



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

GPL – 19  
16 a 21 Outubro de 2005  
Curitiba - Paraná

**GRUPO VII  
GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMA ELÉTRICO - GPL**

**DEFINIÇÃO DOS REFORÇOS NA REGIÃO SUDESTE ASSOCIADOS  
À AMPLIAÇÃO DA INTERLIGAÇÃO NORTE-SUL (NORTE-SUL 3)**

**Edna Maria A. Araújo Sebastião Vidigal F. Júnior\* - CEMIG  
Frederico Penna Pereira Maria Alzira N. Silveira Márcio Goldenberg Sereno – FURNAS  
Marcos Affonso dos Santos - CTEEP  
Carlos Eduardo V. M. Lopes Paulo Max M. Portugal Washington Fernandes Alves - ELETROBRAS**

**RESUMO**

A primeira Interligação Norte - Sul, que entrou em operação em março de 1999, permitiu a conexão elétrica das regiões Norte e Nordeste do país com a região Sudeste, através de aproximadamente 1000 km de linhas de transmissão em 500 kV, ligando a SE Imperatriz, no Maranhão, a SE Serra da Mesa, em Goiás. Esta interligação possibilitou um ganho energético significativo para o país, devido à operação otimizada das diferentes bacias hidrográficas.

A implantação do segundo circuito da interligação (Norte-Sul 2) permitiu elevar a capacidade de transporte pelos dois circuitos do tronco Imperatriz - Serra da Mesa. No entanto, com a entrada em operação da UHE Lajeado (850 MW), pertencente ao sistema da região Sudeste, houve uma drástica redução do limite de intercâmbio, tendo em vista que o trecho Miracema - Gurupí foi compartilhado com o escoamento dessa usina.

Além dessa limitação de intercâmbio, a entrada das usinas previstas para o Tocantins e a implantação da fase II da usina de Tucuruí, prevista para 2007, exigem o aumento da capacidade de intercâmbio Norte - Sul e Norte - Nordeste e a implantação de novas obras de reforço nos sistemas receptores. A definição dos reforços Norte-Sul 3 foi objeto de estudos de expansão no âmbito do CCCPE/CTET (1) e é apresentada no presente artigo.

**PALAVRAS-CHAVE**

Norte-Sul, Sudeste, Reforços, Ampliação, Expansão.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Na primeira interligação Norte-Sul foram associados, como reforços ao sistema Sudeste, apenas o segundo circuito de 500 kV Serra da Mesa – Samambaia e o segundo banco de transformadores 500-345 kV, 1050 MVA, da SE Samambaia. Nesta etapa, o fluxo máximo praticado na Interligação foi de 800 MW, limitado para evitar possíveis problemas de estabilidade transitória.

No segundo circuito da interligação Norte-Sul foram recomendados um conjunto de reforços no sistema de transmissão da região Sudeste (2) composto, basicamente, por linhas de 500 kV, especificamente o terceiro circuito da LT Serra da Mesa - Samambaia, a LT Samambaia - Emborcação, a LT Samambaia - Itumbiara e a LT Itumbiara – Marimondo, além das compensações série dos três circuitos Serra da Mesa-Samambaia, do segundo banco de auto transformadores 500/440 kV, 750 MVA, da SE Água Vermelha e do terceiro banco de transformadores 500-345 kV, 1050 MVA, da SE Samambaia.

\*Av. Barbacena 1200 – 12º Andar - CEP 30190-131 – Belo Horizonte - MG - BRASIL  
Tel.: (031) 3299-4807 - Fax: (031) 3299-2943 - e-mail: svidigal@cemig.com.br

A configuração proposta na Interligação Norte-Sul 2 deveria acomodar 2500 MW de intercâmbio, considerando a geração das usinas de Serra da Mesa e Cana Brava. No entanto, apesar dos reforços implantados, limitações impostas pelas capacidades dos equipamentos de compensação reativa série, conforme Tabela 1, associadas à necessidade de escoamento da usina de Lajeado (850 MW), fazem com que a Interligação já presente, hoje, limitações significativas de intercâmbio.

