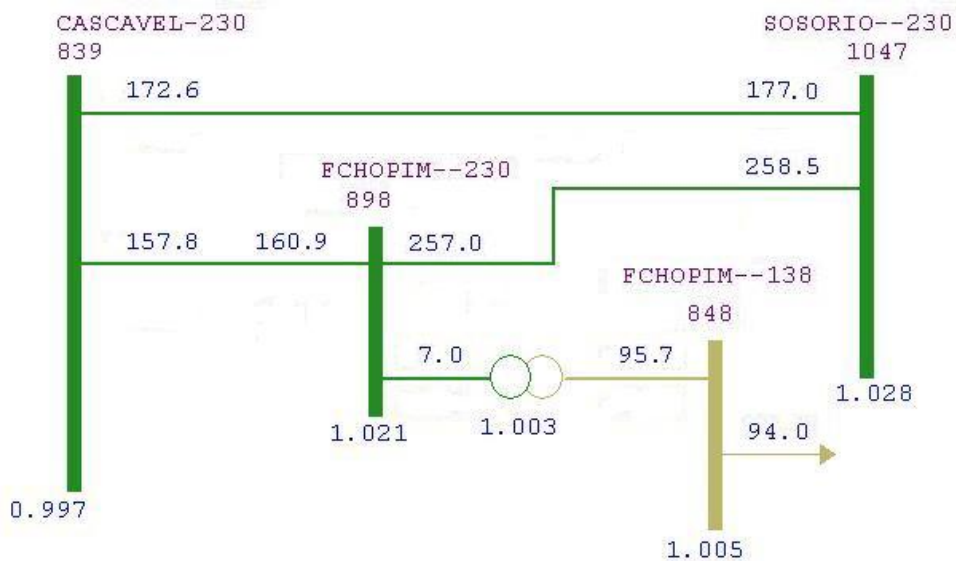


Figura 4.10 – Fluxo na LT 230kV Cascavel-S. Osório

Após a medida corretiva, observou-se que não existem mais violações no sistema. Portanto, para que o sistema suporte esta contingência, sem a sobrecarga na linha em questão, o despacho na UHE Salto Osório deve ser menor do que o definido no caso-base. Isso só será possível se o acordo contratual de fornecimento de energia entre áreas o permitir. Por outro lado, se não for possível realocar geração em operação normal, esta ação será uma medida corretiva que só poderá ser usada pós-contingência.

4.4.3.2 Análise da contingência 2

O programa não consegue resolver o problema de fluxo de potência, uma vez que a indisponibilidade desse circuito é crítica. A análise topológica desse sistema mostra que a perda desta linha deixa toda a geração da UHE Salto Caxias e da UHE Salto Osório ligada ao sistema da área A apenas pelo transformador 500/230kV de Areia, tornando difícil a transferência de potência devido a alta impedância existente.

Para se buscar uma solução numérica do problema foram tomadas as seguintes medidas:

- Todas as opções de controle de execução do programa foram desligadas;
- A carga passou a ser representada como 75% da potência ativa e 100% da potência reativa variando com o quadrado da tensão.

Mesmo sem a aplicação dos controles e relaxando a representação da carga (medidas que favorecem a convergência do caso) o programa não conseguiu encontrar uma solução de fluxo de potência dentro das 90 iterações estabelecidas como limite máximo para convergência.

Adotou-se então a seguinte medida na busca da solução:

- A barra 808 (UHE Salto Caxias) foi colocada como referência, juntamente com a barra 800.

Com isso procura-se obter uma solução de fluxo de potência mesmo que as tensões estejam degradadas. Isso mostrará se o despacho de geração será modificado ou não. Em caso afirmativo, há necessidade de corte de geração ou realocação de geração.

Além disso, com esta medida pode-se avaliar a necessidade de corte de carga, dependendo do nível de tensão alcançado. Esta ação pode definir esquemas de subtenção para restabelecer a operacionalidade do sistema. Quanto ao corte de carga, só deverá ser usado como último recurso, de forma seletiva e nos menores valores possíveis.

A partir do uso de duas barras de referência, foi possível resolver o fluxo de potência, o que permitiu identificar o que está ocorrendo no sistema. Analisando os resultados do relatório de barras das máquinas postas como referência, mostrado nas Figuras 4.11 e 4.12, observa-se que devido à alta impedância para transmissão de potência no sistema radializado pela contingência, a usina de Salto Caxias como barra de referência reduziu a sua geração e a máquina de G.B.Munhoz compensou a citada alteração. Desta forma, para que o sistema suporte essa contingência é necessário um esquema de corte de geração nessa usina igual a diferença gerada entre as duas barras de referência, ou corte de carga, se as tensões ficarem baixas.

RELATÓRIO DE BARRAS CA DO SISTEMA				
X-----X-----X-----X				
BARRA		TENSAO GERACAO		
NUM.	TP	AR	MOD/	MW/
NOME		ANG Mvar/		
X-----X-----X-----X				
800	2	1	1.049	1207.4
GBMUNHOZ-3GR			0.0	228.2
808	1	2	1.045	1150.0
SCAXIAS--4GR			11.0	91.9

Figura 4.11 – Relatório de barras sem medida

RELATÓRIO DE BARRAS CA DO SISTEMA				
X-----X-----X-----X				
BARRA		TENSAO		GERACAO
NUM.	TP	AR	MOD/	MW/
NOME		ANG		Mvar/
X-----X-----X-----X				
800	2	1	1.049	1951.3
GBMUNHOZ-3GR			0.0	408.2
808	2	2	1.045	401.3
SCAXIAS--4GR			11.0	75.0

Figura 4.12 – Relatório de barras com medida

A partir dos resultados da Figura 4.12, o caso foi novamente simulado, com a UHE S.Caxias despachada em 401 MW e a diferença alocada na barra de referência (apesar de exceder sua capacidade de geração). Nessas condições, o sistema suportou a perda da referida contingência, sem apresentar problemas de tensão.

Esse exemplo mostra que, o montante de geração assumido pela UHE de G.B. Munhoz que ultrapassou o limite das máquinas, corresponde ao montante de geração que deverá ser realocado entre as demais usinas do sistema fora da região afetada.

4.4.3.3 Análise da contingência 3

A indisponibilidade desse circuito também não é resolvida pelo programa de fluxo de potência. Analisando o diagrama unifilar do sistema, observa-se que a perda desta linha deixa toda a geração das usinas do sistema da área B ligada ao sistema da área A pela subestação de Areia através de uma linha e um transformador.

