

WASCHINGTON FERNANDES ALVES

**PROPOSIÇÃO DE SISTEMAS-TESTE PARA ANÁLISE
COMPUTACIONAL DE SISTEMAS DE POTÊNCIA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre, Área de concentração: Aplicações (Computação em Potência).

Orientadores:

Prof. Marcus Theodor Schilling, D. Sc.

Prof. Milton Brown Do Coutto Filho, D. Sc.

Niterói, RJ - Brasil
2007

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca da Escola de Engenharia e Instituto de Computação da UFF

A474 Alves, Waschington Fernandes.

Proposição de sistemas-teste para análise computacional de sistemas de potência / Waschington Fernandes Alves. – Niterói, RJ : [s.n.], 2007.

332f.

Orientadores: Marcus Theodor Schilling, Milton Brown Do Coutto Filho.

Dissertação (Mestrado em Computação) - Universidade Federal Fluminense, 2007.

1 Sistema de energia elétrica. 2. Sistemas de potência. 3. Curto circuito. I. Título.

CDD 621.3191

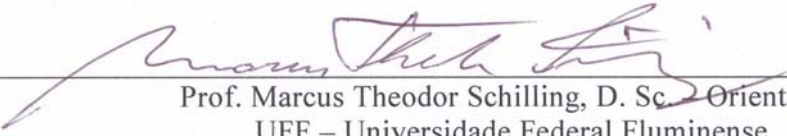
WASCHINGTON FERNANDES ALVES

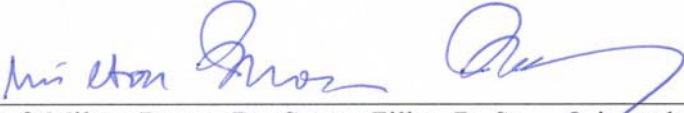
**PROPOSIÇÃO DE SISTEMAS-TESTE PARA ANÁLISE
COMPUTACIONAL DE SISTEMAS DE POTÊNCIA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre, Área de concentração: Aplicações (Computação em Potência).


Aprovada em 14 de Agosto de 2007.

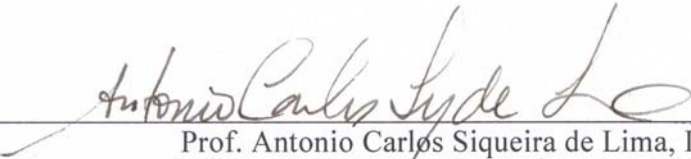
BANCA EXAMINADORA


Prof. Marcus Theodor Schilling, D. Sc. – Orientador
UFF – Universidade Federal Fluminense


Prof. Milton Brown Do Coutto Filho, D. Sc. – Orientador
UFF – Universidade Federal Fluminense


Prof. Julio Cesar Stacchini de Souza, D. Sc.
UFF – Universidade Federal Fluminense


Prof. Tatiana Mariano Lessa de Assis, D. Sc.
UFF – Universidade Federal Fluminense


Prof. Antonio Carlos Siqueira de Lima, D. Sc.
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Dedico esta Dissertação de
Mestrado à minha filha
Mariana.

AGRADECIMENTOS

É muito difícil agradecer nominalmente a todos aqueles que contribuíram direta e indiretamente para concretização deste trabalho. Por isso, agradeço a todos que, de alguma forma, colaboraram para a conclusão deste trabalho.

Em especial agradeço ao Dr. Eng. Antonio Luiz Bergamo do Bomfim (Eletrobrás), grande colaborador na elaboração deste trabalho, me ajudando na organização dos estudos e nas análises dos resultados.

Também agradeço ao Eng. Johann Michael Steinberg, M. Sc. (Eletrobrás) pela sua ajuda na parte de curto-circuito, no elo de corrente contínua e pelas discussões técnicas que foram importantes para a realização deste trabalho.

Registro ainda meu reconhecimento ao Eng. Venilton Rodrigues de Oliveira (ONS) pela ajuda essencial na tarefa de levantamento de dados.

Agradeço à minha esposa e à minha filha, que souberam compreender a importância profissional e pessoal da execução deste trabalho, incentivando e me apoiando nos momentos mais difíceis.

À minha mãe, pelo carinho e atenção, que me ajudou no meu desenvolvimento pessoal e na busca de um crescimento profissional.

Aos meus orientadores, Prof. Marcus Theodor Schilling e Prof. Milton Brown Do Coutto Filho pelo apoio, estímulo e pela orientação técnica, que se traduziram num aprendizado contínuo durante o período de desenvolvimento deste trabalho, além da significativa contribuição à minha formação acadêmica.

À Eletrobrás, por permitir o uso das ferramentas computacionais essenciais para a confecção deste trabalho, aos meus colegas de trabalho que me apoiaram e ajudaram na sua execução e aos meus superiores Eng. Paulo Cesar de Almeida, M. Sc. (Eletrobrás) e Eng^a. Elizabeth Almeida Franceschett (Eletrobrás) que proporcionaram condições para que eu realizasse esse trabalho.

Finalmente agradeço a Deus, por sua constante presença em minha vida, dando-me coragem para enfrentar todos os obstáculos.

Nota: A elaboração desta Dissertação foi parcialmente apoiada pelo CNPq e FAPERJ-PRONEX. Todos os resultados numéricos foram obtidos graças aos aplicativos computacionais desenvolvidos pelo CEPTEL e disponibilizados para uso legal pela ELETROBRÁS.

Resumo da Dissertação apresentada ao Instituto de Computação da Universidade Federal Fluminense – UFF como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências (M. Sc.).

PROPOSIÇÃO DE SISTEMAS-TESTE PARA ANÁLISE COMPUTACIONAL DE SISTEMAS DE POTÊNCIA

Waschington Fernandes Alves

Agosto, 2007

Orientadores:

Prof. Marcus Theodor Schilling, D. Sc.

Prof. Milton Brown Do Coutto Filho, D. Sc.

A análise computacional de sistemas de potência vem se tornando a cada dia mais complexa e abrangente. São inúmeras as dificuldades relacionadas a modelagens de componentes e fenômenos, técnicas numéricas e metodologias diversas. Essas dificuldades demandam um processo de validação de resultados que pode ser facilitado através do uso de sistemas-teste de porte reduzido. Até então, a grande maioria dos sistemas-teste (IEEE, CIGRÉ) utilizados nos mais diversos estudos não reflete algumas características importantes encontradas no sistema elétrico brasileiro. Assim sendo, esta Dissertação propõe sistemas-teste nacionais para referência em estudos de análise computacional de sistemas de potência.

Diversos exemplos didáticos de análises típicas realizadas em cinco novos sistemas elétricos de potência de dimensões reduzidas, chamados de “*sistemas-teste*”, são apresentados. Neles foram simuladas condições operativas de interesse através dos aplicativos computacionais comumente usados no setor elétrico brasileiro, abrangendo problemas de: fluxo de potência, fluxo de potência ótimo, curto-circuito, estabilidade transitória e estabilidade a pequenas perturbações.

Um dos sistemas-teste é de porte muito reduzido e foi criado visando possibilitar a elaboração de cálculos manuais para fins didáticos. Os demais sistemas-teste foram criados a partir de dados extraídos do sistema elétrico brasileiro, definidos por suas topologias e relação completa dos respectivos parâmetros elétricos. Para cada um dos problemas foram criados casos-base de referência, com premissas minuciosamente definidas, para garantia de total reprodutibilidade de resultados por outros analistas, estudantes e pesquisadores. Para cada aplicativo computacional utilizado, foram criados cenários realistas que evidenciam problemas elétricos tradicionalmente relevantes, como: violações de critérios, colapsos, instabilidade, oscilações etc.

Palavras-chave: *Sistema de energia elétrica, sistema-teste, fluxo de potência, curto-circuito, estabilidade, autovalor, educação, pesquisa.*

* * *

Summary of the Dissertation presented to the Institute of Computation of the Fluminense Federal University – UFF to fulfill the necessary requirements to obtain the Degree of Master in Sciences (M. Sc.).

PROPOSITION OF TEST-SYSTEMS TO POWER SYSTEMS ANALYSIS

Waschington Fernandes Alves

August, 2007

Advisors:

Prof. Marcus Theodor Schilling, D. Sc.

Prof. Milton Brown Do Coutto Filho, D. Sc.

The computational analysis of power systems becomes each day wider and more complex. There are several difficulties to model components, phenomena, numerical techniques and methodologies. These difficulties demand a process to validate the results that can be facilitated through the use of test-systems of reduced size. However, the great majority of the test-systems used (IEEE, CIGRÉ) does not reflect the characteristics of the Brazilian system.

This Dissertation presents didactic examples carried out through typical analyses in five new electrical power systems of reduced dimensions, called “*test-systems*”, where operative conditions of interest are used with common computational applications used in the Brazilian electric sector, such as: power flow, optimum power flow, short-circuit, transient stability and small signal stability.

One of the test-system is a reduced one and it was created aiming to make possible the elaboration of manual calculations for didactic purposes. The others test-systems had been created from extracted data of the Brazilian electrical system defined by its topologies and a complete relation of its electric parameters. For each one of the problems a reference “base-case” was created, with minutely defined premises, to guarantee the total reproduction of results by other analysts, students and researchers. Thus, the main contribution of the Dissertation is the proposal of fictitious test-systems, based in the peculiarities of the Brazilian electrical system which constitute a good alternative to the traditional systems of the IEEE and CIGRÉ. For each computational program used, realistic scenarios had been created to evidence traditional electric problems such as: criteria violations, collapses, instability, oscillations, etc.