TABELA 1 – Limites dos Capacitores Série existentes da Interligação Norte-Sul

Trecho da Interligação	Regime Normal (MVA)*	Sobrecarga 30 min (MVA)*
Imperatriz-Serra da Mesa	1300	1950
Serra da Mesa-Samambaia - Circuito 1	1204	1625
Serra da Mesa-Samambaia - Circuito 2, 3	1410	1904

\*Para 1 pu de tensão

A entrada de novas unidades geradoras na usina de Tucuruí, fase II, disponibilizará uma capacidade de geração de 4125 MW em 2007, que somados aos atuais 4200 MW, totalizarão 8325 MW. Deste montante, dependendo da condição de carga e do despacho de Tucuruí, cerca de 50% poderão ser considerados excedentes para exportação. Além disso, a entrada das usinas previstas para o Médio Tocantins exigirá um aumento da capacidade de intercâmbio Norte-Sul e Norte - Nordeste e, por conseqüência, novas obras de reforço nos sistemas receptores. Avaliações energéticas realizadas pelo CTDO (3) indicaram que há atratividade para uma nova ampliação da interligação Norte-Sul, tanto isoladamente como em conjunto com a ampliação da interligação Norte-Nordeste, a partir de janeiro de 2007.

A definição dos reforços para a região Sudeste, abaixo de Gurupi, foi desenvolvida pelo CCPE e é apresentada a seguir.

## 2.0 - DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS

Os cenários utilizados para as análises de fluxo foram aqueles que, através das simulações energéticas, apresentaram significativa probabilidade de ocorrência e solicitaram expressivamente a interligação Norte-Sul, além de serem mais críticos, do ponto de vista de impactos no sistema de transmissão da região Sudeste.

### 2.1 Cenário 1 ⇒ Norte Exportador e Sudeste Máximo Importador.

Neste cenário, as usinas de Tucuruí I e II foram consideradas despachadas com cerca de 95% da potência instalada (8000 MW) e o restante da cadeia do Tocantins em 90%. Desta forma, o intercâmbio na SE Miracema é ajustado para possibilitar um fluxo máximo de 3900 MW na chegada da SE Serra da Mesa, valor compatível com as capacidades dos compensadores série, para os três circuitos do trecho limitante (Gurupi – Serra da Mesa). A região Nordeste importa cerca de 1500 MW.

Dessa forma, as alternativas avaliadas para a região Sudeste devem ter capacidade de transporte, a partir da SE Serra da Mesa, de cerca de 5000 MW. Este valor representa o somatório do intercâmbio Norte-Sul associado à geração das usinas de Lajeado, Peixe e Serra da Mesa (90% de despacho), acrescido do fluxo na transformação 500/230 kV da SE Serra da Mesa.

### 2.2 Cenário 3 ⇒ Norte e Nordeste Importadores e Sudeste Máximo Exportador

Neste cenário, as usinas de Tucuruí I e II foram consideradas despachadas com apenas 2000 MW, ou seja, 24% da potência instalada. A região Sudeste exporta cerca de 3900 MW, enquanto que a região Nordeste importa cerca de 3000 MW. Foi ajustado um maior carregamento na rede da região Sudeste no sentido Sul → Norte, através de um despacho máximo nas usinas da bacia do Rio Grande (90%) e mínimo na bacia do Rio Paranaíba (60%), além de intercâmbio Sul → Sudeste em cerca de 3000 MW.

Para este cenário, as alternativas avaliadas devem ter capacidade de transportar até a SE Serra da Mesa, cerca de 3600 MW (3900 MW + 1000 MW – despacho das UHE Lajeado, Peixe, Serra da Mesa e Cana Brava) A figura 1 mostra as disponibilidades em Serra da Mesa nos dois cenários mencionados.

### 2.3 Cenário 0 ⇒ Intercâmbio Nulo nas Interligações.

Neste cenário, as usinas das regiões Norte, Nordeste e Sudeste, foram despachadas de forma a atender o próprio mercado da região, possibilitando assim intercâmbios praticamente nulos entre as regiões. Este cenário foi utilizado apenas para cálculo de perdas e definição de reatores de barra e de linha.