Todas as opções de controle foram desligadas para se obter uma solução numérica, mas mesmo assim o programa não conseguiu convergir em 90 iterações.

Uma outra tentativa foi manter todas as opções de controle do programa ativadas e alterando apenas a representação da carga para: 50% da potência ativa e 100% da potência reativa variando com o quadrado da tensão. Com o emprego desta representação, o programa obteve solução e a Figura 4.13 mostra o relatório de monitoração de tensão no sistema.

MONITORAÇÃO DE TENSÃO									
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X									
BARRA		TENSÃO			VIOLACAO		SHUNT	SEVERIDADE	
NUM.	NOME	AR	MIN	MOD.	MAX	(PU)	(Mvar)		
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X									
934	AREIA----	230	2	0.950	0.946	1.050	-0.004		*
959	CURITIBA-500	1	0.950	0.934	1.090	-0.016	100.00	**	
895	BATEIAS--500	1	0.950	0.934	1.090	-0.016		**	
939	BLUMENAU-230	1	0.950	0.932	1.050	-0.018		**	
814	BATEIAS--230	1	0.950	0.927	1.050	-0.023		***	
960	CURITIBA-230	1	0.950	0.926	1.050	-0.024		***	
----- IND SEVER.			19.1	-----					

Figura 4.13 – Relatório de monitoração de tensão

Observa-se que a solução encontrada apresenta várias barras com tensão abaixo do mínimo operativo para condição normal. Em condição de emergência, o valor mínimo admitido é de 0,90 pu nas barras de carga. Porém, essa situação exige que medidas sejam tomadas para elevar as tensões para o mais próximo possível de 1 pu. Neste caso, as ações recomendadas são: utilizar compensação reativa capacitiva nos pontos onde a tensão está baixa; alterar as tensões de excitação dos geradores próximos e, por último, efetuar corte de carga nas barras de menores tensões.

Para aplicação dessa medida, foi consultada a Tabela A-3.5, que apresenta a relação de equipamentos de controle de tensão para este sistema. Dentre os capacitores existentes, o da barra de Curitiba 230kV já estava operando. Adicionalmente, foram conectadas todas as unidades da SE Blumenau 230kV, totalizando 250Mvar e duas unidades da SE Gravataí, totalizando 200Mvar. A simulação foi refeita, utilizando-se primeiramente a carga modelada como potência constante (caso inicial não resolvido) e em seguida flexibilizando-se sua representação. Observou-se que no primeiro caso o programa obteve uma solução, porém, o perfil de tensão alcançado não foi satisfatório, conforme mostra a Figura 4.14. Já no caso da segunda representação de carga, os capacitores foram inseridos após a contingência, e o resultado obtido foi melhor se comparado aos resultados mostrados na Figura 4.13. Conforme o relatório de barras mostrado na Figura 4.15, as medidas corretivas aplicadas colocaram as tensões dentro dos seus limites operativos, porém a situação ainda exige medidas adicionais para melhorar o perfil de tensão no sistema (e.g. corte de carga).

MONITORAÇÃO DE TENSÃO								
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X								
BARRA		TENSÃO			VIOLACAO	SHUNT	SEVERIDADE	
NUM.	NOME	AR	MIN	MOD.	MAX	(PU)	(Mvar)	
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X								
939	BLUMENAU-230	1	0.950	0.950	1.050	0.000	250.00	*
934	AREIA---	230	2	0.950	0.936	1.050	-0.014	**
959	CURITIBA-500	1	0.950	0.914	1.090	-0.036	100.00	****
895	BATEIAS--500	1	0.950	0.912	1.090	-0.038		****
814	BATEIAS--230	1	0.950	0.903	1.050	-0.047		*****
960	CURITIBA-230	1	0.950	0.901	1.050	-0.049		*****
----- IND SEVER.			76.2	-----				

Figura 4.14 – Relatório de monitoração de tensão com inserção de capacitores

RELATÓRIO DE BARRAS CA DO SISTEMA										
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X										
BARRA		TENSÃO		GERACAO	INJ	EQV	FATOR	CARGA	ELO CC	SHUNT
NUM.	TP	AR	MOD/	MW/	MW/		GER %	MW/	MW/	Mvar/
NOME		ANG	Mvar/	Mvar		EQV %	Mvar	Mvar		EQUIV
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X										
934	0	2	0.956	0.0	0.0	0.0	226.7	0.0	0.0	0.0
AREIA---	230		-6.8	0.0	0.0	0.0	53.9	0.0	0.0	0.0
959	0	1	0.965	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.1	0.0
CURITIBA-	500		-26.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
895	0	1	0.962	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BATEIAS--	500		-25.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
939	0	1	0.995	0.0	0.0	0.0	1143.8	0.0	247.7	0.0
BLUMENAU-	230		-37.1	0.0	0.0	0.0	52.6	0.0	0.0	0.0
814	0	1	0.954	0.0	0.0	0.0	702.7	0.0	0.0	0.0
BATEIAS--	230		-28.2	0.0	0.0	0.0	174.0	0.0	0.0	0.0
960	0	1	0.957	0.0	0.0	0.0	809.0	0.0	0.0	0.0
CURITIBA-	230		-29.9	0.0	0.0	0.0	429.5	0.0	0.0	0.0

Figura 4.15 – Relatório de barras com inserção de capacitores

4.4.3.4 Análise da contingência 4

A indisponibilidade desse circuito provoca subtensão no barramento de 230kV de Areia, conforme mostra o relatório de monitoração de tensão na Figura 4.16.

MONITORAÇÃO DE TENSÃO									
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X									
BARRA			TENSAO			VIOLACAO	SHUNT	SEVERIDADE	
NUM.	NOME	AR	MIN	MOD.	MAX	(PU)	(Mvar)		
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X									
934	AREIA----	230	2	0.950	0.931	1.050	-0.019	**	
----- IND SEVER.			3.5	-----					

Figura 4.16 – Relatório de monitoração de tensão

Esse valor ficou abaixo do valor mínimo de operação em regime normal, podendo implicar em perda natural de carga por baixa tensão. Porém, em condições de emergência, supõe-se que a carga suporte até 0,90 pu de tensão.

Em casos de violação de tensão, as primeiras ações devem ser tomadas nos equipamentos adjacentes à barra com tensão violada. A análise do sistema revela que a melhor alternativa disponível para corrigir o problema é elevar a tensão de excitação das máquinas da UHE Salto Osório, por ser o recurso disponível mais próximo do ponto do sistema com tensão baixa.

Desta forma, foi elevada a tensão terminal da UHE Salto Osório de 1,020 pu para 1,040 pu, aumentando a geração de potência reativa fornecida ao sistema para melhorar os níveis de tensão.