Key-words: *Electric energy system, test-system, power flow, short-circuit, stability, eigenvalue, education, research.*

* * *

Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 - Considerações Preliminares	1
1.2 - Objetivo	2
1.3 - Estrutura da Dissertação	3
Capítulo 2 - Características do Sistema de Potência Brasileiro	5
2.1 - Introdução	5
2.2 - Fontes Primárias de Energia	6
2.3 - Parque Gerador e Capacidade Instalada	9
2.4 - Topologia da Transmissão	9
2.5 - Carga	12
2.6 - Sumário	13
Capítulo 3 - Proposição dos Sistemas-Teste	14
3.1 - Introdução	14
3.2 - Diretrizes Para a Concepção dos Sistemas-Teste	15
3.3 - Sistema-Teste Brasileiro de 9 Barras (STB-9)	17
3.4 - Sistema-Teste Brasileiro de 16 Barras (STB-16)	18
3.5 - Sistema-Teste Brasileiro de 33 Barras (STB-33)	19
3.6 - Sistema-Teste Brasileiro de 65 Barras (STB-65)	21
3.7 - Sistema-Teste Brasileiro de 107 Barras – CA (STB-107CA)	23
3.8 - Sistema-Teste Brasileiro de 107 Barras – Híbrido (STB-107H)	25
3.9 - Sumário	27
Adendo I - Dados do Sistema-Teste Brasileiro de 9 Barras	28
Adendo II - Dados do Sistema-Teste Brasileiro de 16 Barras	35
Adendo III - Dados do Sistema-Teste Brasileiro de 33 Barras	45
Adendo IV - Dados do Sistema-Teste Brasileiro de 65 Barras	53
Adendo V - Dados do Sistema-Teste Brasileiro de 107 Barras – CA	64
Adendo VI - Dados do Sistema-Teste Brasileiro de 107 Barras – Híbrido	132
Capítulo 4 - Análise do Regime Estático em Condição Normal	139
4.1 - Introdução	139
4.2 - Ferramenta Computacional	140
4.3 - Procedimentos	141
4.3.1 - Modelos e representações de cargas	142
4.3.2 - Múltiplas barras de referência	143
4.3.3 - Ponto de operação de difícil convergência	143
4.3.4 - Controle de tensão	143
4.3.5 - Violações de limites	144
4.4 - Estudos de Problemas Típicos	145
4.4.1 - Montagem, ajuste e análise do caso base	145

4.4.2 - <i>Análise de curva e patamares de carga</i>	150
4.4.3 - <i>Análise de contingência simples (N-1)</i>	154
4.4.4 - <i>Ajuste em tape de transformador</i>	172
4.4.5 - <i>Adição de um elo de corrente contínua no sistema-teste 107 barras</i>	177
4.5 - Sumário	181
Capítulo 5 - Análise do Regime Estático em Condição Otimizada	183
5.1 - Introdução	183
5.2 - Ferramenta Computacional	184
5.3 - Procedimentos	185
5.4 - Estudos de Problemas Típicos	186
5.4.1 - <i>Comparação de ajuste de casos</i>	186
5.4.2 - <i>Realização de ajuste para suportar contingência</i>	192
5.4.3 - <i>Minimização de perdas elétricas no sistema</i>	195
5.4.4 - <i>Minimização de perdas elétricas com restrição na área Sudeste</i>	197
5.4.5 - <i>Minimização de perdas elétricas com restrição na área Sul</i>	198
5.4.6 - <i>Maximização de intercâmbio entre áreas</i>	200
5.5 - Sumário	205
Capítulo 6 - Análise do Regime Estático em Condição Anormal	206
6.1 - Introdução	206
6.2 - Ferramenta Computacional	207
6.3 - Procedimentos	208
6.3.1 - <i>Localização do curto</i>	210
6.3.2 - <i>Tipos de curto</i>	210
6.3.3 - <i>Duração do curto</i>	211
6.3.4 - <i>Sensibilidade à localização do defeito</i>	211
6.3.5 - <i>Sensibilidade a tipo de defeito</i>	211
6.4 - Estudos de Problemas Típicos	212
6.4.1 - <i>Comparação dos níveis de curto-circuito</i>	212
6.4.2 - <i>Verificação da capacidade de interrupção de corrente de curto-circuito</i>	215
6.4.3 - <i>Cálculo do reator de curto para uso nas simulações de estabilidade</i>	220
6.4.4 - <i>Curto-circuito em linha paralela</i>	223
6.4.5 - <i>Comparação entre curto-bifásico e curto bifásico-terra</i>	225
6.5 - Sumário	226
Capítulo 7 - Análise do Regime Dinâmico	228
7.1 - Introdução	228
7.2 - Ferramenta Computacional	229
7.3 - Procedimentos	229
7.3.1 - <i>Caso de fluxo de potência</i>	230
7.3.2 - <i>Banco de dados dinâmicos</i>	230
7.3.3 - <i>Compatibilização do número de máquinas</i>	231
7.3.4 - <i>Preparação do arquivo para simulação</i>	232

7.3.5 - Principais grandezas monitoradas	233
7.4 - Estudos de Problemas Típicos	234
7.4.1 - Análise de contingência simples (N-1)	234
7.4.2 - Estudo do fenômeno do colapso de tensão	244
7.4.3 - Estudo de máxima transferência de potência	255
7.4.4 - Influência dos controladores na estabilidade do sistema	259
7.5 - Sumário	268
Capítulo 8 - Análise do Regime Dinâmico a Pequenas Perturbações	269
8.1 - Introdução	269
8.2 - Ferramenta Computacional	270
8.3 - Procedimentos	271
8.4 - Estudos de Problemas Típicos	274
8.4.1 - Avaliação do sistema-teste de 9 barras	274
8.4.2 - Identificação dos modos eletromecânicos	281
8.4.3 - Análise do melhor local para instalação de estabilizador	289
8.5 - Sumário	289
Capítulo 9 - Conclusões	291
9.1 - Conclusões	291
9.2 - Complementação Futura	291
Referências Bibliográficas	293
Apêndice A - Resultados do Item 8.4.3	296
Anexo I - Pontos de Operação dos Sistemas-Teste Propostos	302
Anexo II - Níveis de Curto-Circuito dos Sistemas-Teste Propostos	327

Nota 1: Esta Dissertação é acompanhada por um CD contendo informações e dados sobre os sistemas-teste propostos.

Nota 2: O conteúdo do CD pode ser publicamente acessado nos seguintes portais:

http://www.ic.uff.br/PosGraduacao/lista_dissertacao.php?ano=2007

<http://br.geocities.com/washingtonalves/>

Nota 3: Endereço para contato:

*Eng. Waschington Fernandes Alves
Eletrobrás – Centrais Elétricas Brasileiras S.A
Av. Marechal Floriano, 19 – 14º andar
Centro – Rio de Janeiro – RJ, Brasil
Tel.: (0xx21) 2514-5017
C-ele: waschin@eletrobras.com*

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	– Matriz elétrica brasileira – 2005	7
Figura 2.2	– Matriz energética brasileira – 2005	7
Figura 2.3	– Mapa do sistema elétrico brasileiro – configuração 2016	11
Figura 3.1	– Diagrama unifilar do sistema-teste brasileiro de 9 barras	18
Figura 3.2	– Diagrama unifilar do sistema-teste brasileiro de 16 barras	19
Figura 3.3	– Diagrama unifilar do sistema-teste brasileiro de 33 barras	20
Figura 3.4	– Diagrama unifilar do sistema-teste brasileiro de 65 barras	22
Figura 3.5	– Diagrama unifilar do sistema-teste brasileiro de 107 barras – CA	24
Figura 3.6	– Diagrama unifilar do sistema-teste brasileiro de 107 barras – Híbrido	26
Figura 3.7	– Diagrama unifilar da configuração do elo cc	132
Figura 4.1	– Dados do caso base	146
Figura 4.2	– Relatório completo do caso base	147
Figura 4.3	– Diagrama unifilar do sistema com informações do caso base	149
Figura 4.4	– Diagrama unifilar do sistema com informações do caso após ajuste	150
Figura 4.5	– Curva de demanda diária verificada no SIN	152
Figura 4.6	– Curva de demanda do período afetado pela realização do jogo	152
Figura 4.7	– Diagrama unifilar do sistema com o ponto de operação a ser estudado	155
Figura 4.8	– Dados de intercâmbio entre as áreas	156
Figura 4.9	– Relatório de monitoração de fluxo	157
Figura 4.10	– Fluxo na LT 230kV Cascavel-Salto Osório	161
Figura 4.11	– Relatório de barras sem medida	163
Figura 4.12	– Relatório de barras com medida	163
Figura 4.13	– Relatório de monitoração de tensão	164
Figura 4.14	– Relatório de monitoração de tensão com inserção de capacitores	165
Figura 4.15	– Relatório de barras com inserção de capacitores	165
Figura 4.16	– Relatório de monitoração de tensão	166
Figura 4.17	– Relatório de barra	166
Figura 4.18	– Relatório de monitoração de tensão	167
Figura 4.19	– Relatório de monitoração de tensão	168
Figura 4.20	– Relatório de monitoração de tensão	170
Figura 4.21	– Relatório de monitoração de geração reativa	170
Figura 4.22	– Relatório de monitoração de fluxo	170
Figura 4.23	– Posição inicial do tape no transformador LTC	174
Figura 4.24	– Condições com os tapes iguais	175
Figura 4.25	– Condições com os tapes diferentes	176
Figura 4.26	– Condições com os tapes nos extremos opostos	177
Figura 4.27	– Intercâmbio entre as áreas Sul e Sudeste com o elo CC	178
Figura 4.28	– Fluxo na interligação sentido área Sul para área Sudeste com o elo CC	179
Figura 4.29	– Fluxo na interligação sentido área Sul para área Sudeste sem o elo CC	180