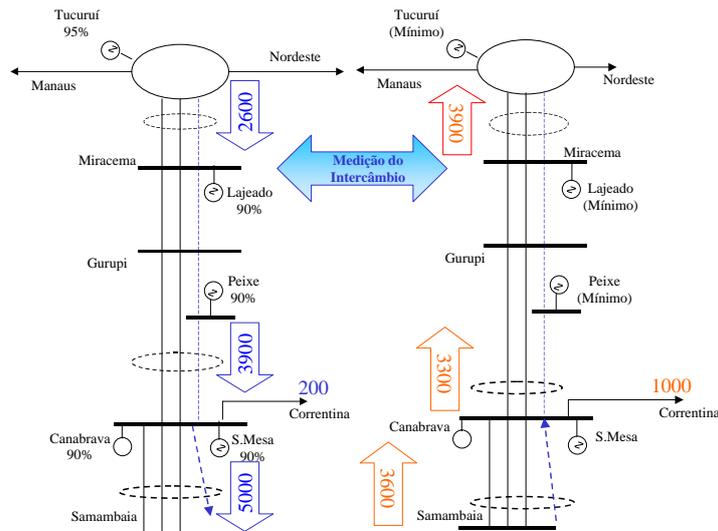


FIGURA 1 – Interligação Norte-Sul 3 - Cenário 1 Cenário 3

### 3.0 - POSSIBILIDADES DE EXPANSÃO

Para aumentar a capacidade do sistema receptor da região Sudeste foram definidas 3 possíveis rotas de reforço, denominadas como rotas Leste, Centro e Oeste, como mostradas na figura 2 a seguir.

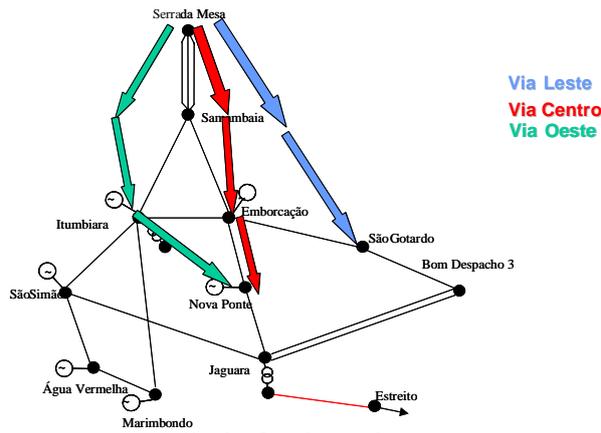


FIGURA 2 – Rotas Possíveis para Expansão

De forma a permitir diagnóstico dos eixos que sofrem maior influência da variação de fluxo da Interligação Norte-Sul e, com isso, possibilitar a definição de possíveis alternativas de expansão, a Interligação Norte-Sul desde a SE Gurupi até a Região Sudeste foi dividida em 3 eixos, denominados Interligação, Conexão e Entre Bacias, conforme figura 3.

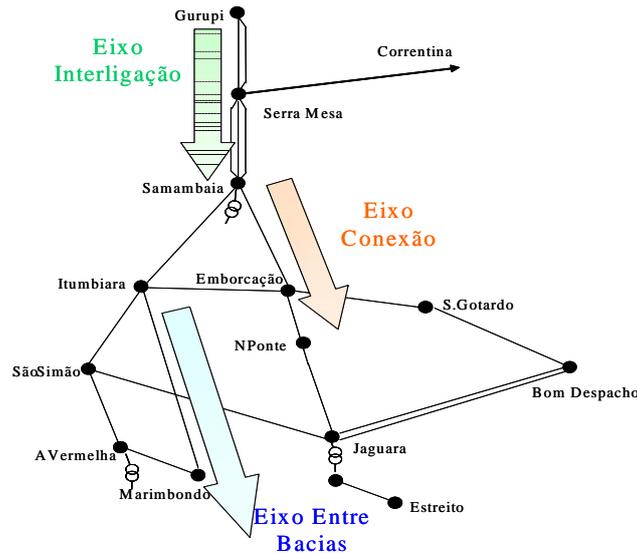


FIGURA 3 – Eixos do Sudeste sob influência da ampliação

### 3.1 Eixo de Interligação

Este eixo é caracterizado pelo trecho a partir da SE Gurupi até a SE Samambaia, hoje composto por dois circuitos Gurupi - Serra da Mesa e por três circuitos Serra da Mesa-Samambaia. A UHE Peixe, prevista para início de 2006, será conectada através de um circuito simples, em 500 kV, até a SE Gurupi. Para expansão deste primeiro trecho foi considerada a complementação Peixe - Serra da Mesa, bem como a compensação série necessária para equilíbrio dos fluxos entre os três circuitos resultantes deste trecho.