A medida tomada produziu o efeito desejado, colocando a tensão do barramento de 230kV de Areia no seu limite mínimo operativo, conforme mostra a Figura 4.17.

RELATÓRIO DE BARRAS CA DO SISTEMA											
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X											
BARRA			TENSAO	GERACAO	INJ	EQV	FATOR	CARGA	ELO CC	SHUNT	MOTOR
NUM.	TP	AR	MOD/	MW/	MW/		GER %	MW/	MW/	Mvar/	MW/
NOME			ANG	Mvar/	Mvar		EQV %	Mvar	Mvar	EQUIV	Mvar
				CE	Mvar	SHUNT L					
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X											
934	0	2	0.953	0.0	0.0	0.0	237.0	0.0	0.0	0.0	
AREIA----		230	1.5	0.0	0.0	0.0	59.0	0.0	0.0	0.0	

Figura 4.17 – Relatório de barra

4.4.3.5 Análise da contingência 5

A indisponibilidade desse circuito não é resolvida pelo programa de fluxo de potência dentro do número de iterações especificado. A análise da rede do sistema mostra que esta contingência deixa toda a parte de 230kV radializada pelo transformador 500/230 kV de Assis, dificultando o atendimento das cargas desse ramal que estão mais distantes.

A opção de controle do programa QLIM (controle de reativo) foi desligada, o que permitiu obter uma solução numérica, como mostra a Figura 4.18.

MONITORAÇÃO DE TENSÃO							
X-----X-----X-----X-----X-----X							
BARRA		TENSÃO		VIOLACAO		SHUNT	SEVERIDADE
NUM.	NOME	AR	MIN	MOD.	MAX	(PU)	(Mvar)
X-----X-----X-----X-----X-----X							
898	FCHOPI--230	2	0.950	0.946	1.050	-0.004	*
848	FCHOPI--138	2	0.950	0.929	1.050	-0.021	***
896	CASCAVEL0500	2	0.950	0.821	1.090	-0.129	*****
839	CASCAVEL-230	2	0.950	0.803	1.050	-0.147	*****+
840	CASCAVEL-138	2	0.950	0.792	1.050	-0.158	*****+
2458	CASCAVEL-230	2	0.950	0.790	1.050	-0.160	*****+
----- IND SEVER. 892.1 -----							

Figura 4.18 – Relatório de monitoração de tensão

Analisando os resultados da Figura 4.18, observam-se subtensões inadmissíveis na região do sistema afetada pela contingência.

A seguir, foi feita outra avaliação em que se alterou a representação de carga para 75% da potência ativa e 100% da potência reativa variando com o quadrado da tensão, mantendo todas as opções de controle do programa ativadas. A Figura 4.19 mostra o relatório de monitoração de tensão dessa situação.

MONITORAÇÃO DE TENSÃO									
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X									
NUM.	BARRA NOME	AR	MIN	TENSAO MOD.	MAX	VIOLACAO (PU)	SHUNT (Mvar)	SEVERIDADE	
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X									
919	SOSOR1A4-4GR	2	0.950	0.925	1.050	-0.025		***	
1047	SOSORIO--230	2	0.950	0.914	1.050	-0.036		****	
840	CASCADEL-138	2	0.950	0.910	1.050	-0.040		****	
898	FCHOPIM--230	2	0.950	0.896	1.050	-0.054		*****	
839	CASCADEL-230	2	0.950	0.801	1.050	-0.149		*****++	
2458	CASCADEL-230	2	0.950	0.792	1.050	-0.158		*****++	
896	CASCADELO500	2	0.950	0.720	1.090	-0.230		*****++	
----- IND SEVER. 1060.0 -----									

Figura 4.19 – Relatório de monitoração de tensão

Analisando os resultados da Figura 4.19, observa-se também a ocorrência de subtensões inadmissíveis na região do sistema atingida pela contingência. Neste caso, as duas avaliações foram importantes para ajudar a identificar os problemas que ocorreram no sistema por conta da contingência. A queda de tensão observada é consequência da alta impedância vista pelo sistema com essa nova configuração. As medidas corretivas que podem ser adotadas são: conectar capacitores e/ou desligar reatores, aumentar a tensão de excitação da máquina de Salto Osório e, se não for suficiente, efetuar cortes de carga nas barras de carga da área afetada pela contingência, que estiverem apresentando menores valores de tensão.

Devido à topologia do sistema, a ocorrência desta contingência permite avaliar uma situação muito interessante como se descreve a seguir. Admita-se que a única medida disponível para recuperar o perfil de tensão no sistema fosse o corte de carga. Esse corte de carga deve ser realizado na barra de carga mais ao extremo do radial, neste caso em Cascavel do Oeste, barra 2458, pois com isso, corta-se um montante de carga bem menor para evitar uma situação mais crítica, como uma instabilidade ou colapso de tensão. Por outro lado, se o corte for efetuado em cargas que estão antes desse radial, o montante de corte necessário para obter o mesmo resultado é muito maior. A seguir, são mostradas na Tabela 4.9 as tensões nas barras de carga após um corte de carga de 20 % na carga da barra 2458, equivalente a 80,6 MW e 25,2 Mvar (caso 1), e as tensões nas barras de carga após um corte de carga de 50% nas cargas das barras 960 (Curitiba) e 814 (Bateias), totalizando 790 MW e 330 Mvar (caso 2), sendo utilizada nos dois casos, uma

representação de carga onde 75% da potência ativa e 100% da potência reativa estão variando com o quadrado da tensão.

Tabela 4.9 – Tensão nas barras de carga após corte de carga

Barra	Tensão (pu)	
	Caso-1	Caso-2
814	0.998	1.000
1210	0.997	1.004
939	0.998	1.005
960	0.998	1.000
965	0.997	1.005
840	0.997	0.911
848	1.007	1.007
934	0.996	1.000
2458	0.980	0.793

Observa-se que o resultado apresentado na Tabela 4.9 mostra que no caso 1, onde foi feito um corte de carga localizado, as tensões ficaram dentro da faixa operativa, conduzindo o sistema para uma condição melhor de operação. Enquanto que no caso 2, mesmo realizando um corte de carga muito maior, as tensões na área do sistema que foi afetada pela contingência ficaram em níveis críticos, podendo acarretar saída natural de carga por baixa tensão.

Comparando as duas situações, no primeiro caso o montante de corte necessário foi muito menor que no segundo caso, o que mostra que nesse tipo de problema, deve-se atuar diretamente no ponto onde a tensão está baixa. Neste caso, o grande problema ocorre numa região do sistema que ficou radializada pela contingência, e cortar carga fora do radial não reduz o carregamento nessas linhas que está provocando a queda de tensão.