Figura 4.30	– Fluxo na interligação sentido área Sudeste para área Sul com o elo CC	180
Figura 4.31	– Fluxo na interligação sentido área Sudeste para área Sul sem o elo CC	181
Figura 5.1	– Diagrama simplificado do processo utilizado para otimização	185
Figura 5.2	– Dados de otimização e função objetivo	187
Figura 5.3	– Sumário do caso	188
Figura 5.4	– Relatório de barras do sistema	188
Figura 5.5	– Relatório de linhas do sistema	189
Figura 5.6	– Sumário do caso	190
Figura 5.7	– Relatório de barras do sistema	190
Figura 5.8	– Relatório de linhas do sistema	191
Figura 5.9	– Sumário do caso	193
Figura 5.10	– Potência reativa alocada	193
Figura 5.11	– Sumário do caso	194
Figura 5.12	– Potência reativa alocada	194
Figura 5.13	– Relatório de totais de área do caso inicial	196
Figura 5.14	– Sumário do caso	196
Figura 5.15	– Relatório de totais de área do caso otimizado	197
Figura 5.16	– Sumário do caso	198
Figura 5.17	– Relatório de totais de área do caso otimizado	198
Figura 5.18	– Sumário do caso	199
Figura 5.19	– Relatório de totais de área do caso otimizado	199
Figura 5.20	– Dados de otimização e função objetivo	202
Figura 5.21	– Sumário do caso	203
Figura 5.22	– Intercâmbio máximo obtido	203
Figura 5.23	– Grandezas no limite	204
Figura 5.24	– Redespacho de geração e variação dos controles	204
Figura 6.1	– Representação de transformador elevador de usina no fluxo de potência	208
Figura 6.2	– Representação de transformador elevador de usina no curto-circuito	209
Figura 6.3	– Representação de transformador de três enrolamentos	209
Figura 6.4	– Curto na barra de 500kV de Marimbondo	218
Figura 6.5	– Curto depois do disjuntor nº 5 da LT 500kV Marimbondo-Araraquara	219
Figura 6.6	– LT 500kV Cachoeira Paulista-Adrianópolis C.1 e C.2 em operação	223
Figura 6.7	– LT 500kV Cachoeira Paulista-Adrianópolis C.2 em manutenção	223
Figura 6.8	– Tensão e corrente induzidas pela LT 500kV C.Paulista-Adrianópolis C.1	224
Figura 6.9	– Tensão e corrente para curto bifásico na barra 9 – fases B e C	225
Figura 6.10	– Tensão e corrente para curto bifásico-terra na barra 9 – fases B e C	226
Figura 7.1	– Defasamento angular entre as máquinas do sistema em relação a G.B.Munhoz	236
Figura 7.2	– Módulo da tensão nos barramentos de 500kV de Areia, Caxias, S. Santiago e S. Caxias e nos barramentos de 230kV de Cascavel e Cascavel do Oeste	236
Figura 7.3	– Módulo do fluxo de potência no circuito S.Segredo-Areia 500 kV	237
Figura 7.4	– Defasamento angular das máquinas S.Caxias e S.Osório em relação a G.B.M	238
Figura 7.5	– Defasamento angular das máquinas S.Caxias e S.Osório em relação a G.B.M	239

Figura 7.6	– Defasamento angular das máquinas do sistema	239
Figura 7.7	– Frequência do sistema	240
Figura 7.8	– Defasamento angular das máquinas S.Caxias e S.Osório em relação a G.B.M	241
Figura 7.9	– Fluxo de potência ativo no transformador de Areia e na LT Segredo-Areia	242
Figura 7.10	– Defasamento angular das máquinas do sistema	242
Figura 7.11	– Carregamento na LT 500kV S.Santiago-Itá	243
Figura 7.12	– Defasamento angular das máquinas do sistema	243
Figura 7.13	– Potência elétrica das máquinas do sistema	244
Figura 7.14	– Potência reativa do CS Ibiúna	246
Figura 7.15	– Módulo da tensão nos barramentos da área Um	246
Figura 7.16	– Módulo da tensão nos barramentos de carga da área Um	248
Figura 7.17	– Módulo da tensão em barramentos do sistema	248
Figura 7.18	– Defasamento angular das máquinas da área Um em relação área Dois	249
Figura 7.19	– Defasamento angular das máquinas da área Um em relação área Dois	250
Figura 7.20	– Defasamento angular das máquinas da área Dois	250
Figura 7.21	– Módulo da tensão em barramentos de carga da área Um	251
Figura 7.22	– Potência reativa do CS de Ibiúna	252
Figura 7.23	– Tensão em barras de carga da área Um	252
Figura 7.24	– Potência reativa do CS de Ibiúna	253
Figura 7.25	– Tensão em barras de carga da área Um	253
Figura 7.26	– Potência reativa do CS de Ibiúna	254
Figura 7.27	– Tensão em barras de carga da área Um	254
Figura 7.28	– Variação angular dos rotores de Itumbiara, Marimbondo, Emborcação e Jaguará em relação a G.B.Munhoz	256
Figura 7.29	– Potência elétrica de G.B.Munhoz, S.Santiago, Itumbiara e Marimbondo	256
Figura 7.30	– Tensão em Curitiba, C.Paulista, Campinas e Araraquara	256
Figura 7.31	– Variação angular dos rotores das máquinas do Sudeste em relação a G.B.Munhoz no Sul	256
Figura 7.32	– Variação angular dos rotores das máquinas do Sudeste em relação a Marimbondo no Sudeste	257
Figura 7.33	– Variação angular dos rotores das máquinas do Sul em relação a S.Santiago no Sul ..	257
Figura 7.34	– Variação angular dos rotores de Itumbiara em relação a G.B.Munhoz com e sem esquema	258
Figura 7.35	– Variação angular dos rotores de Itumbiara, Marimbondo, Emborcação e Jaguará em ação a G.B.Munhoz com compensação na interligação	258
Figura 7.36	– Variação angular dos rotores das máquinas 1 e 2 em relação ao centro de massa	260
Figura 7.37	– Tensão nas barras do sistema	260
Figura 7.38	– Variação angular dos rotores da máquina 1 contra a máquina 2	261
Figura 7.39	– Tensão nas barras de carga	261
Figura 7.40	– Tensão de campo das máquinas	261
Figura 7.41	– Frequência do sistema medida nas barras de carga	261
Figura 7.42	– Potência elétrica das máquinas 1 e 2	262
Figura 7.43	– Potência mecânica das máquinas 1 e 2	262

Figura 7.44	– Tensão de campo das máquinas	263
Figura 7.45	– Comparação da variação angular dos rotores da máquina 1 contra a máquina 2 com e sem regulador de tensão	263
Figura 7.46	– Tensão nas barras de carga	263
Figura 7.47	– Comparação do comportamento da frequência do sistema medida na barra 5 com e sem regulador de tensão	263
Figura 7.48	– Potência elétrica das máquinas 1 e 2	263
Figura 7.49	– Comparação da potência reativa das máquinas 1 e 2 com e sem regulador de Tensão	263
Figura 7.50	– Potência mecânica das máquinas 1 e 2	264
Figura 7.51	– Comparação da frequência do sistema medida na barra 5 com e sem regulador de velocidade	265
Figura 7.52	– Potência mecânica das máquinas 1 e 2	265
Figura 7.53	– Potência elétrica das máquinas 1 e 2	265
Figura 7.54	– Potência acelerante das máquinas 1 e 2	265
Figura 7.55	– Variação angular dos rotores da máquina 1 contra a máquina 2	265
Figura 7.56	– Tensão nas barras de carga	265
Figura 7.57	– Comparação da variação angular dos rotores da máquina 1 versus máquina 2 com e sem estabilizador	266
Figura 7.58	– Comparação da tensão de campo da máquina 1 com e sem o estabilizador	266
Figura 7.59	– Comparação da potência elétrica das máquinas 1 com e sem o estabilizador	267
Figura 7.60	– Comparação da tensão da barra 9 com e sem estabilizador	267
Figura 7.61	– Variação angular dos rotores da máquina 1 versus máquina 2 com ganho do estabilizador normal e elevado	267
Figura 8.1	– Resposta transitória para diferentes localizações de autovalores	273
Figura 8.2	– Mapa de pólos do sistema com RAT	276
Figura 8.3	– Resposta no domínio do tempo: máquina 1 e máquina 2	277
Figura 8.4	– Mapa de pólos do sistema com RAT e RAV	279
Figura 8.5	– Resposta no domínio do tempo: máquina 1 x máquina 2	279
Figura 8.6	– Comparação da resposta no domínio do tempo com e sem o estabilizador nas máquina 1 e 2	281
Figura 8.7	– Perfil modal de velocidade do modo de oscilação 1	283
Figura 8.8	– Perfil modal de velocidade do modo de oscilação 3	284
Figura 8.9	– Perfil modal de velocidade do modo de oscilação 5	285
Figura 8.10	– Perfil modal de velocidade do modo de oscilação 7	286
Figura 8.11	– Perfil modal de velocidade do modo de oscilação 9	287
Figura 8.12	– Perfil modal de velocidade do modo de oscilação 11	288
Figura A.1	– Perfil modal de velocidade do modo de oscilação 1	298
Figura A.2	– Perfil modal de velocidade do modo de oscilação 3	299
Figura A.3	– Mapa de pólos e zeros do gerador-1	300
Figura A.4	– Mapa de pólos e zeros do gerador-2	300

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	– Parque gerador brasileiro	9
Tabela 2.2	– Potência instalada total	9
Tabela 2.3	– Extensão das linhas de transmissão do SIN em km	10
Tabela 2.4	– Consumo por classe em 2005	12
Tabela 2.5	– Consumo de energia no Brasil	12
Tabela 3.1	– Base de dados utilizada	16
Tabela 3.2	– Número de elementos dos sistemas-teste	16
Tabela 3.3	– Capacidade dos sistemas-teste	17
Tabela 3.4	– Estudos realizados	27
Tabela 4.1	– Patamares de carga	153
Tabela 4.2	– Cenários de operação	156
Tabela 4.3	– Limites de tensão	156
Tabela 4.4	– Lista de contingências	157
Tabela 4.5	– Variação da tensão com a representação da carga	158
Tabela 4.6	– Geração ativa na barra de referência	159
Tabela 4.7	– Perdas elétricas no sistema	159
Tabela 4.8	– Variação da carga com a tensão em função da representação	160
Tabela 4.9	– Tensão nas barras de carga após corte de carga	169
Tabela 4.10	– Condição após ajuste no tape ligado na barra de alta tensão	174
Tabela 4.11	– Condição após ajuste no tape ligado na barra de baixa tensão	175
Tabela 4.12	– Condição após ajuste dos casos sem elo CC	179
Tabela 5.1	– Condições iniciais de geração e carga	201
Tabela 5.2	– Intercâmbio e representação de carga	201
Tabela 6.1	– Tipos de defeitos	207
Tabela 6.2	– Tempos típicos de eliminação de defeitos	211
Tabela 6.3	– Níveis de curto-circuito do sistema-teste 107 barras	213
Tabela 6.4	– Potência e corrente de curto-circuito do sistema-teste 107 barras	215
Tabela 6.5	– Contribuição das correntes de curto-circuito para a barra de Marimondo 500kV ...	218
Tabela 6.6	– Impedâncias de curto-circuito do sistema-teste 107 barras	221
Tabela 7.1	– Informações necessárias para simulação	232
Tabela 7.2	– Exemplo de grandezas monitoradas	233
Tabela 7.3	– Lista de contingências	235
Tabela 7.4	– Esquema de corte de carga	247
Tabela 7.5	– Montante de corte da situação-2A	247
Tabela 7.6	– Locais e montantes de capacitores	251
Tabela 7.7	– Lista de simulações	260
Tabela 8.1	– Autovalores do sistema-teste de 9 barras sem controlador	275
Tabela 8.2	– Autovalores do sistema-teste de 9 barras após inclusão do RT	275