O esgotamento das SE's Serra da Mesa e Samambaia requer a implantação de novas subestações. No caso da UHE Serra da Mesa, as restrições ambientais ligadas à reserva indígena dos Ava Canoeiros, a chapada dos Veadeiros, e o próprio reservatório da UHE criam restrição à ampliação do atual pátio. A SE Samambaia está limitada pela concentração urbana da região em volta da SE. A figura 4 mostra as opções avaliadas para a ampliação do eixo de interligação, levando em conta as restrições citadas.

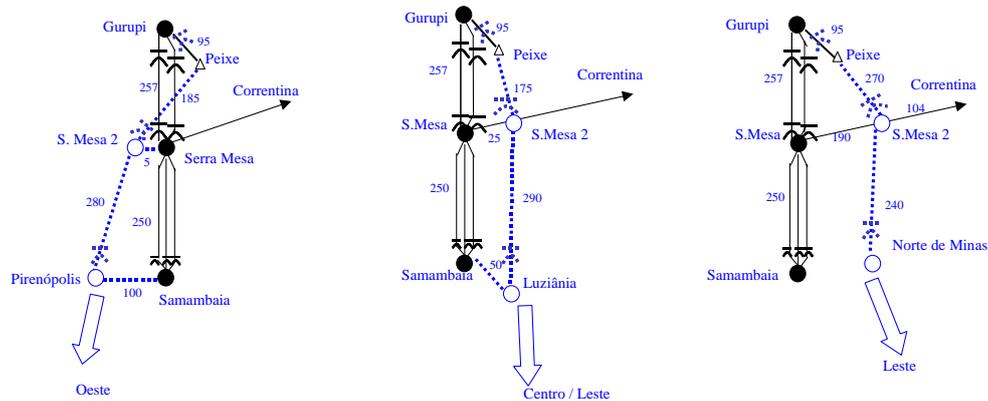


FIGURA 4 – Opções de ampliação para o Eixo de Interligação

### 3.2 Eixo de Conexão

Para o reforço deste eixo foram avaliadas a conexão das novas subestações, Luziânia ou Pirenópolis, à região das usinas, Itumbiara ou Emborcação, e a conexão em direção ao centro de carga de Minas Gerais, São Gotardo. As opções avaliadas equivalem à rota oeste, centro e leste, respectivamente e são mostradas na figura 5.

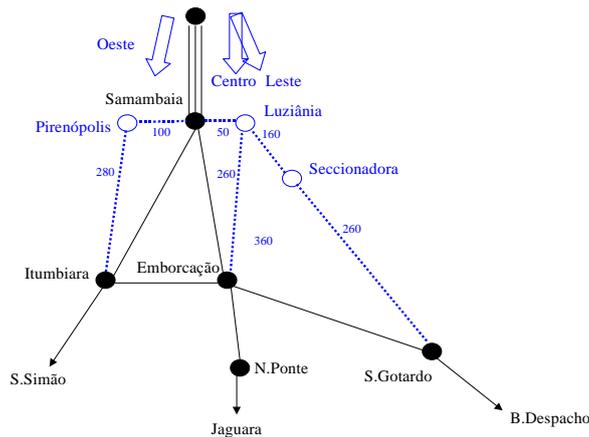


FIGURA 5 – Opções de ampliação para o Eixo de Conexão

### 3.3 Eixo Entre Bacias

Dentre as diversas alternativas analisadas para esse eixo, os reforços que apresentaram melhor desempenho foram: a implantação das LT's 500 kV Itumbiara - Nova Ponte e Nova Ponte - Estreito, associada e à implantação da SE Estreito 500kV ( 2 x 900MVA - 500/345 kV). A interligação dessa nova SE ao sistema de 345 kV será feita através do seccionamento das LT's 345 kV L.C.Barreto para as SE's Mascarenhas e Furnas. Essas obras permitiram a redução do fluxo previsto nos eixos de maiores violações, Emborcação - Nova Ponte – Jaguará, LT Itumbiara-Marimbondo e LT Jaguará - Estreito 345 kV.