4.4.3.6 Análise da contingência 6

A indisponibilidade desse circuito também não é resolvida pelo programa de fluxo de potência dentro do número máximo de iterações especificado e nas condições estabelecidas para o estudo.

Para avaliar o grau de severidade desta contingência, foi feita uma simulação considerando condições mais favoráveis, com as cargas modeladas com 50% da potência

ativa e 100% da potência reativa variando com o quadrado da tensão e todas as opções de controle do programa desligadas. Mesmo com esta flexibilização, a solução encontrada pelo programa não atende aos requisitos mínimos de tensão requeridos para uma operação adequada do sistema. As Figuras 4.20, 4.21 e 4.22 mostram os resultados de monitoração com as violações ocorridas.

MONITORAÇÃO DE TENSÃO							
NUM.	BARRA NOME	AR	MIN	TENSAO MOD.	MAX	VIOLACAO (PU)	SHUNT (Mvar) SEVERIDADE
939	BLUMENAU-230	1	0.950	0.941	1.050	-0.009	*
934	AREIA---230	2	0.950	0.940	1.050	-0.010	*
965	CAXIAS---230	1	0.950	0.919	1.050	-0.031	****
1210	GRAVATAI-230	2	0.950	0.915	1.050	-0.035	****
----- IND SEVER.			23.5	-----			

Figura 4.20 – Relatório de monitoração de tensão

MONITORAÇÃO DE GERAÇÃO REATIVA							
NUM.	BARRA NOME	TP	AR	MINIMA	GERACAO Mvar	VIOLACAO LIM Mvar	
919	SOSOR1A4-4GR	1	2	-148.0	307.7	220.0	87.7 SUP
---- IND SEVER.			20.9	----			

Figura 4.21 – Relatório de monitoração de geração reativa

MONITORAÇÃO DE FLUXOS								
DA BARRA NOME	PARA BARRA NOME	NC	MW	FLUXOS Mvar	MVA	VIOLACAO MVA	CARREGAMENTO %	SEVERIDADE
1060	995	1	2615.6	524.8	2667.8	557.8	***	126.43 %
SSANTIAG-525	ITA-----525	1	2615.6	524.8	2667.8	557.8	***	126.43 %
896	2458	1	671.6	141.8	686.4	86.4	**	114.41 %
CASCAVEL0525	CASCAVEL-230	1	671.6	141.8	686.4	86.4	**	114.41 %
1047	934	2	364.0	65.4	369.8	50.8	**	115.93 %
SOSORIO--230	AREIA----230	2	364.0	65.4	369.8	50.8	**	115.93 %
1047	934	1	363.5	65.2	369.3	50.3	**	115.78 %
SOSORIO--230	AREIA----230	1	363.5	65.2	369.3	50.3	**	115.78 %
----- IND SEVER.			5.6	-----				

Figura 4.22 – Relatório de monitoração de fluxo

Uma possível solução a ser avaliada para colocar as tensões dentro de seus limites operativos é o chaveamento de capacitores nas barras de 230kV de Blumenau e Gravataí. Outra alternativa seria aumentar a tensão de excitação nas máquinas do sistema, porém no caso em estudo, essas tensões já estão próximas do seu valor máximo em praticamente todos os geradores do sistema. Quanto às sobrecargas nas linhas, duas possibilidades podem ser avaliadas. Uma seria a relocação de geração entre as áreas, ou seja, reduzir geração nas usinas da área B e aumentar nas usinas da área A. Esta medida está condicionada à disponibilidade de recursos de geração nas usinas envolvidas e também ao tempo necessário para realizar essa operação. A outra medida seria o corte de carga, que aliviaria o carregamento nas linhas e, conseqüentemente, diminuiria a queda de tensão no sistema.

Avaliando a alternativa de inserção de capacitores para recuperação do perfil de tensão, foram conectados 250 Mvar em Blumenau e 300 Mvar em Gravataí. Essa medida colocou as tensões do sistema dentro da faixa operativa. Quanto ao carregamento nas linhas, não houve melhora significativa, sendo necessário aplicar medidas corretivas para reduzir o carregamento. Considerando a disponibilidade de recursos de geração na área A, foi elevada a sua geração em 700 MW e reduzido o mesmo montante na área B. Observou-se que essa medida provocou uma redução nas sobrecargas, em contrapartida ocorreram tensões altas nos barramentos de 500kV de Caxias e C. Novos e no barramento de 230kV de Blumenau. Desta forma, a melhor solução para resolver o problema consiste na combinação das medidas citadas.

4.4.3.7 Análise da contingência 7

A indisponibilidade desse circuito não acarreta maiores problemas, sendo facilmente assimilada pelo sistema, sem prejuízo para as tensões e carregamentos.

4.4.3.8 Avaliação das análises realizadas

Não foram exploradas todas as contingências possíveis para este sistema, apenas aquelas consideradas como as mais significativas. As avaliações realizadas indicaram situações que exigiram medidas corretivas para manter o sistema operando. Uma das recomendações para uma adequada operação desse sistema, seria a definição de um limite

máximo de intercâmbio que permita operar o sistema com segurança, numa eventual perda de um elemento. No capítulo referente à análise do regime transitório, este sistema será avaliado neste ponto de operação, onde serão aplicadas as contingências que apresentaram maiores problemas, para observar se as medidas tomadas nesse estudo de regime permanente são também aplicáveis ao sistema sob o enfoque transitório.

4.4.4 Ajuste em Tape de Transformador

Existem vários tipos de transformadores que são aplicados em sistema de potência. Eles se classificam como transformador com dois enrolamentos, com três enrolamentos e autotransformador. Podem ser trifásicos ou monofásicos. Estes últimos são usados em bancos de transformadores, sendo mais flexíveis do ponto de vista da manutenção e confiabilidade do sistema. Outro tipo são os defasadores que tem aplicação específica num sistema de potência.

Os transformadores são equipamentos usados para conectar dois sistemas com tensões diferentes. De certa forma eles têm a função de isolar um sistema do outro, também são utilizados para transferir potência de usinas para a carga através da elevação da tensão terminal do gerador. Além destas funções, eles controlam a tensão dos dois sistemas através dos tapes que são partes dele.