Tabela 8.3 – Autovalores do sistema-teste de 9 barras com RT e amortecimento de 0,1	277
Tabela 8.4 – Autovalores do sistema-teste de 9 barras com RT e amortecimento de 0,2	277
Tabela 8.5 – Autovalores do sistema-teste de 9 barras com RT e amortecimento de 0,3	278
Tabela 8.6 – Autovalores do sistema-teste de 9 barras com RT após inclusão do RV	278
Tabela 8.7 – Autovalores do sistema-teste de 9 barras com RT, RV e ESP	280
Tabela 8.8 – Modos de oscilação eletromecânicos	282
Tabela 8.9 – Relação das máquinas que influenciam no modo de oscilação 1	283
Tabela 8.10 – Relação das máquinas que influenciam no modo de oscilação 3	284
Tabela 8.11 – Relação das máquinas que influenciam no modo de oscilação 5	285
Tabela 8.12 – Relação das máquinas que influenciam no modo de oscilação 7	286
Tabela 8.13 – Relação das máquinas que influenciam no modo de oscilação 9	287
Tabela 8.14 – Relação das máquinas que influenciam no modo de oscilação 11	288
Tabela A.1 – Autovalores do sistema-teste de 16 barras com RT e RV	297
Tabela A.2 – Resíduos do modo de oscilação 1	298
Tabela A.3 – Resíduos do modo de oscilação 3	299

LISTA DOS PRINCIPAIS SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ANAFAS	– Programa de Análise de Falhas Simultâneas
ANAREDE	– Programa de Análise de Redes Elétricas
ANATEM	– Programa de Análise de Transitórios Eletromecânicos
ATP	– Alternative Transient Program
CA	– Corrente Alternada
CC	– Corrente Contínua
CDU	– Controlador Desenvolvido pelo Usuário
CEPEL	– Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CIGRÉ	– Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques
CS	– Compensador Síncrono
ECE	– Esquema de Controle de Emergência
Efeito Ferranti	– Este efeito faz com que a tensão aumente ao longo da linha de transmissão. Na ausência de compensação reativa, a tensão de regime no final da linha de transmissão é sempre maior do que no início.
ESP	– Estabilizador de Sistema de Potência
FACTS	– Flexible AC Transmission Systems
FLUPOT	– Programa de Fluxo de Potência Ótimo
Hidraulicidade	– Relação entre as afluências no período observado e as afluências correspondentes a um mesmo período no ano médio
HVDC	– High Voltage Direct Current
IEEE	– Institute of Electrical and Electronics Engineers
LT	– Linha de Transmissão
LTC	– Load Tap Changer (transformador com mudança de tape em carga)
ONS	– Operador Nacional do Sistema Elétrico
PACDYN	– Programa de Análise Linear e Controle do Amortecimento de Oscilações em Sistema de Potência
RAT	– Regulador Automático de Tensão
RAV	– Regulador Automático de Velocidade
SCADA	– Supervisory Control and Data Acquisition
SE	– Subestação
SIN	– Sistema Interligado Nacional
SPB	– Sistema de Potência Brasileiro
TCSC	– Thyristor Controlled Series Compensator
tep	– Tonelada Equivalente de Petróleo
UHE	– Usina Hidrelétrica

1.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Usualmente, o porte de um sistema elétrico de potência é caracterizado pelo número de nós e suas conexões que integram a rede de tal sistema. Os problemas que envolvem sistemas de potência crescem em complexidade com o porte dos mesmos, muitas vezes exigindo um aprofundamento do grau de conhecimento dos fenômenos que afetam seu funcionamento.

Apesar do crescimento de um sistema ocorrer de forma planejada, este segue a demanda, especialmente distribuída, com concentração nos grandes centros urbanos.

A demanda por energia elétrica, crescente em bases anuais, exige um constante aumento na capacidade instalada para sua produção, assim como a construção de sistemas mais complexos, com redes que interliguem pontos de geração e cargas, cobrindo grandes distâncias territoriais.

Muitos problemas de engenharia são oriundos desta difícil tarefa de fornecer energia conforme a disponibilidade e características regionais de consumo. O planejamento, construção e operação de tais sistemas têm se tornado bastante complexos, exigindo dos engenheiros, além de profundo conhecimento, talento e experiência.

Para que um sistema funcione adequadamente, buscando evitar colapsos de tensão ou perturbações que possam acarretar uma interrupção total ou parcial no fornecimento de energia, é necessário monitorar permanentemente o seu desempenho e realizar diversos estudos visando dotá-lo de condições necessárias à transmissão e geração de energia elétrica.

A análise computacional de sistemas elétricos de potência tem se tornado uma tarefa muito complexa e abrangente, sendo inúmeras as dificuldades relacionadas a: modelagens de componentes e fenômenos; uso de técnicas numéricas e a aplicação de metodologias diversas. Estas dificuldades demandam um processo de validação de resultados que pode ser facilitado através do uso de sistemas-teste de porte reduzido. Esses sistemas têm amplo uso, não apenas em empresas do setor elétrico, como também para fins didáticos e de treinamento. Atualmente, o uso desses sistemas recai freqüentemente sobre aqueles denominados “sistemas-IEEE”, cujos dados podem ser facilmente encontrados na literatura [1, 40].

Esses sistemas de referência do IEEE, embora usados largamente na validação de modelos e programas, não oferecem um conjunto completo de dados para diversas aplicações, o que requer adaptações para que se possam realizar testes específicos. Além desta dificuldade, esses sistemas refletem uma realidade diversa daquela prevalente no sistema elétrico brasileiro. Algumas vezes, a alternativa prática situa-se no emprego de sistemas fictícios, o que não é completamente satisfatório.

1.2 OBJETIVO

Esta Dissertação tem como objetivo a proposição de uma coleção de sistemas-teste de portes reduzidos, definidos por suas topologias e relação abrangente de parâmetros elétricos. O uso desses sistemas é ilustrado através de simulações de condições operativas de interesse para estudos típicos de análise de redes elétricas. Os processamentos computacionais são realizados através dos aplicativos computacionais comumente usados no setor elétrico brasileiro, abrangendo os seguintes problemas: fluxo de potência, fluxo de potência ótimo, curto-circuito, estabilidade transitória e estabilidade a pequenas perturbações.

Para os analistas e pesquisadores motivados para a solução de problemas assemelhados aos encontrados no sistema elétrico brasileiro, o diferencial favorável destes novos sistemas-teste situa-se no fato de que foram envidados esforços para que os mesmos fossem artesanalmente criados a partir de dados reais, definidos por similaridade

de topologias e com uma vasta relação verossímil dos respectivos parâmetros elétricos e condições operativas encontradas no sistema elétrico nacional.

Para cada um dos estudos foram criados casos-base de referência, com premissas abrangentes, para a garantia de reprodutibilidade de resultados por outros analistas, estudantes e pesquisadores. Para cada aplicativo computacional utilizado, foram criados cenários realistas que evidenciam problemas tradicionalmente relevantes como: violações de critérios, colapsos, instabilidade, oscilações etc, apresentando e comentando os resultados encontrados nas simulações. Nesse contexto, a Dissertação tem utilidade didática e pode ser útil como paradigma para validação de processamentos computacionais da área de sistemas de potência. O CD que acompanha a Dissertação contém os arquivos utilizados nos experimentos de processamento computacional que foram efetuados com os aplicativos do CEPEL.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta Dissertação é composta de nove capítulos, sendo que este primeiro refere-se à introdução deste estudo, a estrutura geral do trabalho e seu objetivo. Uma parte do trabalho foi aceito para publicação no XIX SNPTEE [2].

No Capítulo 2, são abordadas as principais características do sistema elétrico de potência brasileiro, tais como: fontes primárias, capacidade instalada, topologia de transmissão e carga. Tal capítulo justifica-se porque é do sistema brasileiro que serão extraídos os sistemas-teste.

No Capítulo 3, são apresentados os cinco sistemas-teste propostos, suas principais características e peculiaridades, descrevendo-se os critérios e procedimentos adotados na sua elaboração. Um abrangente conjunto de parâmetros é registrado em adendos ao capítulo.

No Capítulo 4, encontram-se os resultados da avaliação de desempenho dos sistemas-teste elaborados em condição de regime permanente (*fluxo de potência*), bem como as análises dos estudos realizados.

No Capítulo 5, o interesse volta-se para a avaliação de desempenho dos sistemas-teste em condição otimizada (*fluxo de potência ótimo*), sendo apresentados os resultados encontrados e as análises dos estudos realizados.

No Capítulo 6, são apresentados e comentados os resultados da avaliação de desempenho dos sistemas-teste obtidos em condição anormal (*curto-circuito*).

No Capítulo 7, são descritos os resultados da avaliação de desempenho dos sistemas-teste em condição de regime dinâmico transitório (*estabilidade transitória*).

No Capítulo 8, são apresentados os resultados da avaliação de desempenho dos sistemas-teste em condição de regime dinâmico linearizado, sob pequenos distúrbios (*estabilidade a pequenas perturbações*).

No Capítulo 9, são apresentadas as conclusões e sugestões de trabalhos futuros. O CD que acompanha a Dissertação contém os arquivos de todos os casos utilizados, úteis para as simulações computacionais.

* * *

CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE POTÊNCIA BRASILEIRO

2.1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui além de grande extensão territorial, abundância de recursos energéticos, com destaque para o enorme potencial hídrico, responsável por cerca de 14 % da capacidade mundial [3], sendo esta a fonte mais utilizada na produção de energia elétrica.

O sistema de potência brasileiro (SPB) teve seu desenvolvimento iniciado na região Sudeste e se estendeu pelas outras regiões do país à medida que novas usinas foram sendo construídas. A partir de 1965, teve início no Brasil o processo de padronização da frequência para 60 Hz, requisito fundamental à interligação de sistemas.