As LT'S 500 kV Nova Ponte - São Gotardo e São Gotardo - Bom Despacho, já pertencentes ao plano de expansão Sudeste como reforço ao atendimento à região de Belo Horizonte e às interligações com o Rio e Espírito Santo via região Central de Minas, demonstrou ser um reforço importante entre as bacias do Paranaíba e Grande, pois aliviam o carregamento das LT's 500 kV Emborcação - São Gotardo e Nova Ponte – Jaguará. Além disso, a LT São Gotardo – Bom Despacho elimina sobrecargas no circuito existente, em condições normais, e evita subtensão nas regiões Norte e Central de Minas na condição de emergência dessa mesma linha.

O aumento das injeções nas SE's Itumbiara (Cuiabá) e São Simão (Cachoeira Alta), conjugado ao aumento dos intercâmbios entre Paranaíba e Grande, exigiram a implantação, em caráter referencial para 2009, da LT São Simão - Marimbondo e do quarto auto da SE Jaguará em todas as alternativas. Para a alternativa oeste também foi necessária a implantação de compensação série em algumas linhas como mostra a figura 6 a seguir.

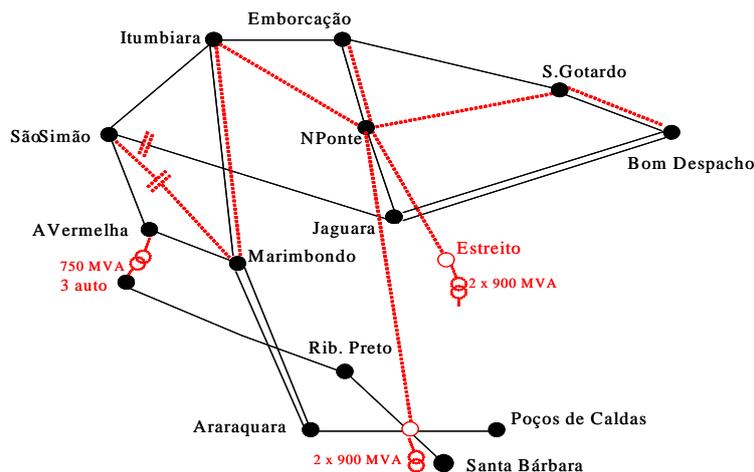


FIGURA 6 – Opções de ampliação para o Eixo Entre Bacias

#### - Reforços entre as Bacias do Paraná e Grande

Houve necessidade do terceiro banco 500/440 kV na SE Água Vermelha em todas as alternativas em 2007. Para 2009, além das obras já citadas, identificou-se a necessidade de reforço à área São Paulo. Para tanto, foi proposta, em caráter referencial, uma nova SE 500/440 kV, 900 MVA, aproveitando o cruzamento das LT's

Araraquara – Poços em 500 kV e Ribeirão Preto - Santa Bárbara em 440 kV, que ocorre no município de Porto Ferreira. A consolidação desse reforço para São Paulo, no entanto, está sendo desenvolvida por grupo específico do CCPE.

#### 4.0 - ALTERNATIVAS ANALISADAS

A partir de combinações de reforços nos eixos mencionados no item anterior, foram geradas diversas alternativas. As três alternativas selecionadas que apresentaram as melhores condições técnicas e econômicas são detalhadas e apresentadas a seguir.

##### 4.1 Alternativa Leste

A alternativa Leste, conforme figura 7, previa a implantação de aproximadamente 1700 km de linhas de transmissão em 500 kV a partir da SE Peixe, de 3850 MVA de transformação e dois compensadores estáticos de (-100 +150 Mvar) na região Sudeste (SE Luziânia e Samambaia) em 2009.