Os tapes dos transformadores podem ser: fixos e variáveis. Os transformadores com tapes fixos são usados geralmente em usinas geradoras e normalmente têm um número pequeno de tapes, como por exemplo cinco tapes. Também podem ser aplicados ao longo do sistema de potência, porém ficam sujeitos à baixa flexibilidade no controle de tensão. A modificação do tape só pode ocorrer mediante o desligamento do transformador (desenergização) e é definida através de estudos específicos.

Os transformadores com tapes variáveis, denominados de LTC's, variam o tape em carga (energizados). São aplicados próximos ou junto à carga, ou ao longo do sistema de potência, onde aumenta a flexibilidade operacional, melhorando o controle de tensão.

No sistema elétrico brasileiro existem muitos transformadores que possuem comutadores de tape sob carga (LTC) com até 32 posições de tape e uma posição central. Esses equipamentos são dispositivos eletromecânicos que podem operar tanto no modo de

controle automático como no modo de controle manual. Muitas empresas de energia elétrica no Brasil operam seus equipamentos no controle manual, em razão da tensão no sistema variar lentamente ao longo de um período do dia, com pequenas oscilações de valores, não justificando seu uso no modo automático, por provocar um desgaste maior no equipamento em função da quantidade de chaveamentos.

O transformador controla o fluxo de potência reativa do sistema através da variação do tape, conseqüentemente modificando a magnitude da tensão. Serão realizadas duas ilustrações práticas com o objetivo de mostrar a influência do tape no controle de tensão.

No primeiro exemplo, será considerado o transformador com LTC de 345/230 kV do sistema-teste de 16 barras, descrito no item 3.4 do Capítulo 3, conectado entre as barras 8 e 10, com dois enrolamentos, operando no modo manual e 32 posições de tapes. Em seguida serão feitas algumas variações nas posições do tape desse transformador, processando o fluxo de potência com os principais controles ativados, observando a influência nas tensões dos lados de baixa e de alta e nos fluxos de potência ativa e reativa que atravessam os enrolamentos do transformador.

O segundo exemplo considerará dois transformadores iguais, com os mesmos valores nominais de potência e reatância, ligados em paralelo, porém com posições diferentes dos tapes. Nesta situação, será observado o efeito deste tipo de ajuste no funcionamento do equipamento.

Passamos ao estudo do primeiro exemplo. Na verdade, o que esses dispositivos fazem é mudar a relação de espiras dos enrolamentos do transformador, conforme a expressão (4.1).

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (4.1)$$

Onde:

V_1 - corresponde a tensão no lado de alta tensão;

V_2 - corresponde a tensão no lado de baixa tensão;

N_1 - corresponde ao numero de espiras no lado de alta tensão;

N_2 - corresponde ao numero de espiras no lado de baixa tensão.

No exemplo a ser estudado, caso de carga pesada do **sistema-teste de 16 barras**, é analisado um transformador com relação de transformação de 345/230kV, 32 posições de tape, operando no tape 0,967. O carregamento e a tensão nesta condição de operação são mostrados na Figura 4.23. O tape em comutação sob carga está ligado no enrolamento do lado de alta tensão (345kV). A razão dos tapes dos transformadores ficarem no lado de alta tensão é não chavear correntes elevadas, evitando desgastes dos contatos e aumentando o tempo de vida útil do dispositivo de tape.

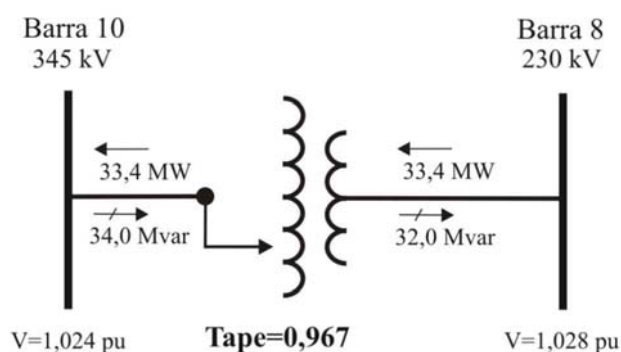


Figura 4.23 – Posição inicial do tape no transformador LTC

A Tabela 4.10 mostra os efeitos provocados quando da variação do tape para as posições 0,980 pu, 1,000 pu e 1,020 respectivamente, considerando para sentido do fluxo a seguinte convenção de sinais: sinal positivo indica fluxo saindo da barra e sinal negativo indica fluxo entrando na barra.

Tabela 4.10 – Condição após ajuste no tape ligado na barra de alta tensão

Lado de Alta Tensão				Lado de Baixa Tensão		
Tape	Tensão (pu)	Fluxo Ativo (MW)	Fluxo Reativo (Mvar)	Tensão (pu)	Fluxo Ativo (MW)	Fluxo Reativo (Mvar)
0,980	1,032	-33,4	+29,8	1,026	+33,4	-28,0
1,000	1,044	-33,3	+23,5	1,022	+33,3	-22,0
1,020	1,055	-33,3	+17,4	1,018	+33,3	-16,1

Observa-se que o lado do transformador que controla a tensão é aquele que dispõe de uma fonte maior de reativo para manter a tensão, neste caso, o lado de 230kV que possui um compensador síncrono ligado à barra 9 e próximo a ela um gerador ligado à barra 16. Desta forma, a tensão do lado mais forte tende a ficar fixa enquanto que a do lado mais fraco a variar conforme a relação de tapes.

Agora, é considerado o comutador de tape ligado no lado de baixa tensão. A Tabela 4.11 mostra os efeitos provocados quando da variação no tape para as posições 1,020 pu e 1,000 pu respectivamente.

Tabela 4.11 – Condição após ajuste no tape ligado na barra de baixa tensão

Lado de Alta Tensão			Lado de Baixa Tensão			
Tensão (pu)	Fluxo Ativo (MW)	Fluxo Reativo (Mvar)	Tape	Tensão (pu)	Fluxo Ativo (MW)	Fluxo Reativo (Mvar)
1,034	-33,1	+30,0	1,020	1,026	+33,1	-28,1
1,045	-33,3	+24,1	1,000	1,022	+33,3	-22,6

Comparando os resultados, as simulações confirmam que a tensão que vai variar, não depende do lado onde está colocado o tape, mas sim do lado que dispõe de mais reativo para injetar no sistema.

No segundo exemplo, foram utilizadas as duas unidades transformadoras de 500/345 kV de Adrianópolis do sistema-teste de 107 barras, descrito no item 3.7 do capítulo 3, por este ser um ponto do sistema afastado das principais fontes de reativos. Como as reatâncias desses equipamentos são diferentes, foi utilizado o valor médio entre elas para que os montantes de fluxo passando nos transformadores fossem iguais. A Figura 4.24 mostra as condições iniciais com os dois transformadores ajustados no tape 1,000 pu.