Em 1999, foi feita a interligação de dois grandes subsistemas: Sul/Sudeste/Centro-Oeste e o Norte/Nordeste; isto se deu através de uma linha de transmissão com 1278 km, interligando as subestações de Serra da Mesa (Goiás) e Imperatriz (Maranhão). O forte crescimento da demanda nas regiões Sul/Sudeste/Centro-Oeste aliado ao quase esgotamento dos grandes aproveitamentos hidrelétricos dessas regiões fizeram com que se buscasse interligar os dois subsistemas para permitir transferências de energia e melhor utilização dos recursos energéticos destas regiões.

O racionamento ocorrido em 2001 revelou severas limitações de corredores para transmissão de energia no SPB. Na região Sul não houve racionamento, mas somente parte do seu excedente de energia tinha como ser transmitido para a região Sudeste. Também o excedente da região Norte não podia ser transmitido totalmente para as regiões Sudeste e Nordeste. Esse problema fez acelerar e antecipar vários empreendimentos de transmissão que estavam em processo de construção e previstos, de modo a aumentar a capacidade de transmissão e reduzir riscos.

O SPB se caracteriza pela diversidade de fontes de energia, pelas grandes usinas localizadas em aproveitamentos hidrelétricos distantes dos grandes centros consumidores (como Tucuruí e Itaipu), além de várias outras usinas hidrelétricas localizadas ao longo dos rios Grande, Paranaíba, Paranapanema, Paraná, Iguaçu, Tocantins e São Francisco, formando grandes bacias, com regimes hidrológicos diferentes, que exigem uma operação coordenada e otimizada para que as usinas a montante possam receber água suficiente para gerar energia.

Sendo a energia elétrica um bem de consumo determinante para o desenvolvimento sócio-econômico de qualquer país, o Brasil terá grandes desafios nos próximos anos, para expandir sua capacidade instalada, com mínimo custo e de forma ambientalmente sustentada, garantindo segurança e confiabilidade ao sistema.

2.2. FONTES PRIMÁRIAS DE ENERGIA

Entende-se como fontes primárias de energia aquelas providas pela natureza. O Brasil dispõe de praticamente todas as alternativas de fontes primárias para produção de energia elétrica [4], a saber: grande potencial hídrico; expressiva reserva de urânio; amplas possibilidades de aproveitamento de fontes renováveis como biomassa, eólica e solar; reservas de carvão mineral, petróleo e gás natural.

De todas alternativas de fontes primárias apontadas, a geração hidrelétrica apresenta as condições mais favoráveis. O potencial nacional, de acordo com dados disponíveis [5] é de 260 GW. Cerca de 85% desse potencial encontra-se localizado nas regiões Norte e Centro-Oeste, a grandes distâncias dos centros de consumo, o que requer longas linhas de transmissão. Adicionalmente, os sítios utilizáveis estão, em sua grande maioria, localizados dentro ou nas proximidades de unidades de conservação ambiental e reservas indígenas, implicando significativos impactos sócio-ambientais.

No Brasil, as fontes primárias de energia utilizadas no processo de produção de energia elétrica são: água (energia hidráulica), petróleo, gás natural, carvão mineral (energia térmica), urânio (energia termo-nuclear), vento (energia eólica), sol (energia solar) e biomassa. Cada uma delas representando num dado momento, uma determinada

parcela nas matrizes elétrica e energética nacional [5], sendo classificadas em fontes renováveis (energia hidráulica, eólica, solar e biomassa) e não renováveis (petróleo, gás natural, carvão mineral e urânio), como indicam as Figuras 2.1 e 2.2.

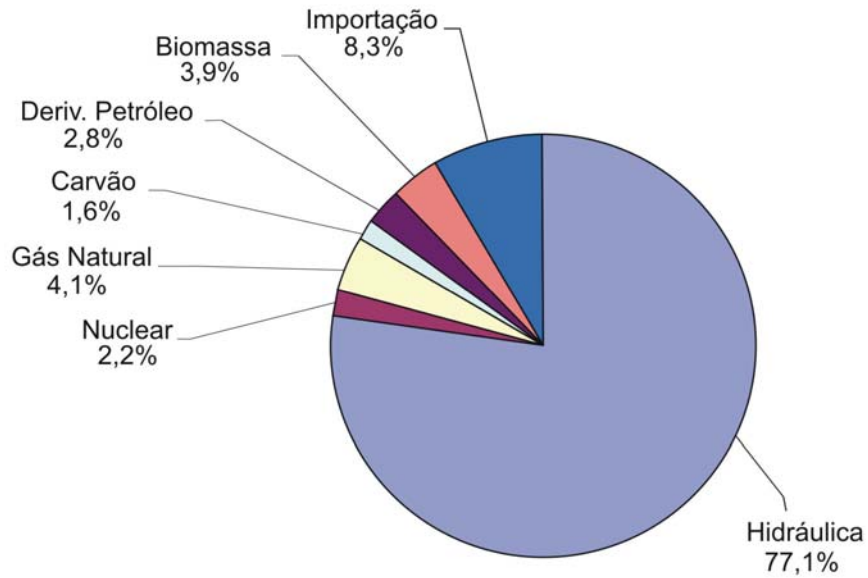


Figura 2.1 – Matriz elétrica brasileira – 2005

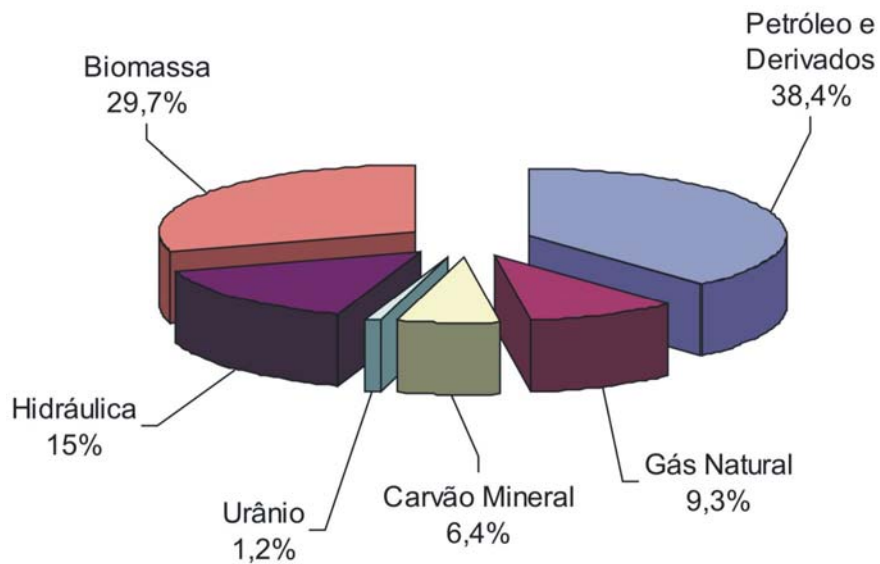


Figura 2.2 – Matriz energética brasileira - 2005

A Figura 2.1 mostra um gráfico da distribuição percentual de toda a eletricidade produzida no país durante o ano de 2005 por tipo de fonte, de um total produzido 441,635 TWh. Enquanto que a Figura 2.2 mostra um gráfico da oferta interna de energia em percentual referente ao ano de 2005 por tipo de fonte, de um total ofertado de $218,6 \times 10^6$ tep.

Em relação às fontes primárias, observa-se que:

- (i) Em função do enorme potencial hídrico, a energia hidrelétrica deverá permanecer como a principal fonte por muitos anos, uma vez que ainda não foi totalmente explorada.
- (ii) A participação do gás natural na matriz energética, com fins de geração de energia elétrica, deverá ficar limitada em função da dificuldade de obtenção do produto no mercado externo e pela prioridade de seu uso em outros setores, como principalmente na indústria petroquímica de transformação.
- (iii) Quanto às fontes alternativas, eólica e biomassa (bagaço de cana e outros resíduos vegetais), deverão ocupar uma fração percentual maior na matriz energética, devido aos problemas de poluição global da atmosfera causados pelas fontes não renováveis, que vêm exigindo de todos os países o uso de combustíveis limpos.

Apesar da diversificação da matriz energética brasileira nos últimos anos, com a busca de novos recursos energéticos, principalmente aqueles de fontes renováveis, seu uso intensivo para produzir grandes blocos de energia esbarra no problema da disponibilidade do recurso de forma contínua [6]. Nesse aspecto, como o sistema elétrico brasileiro vem requerendo significativas quantidades de energia, deverá a médio e longo prazo evoluir de um sistema predominantemente hidrelétrico para um sistema hidrotérmico, de modo a minimizar os riscos de desabastecimento por conta das incertezas hidrológicas.

2.3. PARQUE GERADOR E CAPACIDADE INSTALADA

A Tabela 2.1 apresenta a composição do parque gerador brasileiro, com a potência instalada total em operação no país até 2005, por tipos de fontes [4]:

Tabela 2.1 – Parque gerador brasileiro

Fonte	Capacidade Instalada	
	MW	%
Grandes Hidrelétricas	65 128	76,56
Termelétricas a Gás	6 361	7,48
Termelétricas a Petróleo	5 652	6,64
Termelétricas a Carvão	1 461	1,72
Nuclear	2 007	2,36
Eólica	22	0,03
Pequenas Centrais Hidrelétricas	2 027	2,38
Biomassa	2 410	2,83
Total	85 068	100,0

A Tabela 2.2 apresenta a capacidade nominal instalada por fonte de geração e por subsistema até 31 de março de 2005 [7].

Tabela 2.2 – Potência instalada total

Subsistema	Hidro (MW)	Termo (MW)	Total (MW)
Sul/Sudeste/Centro-Oeste	51 300 (*)	9 965	61 265
Norte/Nordeste	17 406	1 830	19 236
Total	68 706 (*)	11 795	80 501
Participação (%)	85,3	14,7	100,0

(*) Com 50% da capacidade nominal de Itaipu - Brasil.

2.4. TOPOLOGIA DA TRANSMISSÃO

O sistema de transmissão brasileiro compõe-se de longas linhas de transmissão, com grandes corredores, que levam a energia gerada nas regiões produtoras aos grandes centros consumidores. Operando quase todo interligado, exceto alguns sistemas isolados na região Norte do país, o SPB possui grandes troncos de interligações regionais nos

níveis de tensão: 138kV, 230kV, 345kV, 440kV, 500kV e 750kV em corrente alternada, mais o corredor de transmissão em corrente contínua que liga o setor de 50 Hz da usina de Itaipu, em Foz do Iguaçu no estado do Paraná, até a subestação de Ibiúna no estado de São Paulo em ± 600 kV. A Tabela 2.3 apresenta a extensão do sistema de transmissão relativo ao SIN, compreendendo os níveis de tensões de 138 kV a 750 kV, atingindo 144.382,2 km de linhas de transmissão em dezembro de 2005 [4].