Nesta alternativa, foi adotado o seccionamento da LT 500 kV Serra da Mesa - Correntina a aproximadamente 25 km da SE Serra da Mesa, onde seria implantada uma nova subestação, denominada no estudo como Serra da Mesa 2. Esta nova SE teria as conexões do novo circuito da Interligação Norte – Sul, ligando-se a UHE Peixe e à nova SE Luziânia, localizada a cerca de 50 km da SE Samambaia. No trecho Luziânia - São Gotardo, com 420 km, foi também implantada uma SE seccionadora que permitiu a colocação de compensação reativa em um ponto intermediário da LT, reduzindo os níveis de sobretensões em regime e durante contingências.

A alternativa Leste tinha, como vantagem estratégica, a implantação de uma rota nova de transmissão numa região ainda não atendida pela Rede Básica (região Noroeste de Minas Gerais).

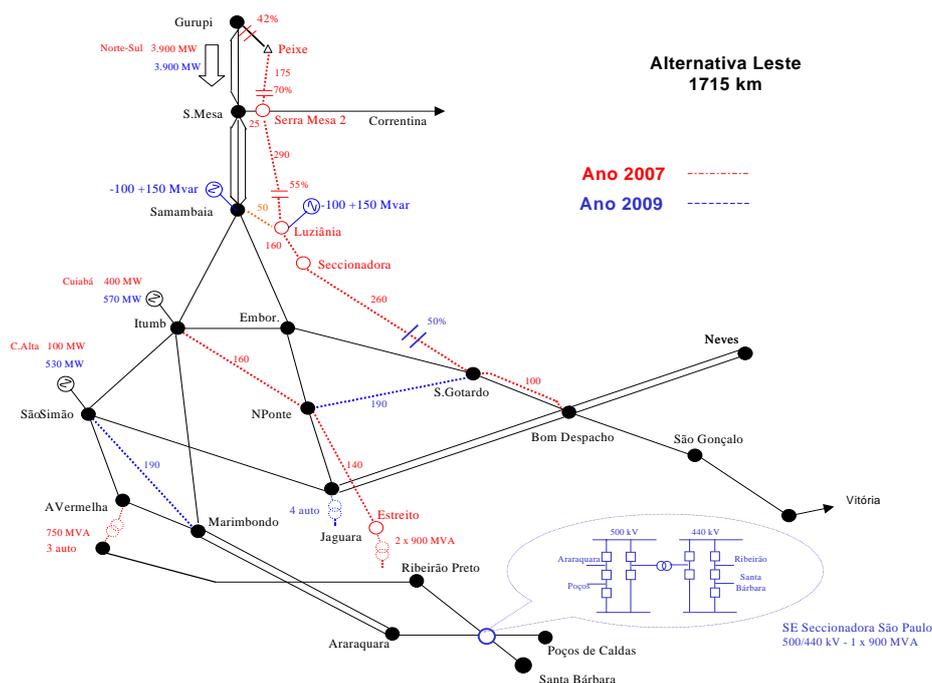


FIGURA 7 – Alternativa Leste

##### 4.2 Alternativa Centro

A alternativa Centro previa a implantação de um comprimento total de linhas e capacidade de transformação semelhantes as da alternativa Leste. Além disso previa-se também compensação estática na região Sudeste (SE Luziânia) até 2009, conforme figura 8.

Nesta alternativa, foi adotada, para o eixo de interligação, a mesma solução proposta na alternativa Leste, exceto pela compensação série ligeiramente maior na LT Serra da Mesa 2 - Luziânia. A LT Luziânia-Emborcação é proposta como solução para o eixo de conexão central.