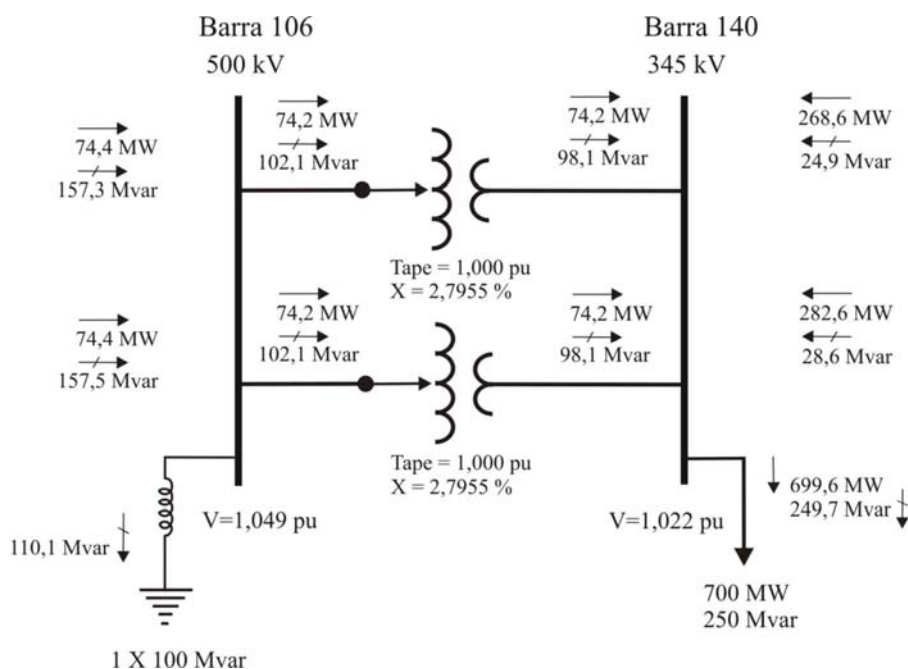


Figura 4.24 – Condições com os tapes iguais

Em seguida os tapes foram alterados para 0,97 e 1,03 respectivamente, conforme mostra a Figura 4.25.

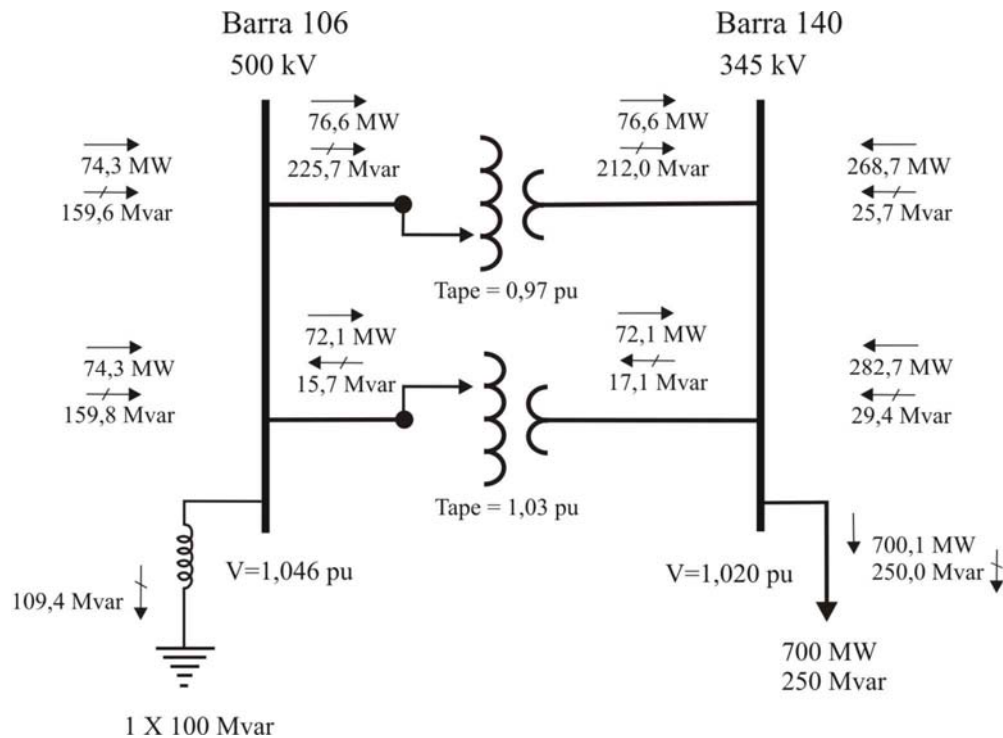


Figura 4.25 – Condições com os tapes diferentes

A Figura 4.26 mostra outra situação considerada, onde os tapes foram ajustados em seus extremos, um na posição de tape máximo e outro de mínimo.