Tabela 2.3 – Extensão das linhas de transmissão do SIN em km

Tensão (kV)	2005
138	61 333,0
230	35 736,5
345	9 579,1
440	6 667,5
500	26 771,1
600 CC	1 612,0
750	2 683,0
TOTAL	144 382,2

O Brasil possui também interligações internacionais com o Paraguai através da UHE Binacional de Itaipu, que tem sua energia gerada igualmente dividida entre os dois países; com a Argentina em Garabi e Uruguaiana, sendo a principal em Garabi com uma capacidade nominal de transmissão de 2.200MW; com o Uruguai em Livramento, através de elos de corrente contínua ligados a conversoras de frequência 50/60Hz, uma vez que esses sistemas operam em 50 Hz; e com a Venezuela através de uma linha de transmissão de 230kV em corrente alternada 60 Hz, ligando Boa Vista no Brasil a Santa Elena na Venezuela.

A Figura 2.3 mostra um mapa do Brasil simplificado, com as principais linhas de transmissão do sistema elétrico brasileiro (configuração prevista para 2016). Nota-se que nesse horizonte estão previstas ampliações de transmissão que abrangem as interligações dos sistemas Manaus, Macapá e Acre-Rondônia ao SIN. O mapa contempla ainda, as ampliações previstas para o escoamento da potência gerada pelo aproveitamento hidrelétrico do rio Madeira.

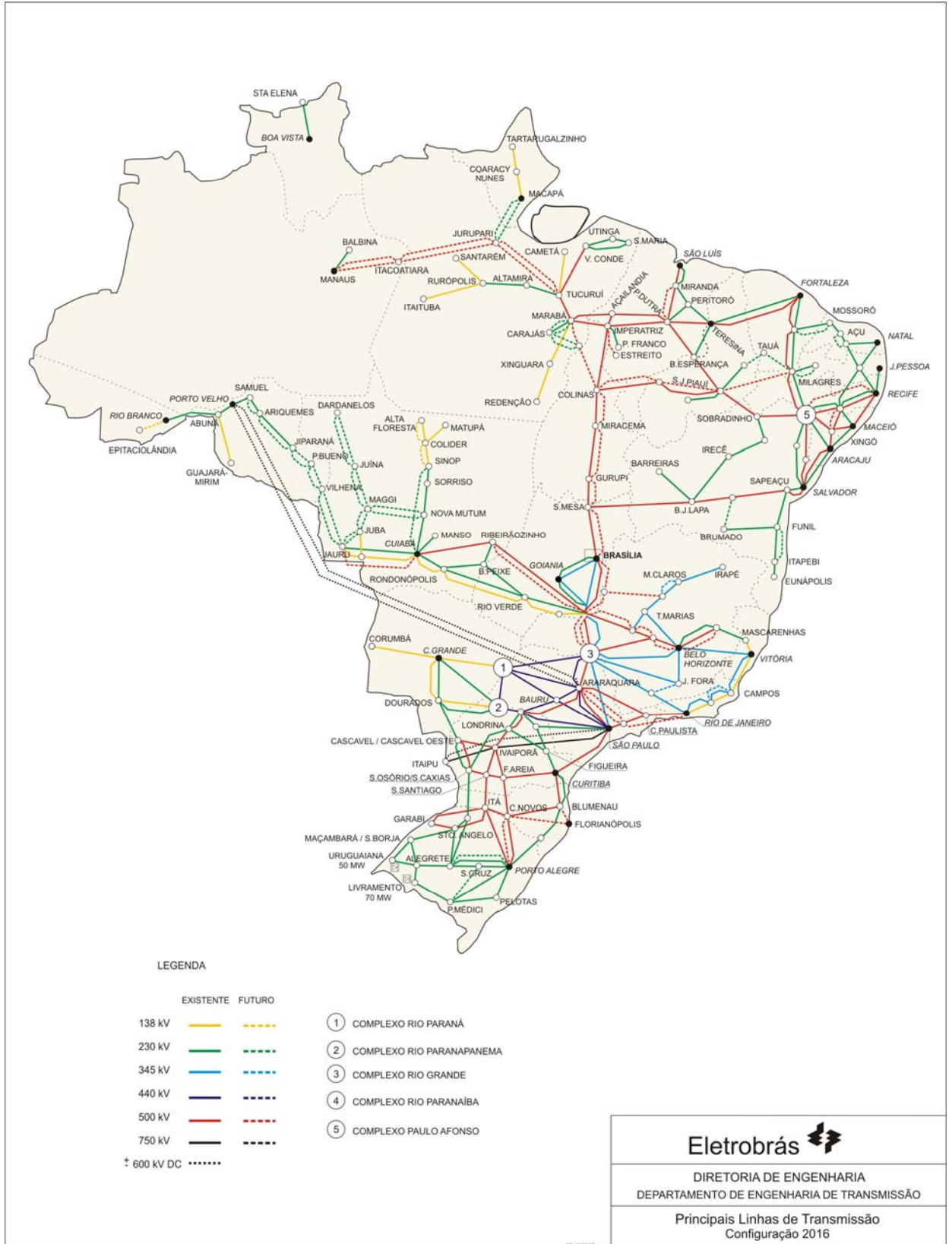


Figura 2.3 - Mapa do sistema elétrico brasileiro – configuração 2016

2.5. CARGA

O mercado consumidor de energia elétrica no Brasil vem apresentando um crescimento bastante elevado frente a outras formas de energia. Esse crescimento tem ocorrido devido ao aumento da densidade de cargas em áreas urbanas e suburbanas nas grandes cidades brasileiras, pela evolução das indústrias de equipamentos elétricos e eletrônicos e pela expansão geográfica dos sistemas elétricos [8 e 9].

O consumo de energia elétrica se distribui de forma diferente entre os tipos de consumidores, sendo classificados em função da atividade econômica exercida, como mostrado na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Consumo por classe em 2005

Classes	GWh	Percentual
Residencial	81 840	24,6
Industrial	149 409	44,8
Comercial	52 649	15,8
Outros	49 435	14,8
Total	333 333	100,0

Além disso, o consumo de energia também é influenciado por outros fatores como: estrutura tarifária, sazonalidade e situação econômica do país. A Tabela 2.5 mostra o consumo de energia elétrica no Brasil e nos subsistemas elétricos.

Tabela 2.5 - Consumo de energia no Brasil

Brasil e Subsistemas	Consumo Total (GWh)		Varição (%)
	Janeiro-Junho/2004	Janeiro-Junho/2005	
Sistemas Isolados	3 193	3 372	5,6
Norte Interligado	10 920	11 248	3,0
Nordeste	21 834	23 424	7,3
Sudeste/Centro Oeste	93 939	99 197	5,6
Sul	27 865	29 100	4,4
Brasil	157 750	166 340	5,4

Pela Tabela 2.5 pode-se ver que o consumo de energia elétrica se concentra na região Sudeste/Centro Oeste de melhor situação econômica.

2.6. SUMÁRIO

De um modo geral, o suprimento de energia elétrica no Brasil não desperta preocupações porque se dispõe de recursos abundantes. Mesmo na área de combustível fóssil, o petróleo e o gás natural atendem às necessidades previstas. Além disso, o País dispõe de reserva importante de urânio.

A análise da matriz elétrica, em comparação com países mais desenvolvidos, mostra ainda a baixa utilização da geração distribuída de energia elétrica, conseqüência de trinta anos de forte crescimento da implantação de grandes centrais hidrelétricas; mas agora a geração térmica complementar e a cogeração em sistemas industriais e comerciais poderá ser um fator importante de economia e segurança no suprimento.

As características físicas e geográficas do Brasil foram determinantes para a implantação de um parque gerador de energia elétrica de base predominantemente hidráulica. Como cerca de 25% de todo o potencial hidrelétrico conhecido correspondem a usinas em operação e em construção, estima-se que pelo menos nas duas próximas décadas, as fontes hidráulicas continuarão a desempenhar importante papel no atendimento à crescente demanda de energia elétrica.

Dadas as peculiaridades energéticas e topológicas do sistema brasileiro, brevemente identificados neste capítulo, procurou-se, na medida do possível, refleti-las nos sistemas-teste a seguir propostos.

* * *

3.1. INTRODUÇÃO

A análise computacional de sistemas elétricos de potência é complexa e abrangente. Tal análise pode ser facilitada através do uso de sistemas-teste de porte reduzido, que permitem um melhor controle sobre as variáveis do problema a ser resolvido, observando-se como este se comporta diante de algumas situações reais ou simuladas. Neles pode-se também simular os mesmos fenômenos físicos que envolvem um sistema de grande porte, porém obtendo-se uma visão mais global do comportamento do sistema [1 e 10].

Diversos são os sistemas-teste tradicionalmente usados, tais como o *New England 39 barras*, *IEEE-14 barras*, *IEEE-24 barras*, *IEEE-30 barras*, *IEEE-57 barras*, *IEEE-118 barras*, etc. Ocorre que os dados desses sistemas não são completos o suficiente para a realização de vários tipos de estudos [1]. Visando sanar este problema, este capítulo propõe uma coleção de sistemas-teste de portes diversos, nos quais é possível simular condições operativas de interesse para os estudos de análise de redes elétricas, através de vários aplicativos computacionais comumente usados no setor elétrico brasileiro, abrangendo, entre outros, os seguintes problemas: *fluxo de potência*, *fluxo de potência ótimo*, *curto-circuito*, *estabilidade transitória* e *estabilidade a pequenas perturbações*.

O sistema de porte mais reduzido (com 9 barras) foi proposto visando tão-somente a reprodução manual de resultados numéricos para fins didáticos-ilustrativos. Os dados referentes aos parâmetros numéricos deste sistema são reais. Os demais sistemas propostos foram artesanalmente criados a partir de dados extraídos do sistema elétrico brasileiro com uma vasta relação de parâmetros elétricos e condições operativas. Para cada um dos estudos realizados foram criados casos-base de referência, com premissas definidas para a garantia de reprodutibilidade por outros analistas, estudantes e pesquisadores. Para cada aplicativo computacional utilizado, foram criados cenários

realistas que evidenciam problemas elétricos tradicionalmente relevantes como: violações de critérios, colapsos, instabilidade, oscilações, etc.