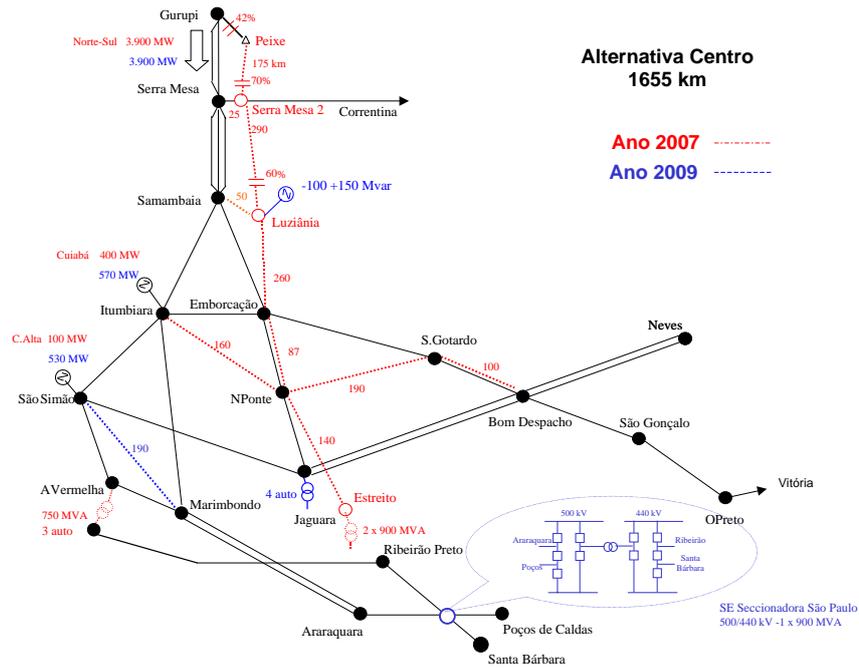


FIGURA 8 – Alternativa Centro

#### 4.3 Alternativa Oeste

A alternativa Oeste, conforme figura 9, previa a implantação de 1600 km de linhas de transmissão em 500 kV, de 3850 MVA de transformação e um compensador estático na região Sudeste (SE Pirenópolis) até 2009. Nesta alternativa, a SE Serra da Mesa 2 é implantada a 5 km a oeste do atual pátio de 500 kV impondo que a LT Peixe - Serra da Mesa 2 cruze os dois circuitos existentes Gurupi - Serra da Mesa. O eixo de interligação/conexão Serra da Mesa 2 - Pirenópolis - Itumbiara representa uma ampliação de capacidade do eixo de transmissão já existente, Serra da Mesa - Samambaia - Itumbiara. A LT São Simão - Marimbondo foi necessária em 2007 nesta alternativa, devido à grande concentração de novas injeções nas SE's Itumbiara e São Simão. Em 2009, além disso, foi necessário acrescentar compensações série nas LT's S. Simão-Jaguara e S. Simão-Marimbondo para desviar o fluxo da SE Água Vermelha e evitar sobrecargas na transformação 500/440 kV.

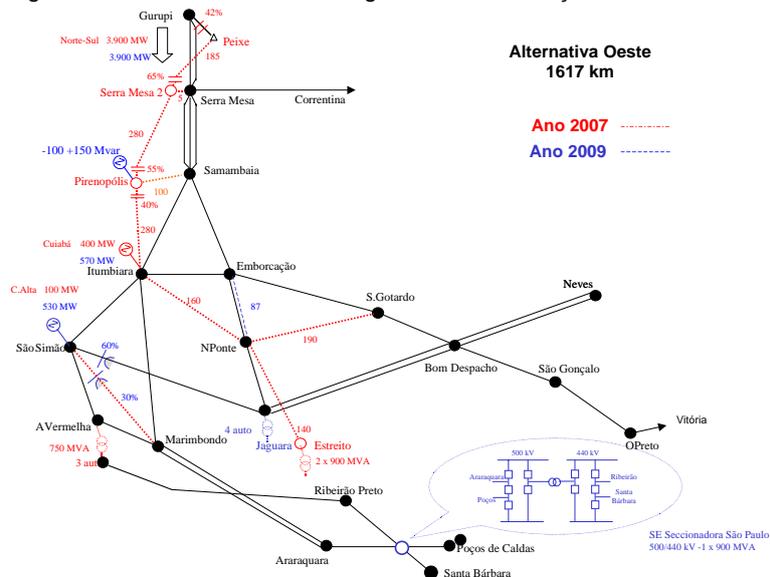


FIGURA 9 – Alternativa Oeste

#### 4.4 Comparação Técnica e Econômica

4.4.1 Comparação Econômica: A Tabela 2 apresenta os custos comparativos das alternativas no período 2007-2009, trazidos a Valor Presente em 2007. Observa-se que a alternativa Centro apresenta-se como a de menor custo global.