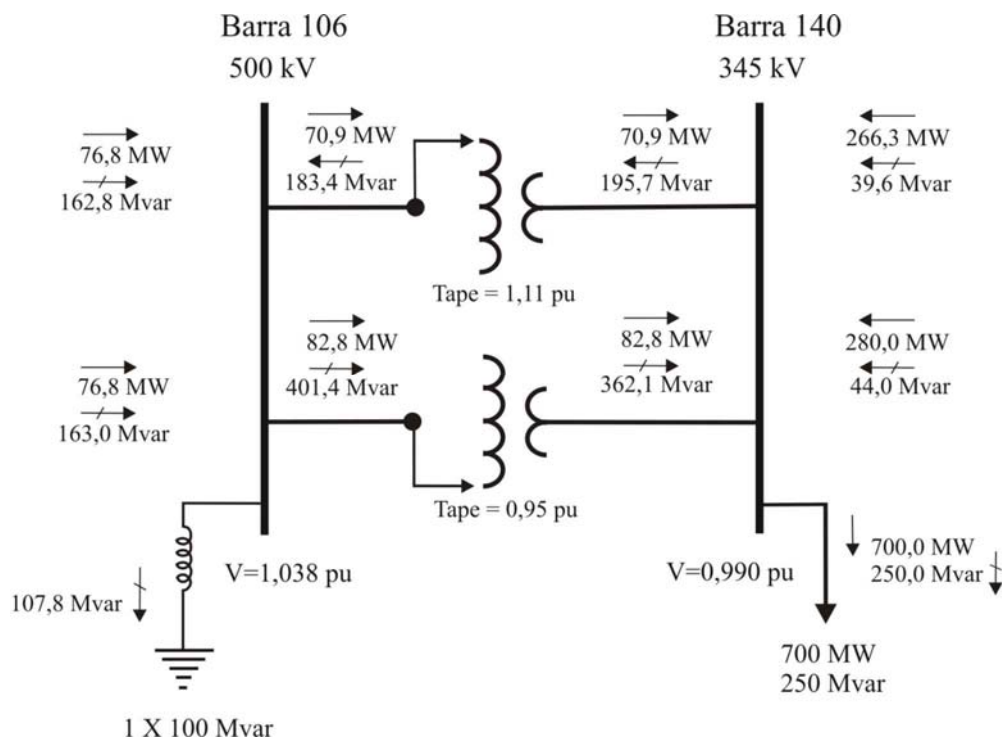


Figura 4.26 – Condições com os tapes nos extremos opostos

Através das diferentes variações de tapes mostradas nas Figuras 4.25 e 4.26, cria-se um desbalanço nos valores das reatâncias alterando a relação de transformação. Esse artifício ajuda no controle de tensão de um sistema operando em carga leve e mínima, pois enclausura uma parte do reativo que vem do sistema para a carga, ocorrendo uma circulação de reativos entre os transformadores. Neste modo de operação, deverá ser observado o carregamento dos transformadores para evitar sobrecarga em um deles, devido ao valor de potência reativa que ficarão submetidos.

4.4.5 Adição de um Elo de Corrente Contínua no Sistema-Teste 107 barras

Para transmissão de grande quantidade de energia a longas distâncias em linhas aéreas pode ser aplicado um sistema de transmissão de corrente contínua de alta tensão, por ser uma alternativa competitiva à transmissão em corrente alternada para distâncias superiores a 600 km [15].

A interligação entre a área Sul e a área Sudeste do sistema-teste brasileiro de 107 barras é feita através de dois circuitos em 500kV que ligam as subestações de Bateias, na região Sul, à Ibiúna, na região Sudeste. Para aumentar a capacidade de intercâmbio de

energia entre essas áreas, face à diversidade hidrológica dos subsistemas Sul e Sudeste, que impõe cenários operativos diferentes, foi instalado um elo de corrente contínua bidirecional de 2 pólos, 60/60Hz, conectando a subestação de Itumbiara, no Sudeste, à subestação de Salto Santiago, no Sul, sendo estes locais escolhidos por representarem dois centros marcantes de geração. Este elo possui capacidade máxima de transmissão de potência de 1566MW em ambos os sentidos, e tem como objetivo escoar blocos de potência diretamente de um ponto ao outro.

Neste estudo serão analisadas as condições do sistema em regime permanente após a inclusão do elo, transmitindo 1500MW de potência tanto no sentido Sul para o Sudeste quanto no sentido inverso, conforme mostra a Figura 4.27. Este valor corresponde praticamente ao valor máximo nominal de capacidade de transmissão, o que permite avaliar o funcionamento do elo em condições próximas do máximo carregamento.

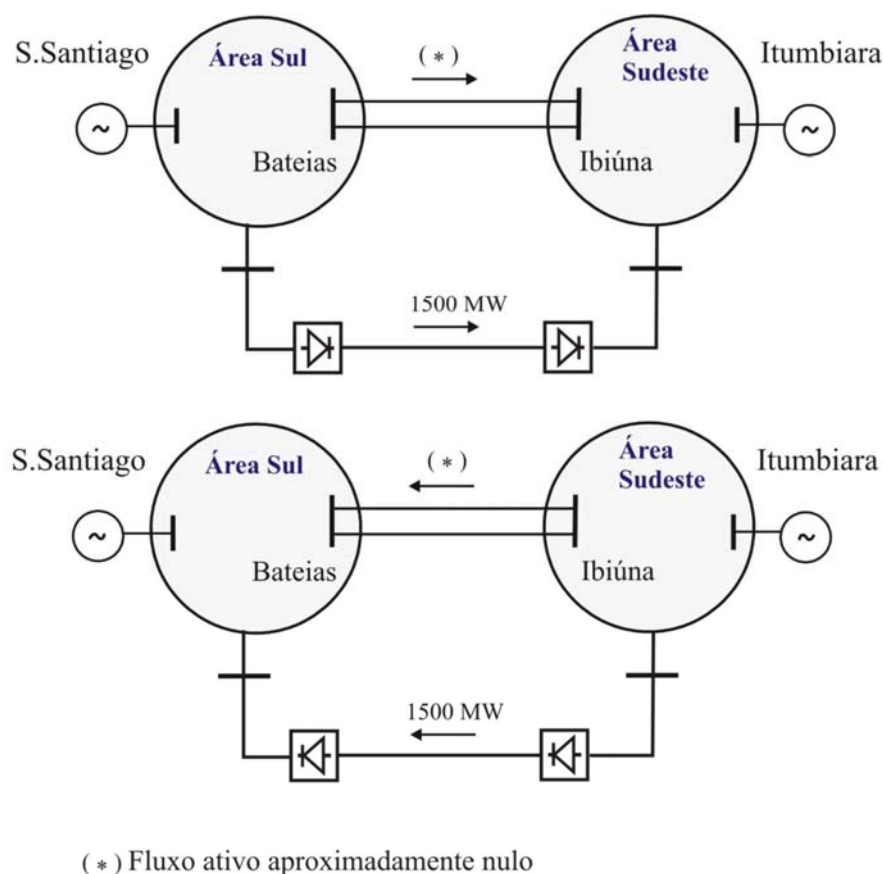


Figura 4.27 – Intercâmbio entre as áreas Sul e Sudeste com o elo CC

Para comparar o desempenho do sistema com e sem o elo CC, o caso base do sistema-teste de 107 barras sem elo foi ajustado com o mesmo despacho de geração das

usinas do caso com o elo de corrente contínua, buscando com isso estabelecer as mesmas condições de intercâmbio. No processo de ajuste dos casos, foi necessário inserir capacitores para melhorar o perfil de tensão e reduzir o fluxo de potência reativa nas linhas para evitar sobrecarga. Mesmo com essas medidas, o máximo intercâmbio de potência ativa obtida entre os dois subsistemas, tanto num sentido quanto no outro, ficou abaixo dos 1500 MW transmitidos pelo elo CC, conforme mostra a Tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Condição após ajuste dos casos sem elo CC

Sentido do Fluxo	Intercâmbio (MW)	Local de Medição
Sul → Sudeste	1332,2	Bateias
Sudeste → Sul	1113,0	Ibiúna

As simulações realizadas no caso que possui o elo CC mostraram comparativamente à condição sem esta linha que, em regime permanente este *link* CC reduz o carregamento na LT Ibiúna-Bateias C.1 e C.2 e conseqüentemente em outras linhas do sistema, proporcionando uma redução das perdas e melhorando o perfil de tensão, além de aumentar significativamente a capacidade de intercâmbio de energia entre as regiões. As Figuras 4.28 e 4.29 mostram o fluxo na interligação e a tensão na barra de 500 kV de Bateias para o caso com elo e sem elo respectivamente, considerando a área Sul exportadora e a área Sudeste receptora de energia.