3.2. DIRETRIZES PARA A CONCEPÇÃO DOS SISTEMAS-TESTE

A filosofia básica que norteou a proposição de sistemas-teste apoiou-se nos seguintes aspectos: *(i) reprodutibilidade de resultados numéricos; (ii) ilustração prática de uso dos aplicativos computacionais adotados no setor elétrico nacional; (iii) esboço da solução de alguns problemas reais especificados nos Procedimentos de Rede do ONS [11].*

O primeiro aspecto foi atendido pela especificação inequívoca de uma lista abrangente de dados, informações e características de cada um dos sistemas. O segundo quesito compreendeu a construção das listas dos dados de entrada de cada um dos aplicativos testados (ANAREDE, FLUPOT, ANAFAS, ANATEM e PACDYN) todos do CEPEL. Finalmente, o último item foi atendido exemplificando-se o uso dos aplicativos computacionais nos processamentos realizados com os sistemas-teste visando o atendimento a diversos critérios registrados nos Procedimentos de Rede.

Então foram criados cinco sistemas-teste de dimensões reduzidas: 9, 16, 33, 65 e 107 barras. Para este último foram criadas duas redes, uma totalmente em CA e outra híbrida CA/CC. Os quatro maiores tiveram como origem o sistema elétrico brasileiro, desde a topologia até a concepção dos dados utilizados na sua preparação, enquanto que o sistema menor (de cunho estritamente didático) utilizou apenas dados reais de parâmetros. Os sistemas elaborados preservaram na medida do possível as características e particularidades do sistema original, visando retratar de maneira fiel o comportamento daquele trecho do sistema elétrico brasileiro.

Toda a base de dados utilizada na elaboração dos sistemas-teste foi obtida através do portal do ONS, conforme apresentado na Tabela 3.1. Esses arquivos estão disponibilizados na Internet para utilização dos diversos agentes do setor e são frequentemente atualizados conforme a evolução do sistema elétrico brasileiro. Cabe salientar que os casos-base, denominados de casos de referência, constituem a base de dados para períodos específicos do ano, sendo ajustados de acordo com o detalhamento do

estudo e a característica do comportamento da carga da área de interesse, e servem de base para avaliação do desempenho elétrico do SIN nos diversos estudos realizados.

Tabela 3.1 – Base de dados utilizada

BASE DE DADOS			
Tipo de Estudo	Programa	Período	
		Mês	Ano
Fluxo de potência	Anarede	Fevereiro	2006
Curto-circuito	Anafas	Dezembro	2005
Estabilidade eletromecânica	Anatem	Maio	2006
Estabilidade a pequenas perturbações	Pacdyn	Setembro	2004

A seguir, serão apresentadas nas Tabelas 3.2 e 3.3 algumas características particulares dos sistemas-teste propostos, salientando que essas se referem aos casos de referência.

Tabela 3.2 – Número de elementos dos sistemas-teste

Características dos Sistemas-Teste						
Número de Elementos	9 barras	16 barras	33 barras	65 barras	107 barras	
					CA	CA-CC
Barras CA	9	16	33	65	107	111
Barras CA com geração	2	3	7	15	24	26
Capacitores shunt de barra	0	1	7	18	32	38
Reatores shunt de barra	0	3	8	18	24	24
Transformadores	2	9	45	97	150	158
Transformadores com LTC	0	3	17	18	20	28
Circuitos CA	8	14	26	53	104	106
Usinas	2	2	7	14	23	23
Máquinas síncronas	2	4	28	65	103	103
Compensadores síncronos	0	1	0	1	1	3
Compensadores estáticos	0	0	0	0	1	1
Elos CC	0	0	0	0	0	2
Barras CC	0	0	0	0	0	8
Circuitos CC	0	0	0	0	0	1

Tabela 3.3 – Capacidade dos sistemas-teste

Características dos Sistemas-Teste					
Capacidade Total	9 barras	16 barras	33 barras	65 barras	107 barras
Geração Ativa (MW)	450	758	8 912	17 858,2	22 080,2
Geração Reativa (Mvar)	218	430	3 512	6 574	8 233,8
Absorção Reativa (Mvar)	218	410	3 379	6 435	8 483,6
Carga Ativa (MW)	325	554	5 085	10 087,1	12 681,7
Carga Reativa (Mvar)	153	358	1 190	2 460,6	3 597,5

Nas próximas seções, passa-se a descrever os sistemas-teste propostos.

3.3. Sistema-Teste Brasileiro de 9 Barras (STB-9)

Na Figura 3.1 é apresentada a rede elétrica do sistema-teste com 9 barras. Trata-se de um sistema muito simples, composto por uma área elétrica, com topologia em anel ou malha. Os geradores estão posicionados nos extremos do sistema, num total de dois geradores, totalizando 450 MW distribuídos em duas usinas, sendo uma de 250 MW e outra de 200 MW. As cargas estão colocadas no interior do sistema, distribuídas em cinco barras, totalizando uma demanda máxima de 325 MW e 153 Mvar. A rede elétrica em circuitos simples de 230kV, num total de oito linhas de transmissão, com redundância, pois em todas as barras chegam pelo menos dois circuitos. Não tem transformador de interligação de níveis de tensão diferentes, apenas transformador elevador de usina com tape fixo. Não possui nenhum elemento em derivação para controle de tensão, que é feito somente pelos geradores através da variação da tensão de excitação das máquinas. Os dados deste sistema encontram-se no Adendo I do presente capítulo.

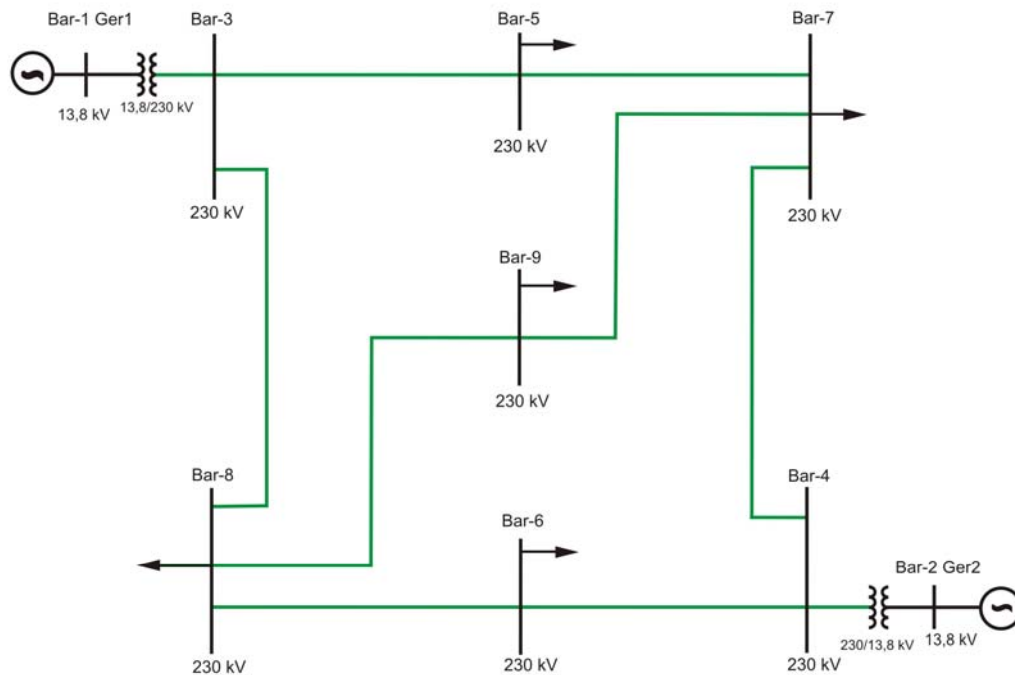


Figura 3.1 - Diagrama unifilar do sistema-teste brasileiro de 9 barras (STB-9)

3.4. Sistema-Teste Brasileiro de 16 Barras (STB-16)

Na Figura 3.2 apresenta-se a rede do sistema-teste com 16 barras, extraído a partir de dados do sistema de Furnas da região Goiás/Brasília, em três níveis de tensão (138kV, 230kV e 345kV). Este sistema foi montado a partir de trechos emendados do sistema elétrico daquela região, porém sem apresentar uma similaridade de topologia. Possui duas áreas elétricas, área 1 que concentra a rede de alta tensão (345kV) e a área 2 que fica com a rede de baixa tensão (230kV). Possui dois geradores com capacidade instalada total de 758 MW, distribuídos em duas usinas geradoras, sendo uma de 380 MW na área 1 e outra de 378 MW na área 2, para atender uma demanda máxima de carga ativa de 554 MW e reativa de 358 Mvar. A rede de transmissão em malha fechada com circuitos simples e duplos, totalizando quatorze circuitos. Possui três transformadores de interligação de níveis de tensão diferentes e para controle de tensão, um compensador síncrono ligado à barra 9 e dispositivos em derivação: três reatores e um capacitor. As cargas estão bem distribuídas, praticamente em todas as barras do sistema.

Trata-se de um sistema ainda com aspecto didático (os nome das barras são fictícios), mas apresentando características de um sistema real. Para este sistema, foram

montados três casos-base com cenários distintos de geração e carga, denominados de carga pesada, média e leve. Os diferentes cenários mostram as diferenças de mercado e sua influência no controle de tensão, exigindo o uso de dispositivo em derivação para manter o perfil de tensão dentro de limites especificados. Os dados deste sistema encontram-se no Adendo II do presente capítulo.