TABELA 2 – Custos das Alternativas – Investimentos e Perdas

Alternativas	Custos (2007 e 2009)	VP 2007 (milhões US\$)	Custos (%)
	Investimento	606,9	
	Perdas	5,3	
<b>Leste</b>	<b>Total</b>	<b>612,2</b>	<b>107,6</b>
	Investimento	566,8	
	Perdas	2,1	
<b>Centro</b>	<b>Total</b>	<b>569,0</b>	<b>100,0</b>
	Investimento	600,1	
	Perdas	9,7	
<b>Oeste</b>	<b>Total</b>	<b>609,8</b>	<b>107,2</b>

Obs: Custo Modular Eletrobrás – Junho/2001

4.4.2 Comparação Técnica: Nas análises de regime permanente e em emergências, tanto de fluxo quanto de estabilidade transitória, observou-se que:

- a alternativa Centro apresentou melhor desempenho em regime permanente, com uma melhor distribuição de fluxos. Em condições de emergência apresentou linhas menos carregadas, menores variações de potência reativa e de tensão, além de permanecer estável nas análises dinâmicas (estabilidade transitória);
- a alternativa Leste demonstrou ser instável dinamicamente.

## 5.0 - CONCLUSÃO

A Alternativa Centro demonstrou ser a melhor solução técnica e econômica de reforço a região Sudeste devido aos aumentos de intercâmbio provocados pela implantação do terceiro circuito da Norte-Sul. O sistema proposto, detalhado na Tabela 3 (abaixo da SE Peixe), atende aos limites de fluxo de 3900 no sentido Norte→Sul e 3300 MW no sentido Sul→Norte na SE Serra da Mesa. Salienta-se que haverá necessidade de redespacho ou corte de geração durante emergências nos eixos da Interligação Norte-Sul, para essas condições de fluxo, devido às limitações impostas pelos capacitores série.

TABELA 3 – Plano de Obras – Reforços Sudeste e Centro-Oeste (desde a SE Peixe até o Sudeste)

Obras 2007	Descrição/km	2007 US\$ Milhão
SE Peixe 2 500 kV	SE Secionadora	18,73
SE Serra da Mesa 2 500 kV	SE Secionadora	21,26
LT1 500 kV Serra da Mesa 2-Peixe 2 (incluindo Csérie)	195 km	56,56
LT 500 kV Serra da Mesa 2-Luziânia (incluindo Csérie)	300 km	86,21
SE Luziânia 500 kV	SE Secionadora	18,82
LT 500 kV Luziânia - Samambaia	65 km	17,18
LT 500 kV Luziânia - Emborcação	240 km	53,96
LT2 500 kV Emborcação-Nova Ponte	88 km	19,14
LT 500 kV Nova Ponte-São Gotardo 2	198 km	37,48
LT2 500 kV São Gotardo 2 - B.Despacho 3	93 km	19,97
LT 500 kV Nova Ponte-Estreito	147 km	28,97
LT 500 kV Itumbiara-Nova Ponte	182 km	34,82
SE Estreito 500 kV	500-345 kV - 2 x 900 MVA	34,90
<b>Total 2007</b>		<b>448,00</b>

Obs: Atualizados de acordo com Relatórios R1 a R4 da Norte-Sul 3, Reforços Sudeste (5), (6)

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CCPE/CTET.020.2004. Definição Reforços Região Sudeste Associados à Ampliação da Interligação Norte-Sul
- (2) ELETROBRÁS. Interligação Norte-Sul II–Definição Reforços no Sistema de Transmissão Sudeste. Dez/1999
- (3) CTDO. Avaliação Energética da Ampliação da Capacidade das Interligações Norte-Sul– NT-CTDO-01/03-Maio/2003.
- (4) CTDO. Estudo Energético definindo a Permanência nos Estados – junho de 2003.
- (5) CCPE-CTET.065.2004. Relatório R1 – Viabilidade Técnica e Econômica – Empreendimentos na Região Sudeste Associados a Norte-Sul 3.
- (6) Empreendimentos da Norte-Sul 3 – Reforços Sudeste – CEMIG - 02.111-PL-378 a 02.111-PL-392