RELATÓRIO DE CIRCUITOS CA DO SISTEMA												
Sul exportando 1500MW pelo elo CC												
X---	DADOS-BARRA	----	X-----	CARGA	-----	X-----	GERACAO	-----	X-----			
DA BARRA	TENSAO	>	MW	Mvar	>	MW	Mvar					
NUM. KV TIPO	MOD	PARA BARRA	F L U X O S	-	C I R C U I T O S							
NOME	ANG	NUM.	NOME	NC	MW	Mvar	TAP	DEFAS	TIE			
X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----
895	1 0	1.081										
BATEIAS--500	-31.6											
17.3%		122	IBIUNA--500	1	16.4	-241.7				01		
17.3%		122	IBIUNA--500	2	16.4	-241.7				01		
59.7%		814	BATEIAS--230	1	371.2	110.6						
58.8%		814	BATEIAS--230	2	364.9	109.6						
43.6%		933	AREIA----500	1	-990.8	90.7						
12.3%		959	CURITIBA-500	1	222.0	172.5						

Figura 4.28 – Fluxo na interligação sentido área Sul para área Sudeste com o elo CC

RELATÓRIO DE CIRCUITOS CA DO SISTEMA												
Sul --> Sudeste (mesmo despacho do caso com Elo)												
X---	DADOS-BARRA	----	X-----	CARGA	-----	X-----	GERACAO	-----	X-----			
DA BARRA	TENSAO	>	MW	Mvar	>	MW	Mvar					
NUM. KV TIPO	MOD	PARA BARRA	F L U X O S	-	C I R C U I T O S							
NOME	ANG	NUM.	NOME	NC	MW	Mvar	TAP	DEFAS	TIE			
X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----
895	1 0	0.978										
BATEIAS--500		-9.2										
58.2%			122 IBIUNA--500	1	666.1	-321.8				01		
58.2%			122 IBIUNA--500	2	666.1	-321.8				01		
66.2%			814 BATEIAS--230	1	371.3	114.0						
65.1%			814 BATEIAS--230	2	365.0	112.9						
74.5%			933 AREIA--500	1	-1525.0	188.8						
28.6%			959 CURITIBA-500	1	-543.5	227.9						

Figura 4.29 – Fluxo na interligação sentido área Sul para área Sudeste sem o elo CC

As Figuras 4.30 e 4.31 mostram a mesma situação, sendo a tensão da barra de 500 kV de Ibiúna e o intercâmbio ocorrendo da área Sudeste para área Sul.

RELATÓRIO DE CIRCUITOS CA DO SISTEMA												
Sudeste exportando 1500MW pelo elo CC												
X---	DADOS-BARRA	----	X-----	CARGA	-----	X-----	GERACAO	-----	X-----			
DA BARRA	TENSAO	>	MW	Mvar	>	MW	Mvar					
NUM. KV TIPO	MOD	PARA BARRA	F L U X O S	-	C I R C U I T O S							
NOME	ANG	NUM.	NOME	NC	MW	Mvar	TAP	DEFAS	TIE			
X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----
122	1 0	1.070	>	200.0MW	38.0MVAR							
IBIUNA--500		-52.0										
27.5%			86 IBIUNA--345	1	14.8	220.4						
27.5%			86 IBIUNA--345	2	14.8	220.4						
12.7%			103 CAMPINAS-500	1	-218.3	60.4						
19.4%			895 BATEIAS--500	1	-5.6	-269.6				02		
19.4%			895 BATEIAS--500	2	-5.6	-269.6				02		

Figura 4.30 – Fluxo na interligação sentido área Sudeste para área Sul com o elo CC

RELATÓRIO DE CIRCUITOS CA DO SISTEMA														
Sudeste --> Sul (mesmo despacho do caso com Elo)														
X--- DADOS-BARRA ----X----- CARGA -----X----- GERACAO -----X														
DA BARRA		TENSAO		>	MW		Mvar		>	MW		Mvar		
NUM. KV TIPO		MOD	PARA BARRA		F L U X O S		-	C I R C U I T O S						
NOME		ANG	NUM.	NOME	NC	MW	Mvar	TAP	DEFAS	TIE				
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X														
122	1	0	1.053	>	200.0MW	38.0MVAR								
IBIUNA---		500	-81.2											
31.4%				86	IBIUNA---	345	1	-163.1	186.6					
31.4%				86	IBIUNA---	345	2	-163.1	186.6					
58.0%				103	CAMPINAS-	500	1	-986.9	244.9					
47.2%				895	BATEIAS--	500	1	556.5	-328.0				02	
47.2%				895	BATEIAS--	500	2	556.5	-328.0				02	

Figura 4.31 – Fluxo na interligação sentido área Sudeste para área Sul sem o elo CC

De modo geral, esta avaliação mostrou que a adição do elo CC melhorou o desempenho da interligação Sul/Sudeste, proporcionando uma operação mais segura desse sistema, devido principalmente ao fato de levar o conjunto de geração de uma região para outra e manter o miolo do sistema CA liberado para atendimento de cargas. Com o elo CC, o intercâmbio de energia, passou a ser feito exclusivamente pela linha de transmissão em corrente contínua.

4.5 SUMÁRIO

Este capítulo exemplificou o uso dos sistemas-teste propostos de 9, 16, 33 e 107 barras em estudos de regime estacionário em condições normais.

Os estudos de fluxo de potência são importantes porque fornecem informações que auxiliam na avaliação de desempenho, na definição de estratégias quanto à operação, expansão e análise de ocorrências, além de fornecer subsídios para outros tipos de estudos, que necessitam da condição inicial para sua realização.

Apenas a montagem e convergência do caso não são suficientes. Deve-se ajustar o caso de modo a que: as tensões nos barramentos e os carregamentos nas linhas e transformadores estejam dentro dos limites operativos; os geradores estejam despachados

mantendo alguma margem de potência, os compensadores síncronos estejam absorvendo pouco ou gerando próximo de zero.

As simulações realizadas encontram-se registradas nos arquivos dentro da pasta “Capítulo 4” no CD em apenso.

* * *