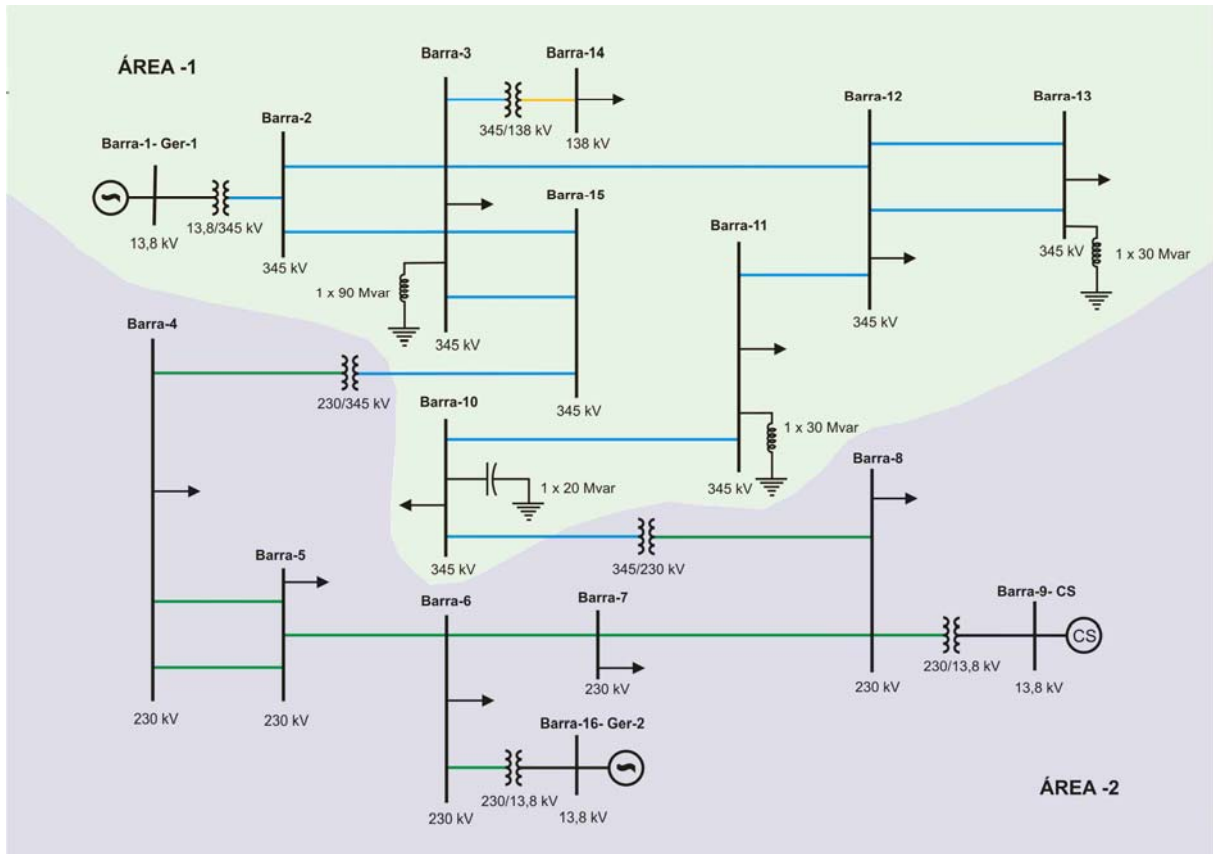


Figura 3.2 - Diagrama unifilar do sistema-teste brasileiro de 16 barras (STB-16)

3.5. Sistema-Teste Brasileiro de 33 Barras (STB-33)

Na Figura 3.3 é apresentado o diagrama unifilar do sistema-teste com 33 barras, também denominado de sistema Sul. Este sistema foi elaborado a partir de dados extraídos da malha de 500kV da região Sul do Brasil, acoplado com um trecho em 230kV, formando um anel. A escolha deste sistema se deve às suas características topológicas de um arranjo todo malhado que interliga as usinas da região, formando um sistema de transmissão robusto.

Tal sistema foi dividido em duas áreas geoeletricas A e B, interligadas por duas linhas de transmissão e um transformador, em pontos distintos da rede. Cada área possui capacidade instalada de geração suficiente para atender a demanda total das suas cargas. Porém, a capacidade de geração da área A está próxima de seu limite, enquanto que a área B possui um montante de geração maior que a da área A e o seu mercado consumidor é pequeno, acarretando numa folga de geração. Por essa razão, o intercâmbio entre as áreas ocorre de B para área A.

Cabe salientar a respeito deste trecho do sistema brasileiro que, apenas esta região adotou como tensão base o valor de 525kV. Nas demais regiões do país, a tensão base adotada foi de 500kV. Na verdade, os equipamentos do sistema de 500kV são todos dimensionados para tensão nominal de 525kV. O que difere é o valor adotado como tensão base. Esta diferença não deve ser confundida com o valor da tensão de operação, que em kV, é sempre a mesma.

Nos sistemas-teste propostos, para facilitar, a tensão nominal de operação é igual a tensão base do sistema, correspondendo sempre a 500kV, sem qualquer conversão de base. Os dados deste sistema encontram-se no Adendo III do presente capítulo.

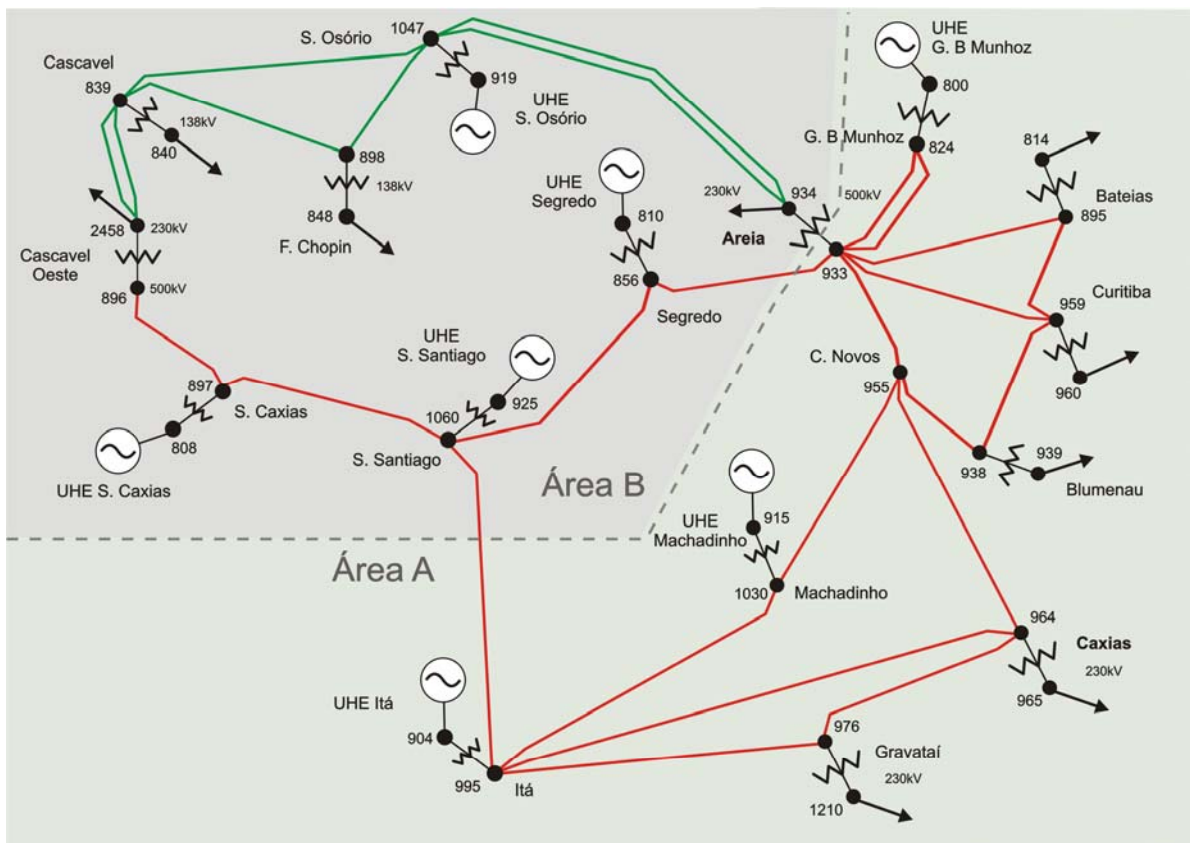


Figura 3.3 - Diagrama unifilar do sistema-teste brasileiro de 33 barras (STB-33)

3.6. Sistema-Teste Brasileiro de 65 Barras (STB-65)

Na Figura 3.4 é apresentado o diagrama unifilar do sistema-teste com 65 barras, que abrange o sistema-teste de 33 barras da região Sul, com a rede de 230kV estendida de Areia até Blumenau, conectando também a Curitiba, mais a rede de 500kV da região Sudeste do Brasil, formando um sistema interligado. Este sistema está dividido em dois subsistemas denominados de subsistema Sul e subsistema Sudeste, conectados eletricamente por dois longos circuitos em 500kV, ligando a subestação de Bateias no Sul à subestação de Campinas no Sudeste, tendo entre esses dois pontos a subestação de Ibiúna. Esta pertence eletricamente a área Sudeste, porém funciona como um ponto de controle, possuindo um compensador síncrono a ela conectado.

A característica relevante deste sistema está em permitir estudar a influência das usinas de uma região em relação às demais de outra região, em razão do posicionamento concentrado em cada região, um conjunto de usinas no Sul e outro no Sudeste, conectadas por longas linhas de transmissão. A capacidade total de geração destes subsistemas é equilibrada, sendo 8.946,2 MW na região Sudeste e 8.912 MW na região Sul. Tal equilíbrio ocorre também na distribuição das cargas, sendo 4.398 MW no Sudeste e 5.689,1 no Sul. Outra situação interessante nesse sistema, decorre das fontes de tensão da região Sudeste estarem muito afastadas do centro de carga compreendido pelas subestações de Campinas, Poços de Caldas, Itajubá e Cachoeira Paulista. Este afastamento provoca carregamentos excessivos nas linhas de transmissão e insuficiente compensação reativa das cargas, acarretando problemas no controle de tensão. Além dessas características mencionadas, devido ao equilíbrio existente entre geração e carga em cada área, pode ocorrer uma condição de operação em que a interligação fique pouco carregada. Desta forma, operando com um fluxo muito baixo entre os dois subsistemas, ocorre um problema conhecido como efeito “ferranti” em que a linha se comporta como uma fonte de reativo, gerando um montante de potência reativa que, em muitos casos, se torna significativo, a ponto de elevar a tensão nos terminais desta linha, exigindo a utilização de elementos que absorvam esta potência reativa para minimizar seus efeitos. Os dados deste sistema encontram-se no Adendo IV do presente capítulo.

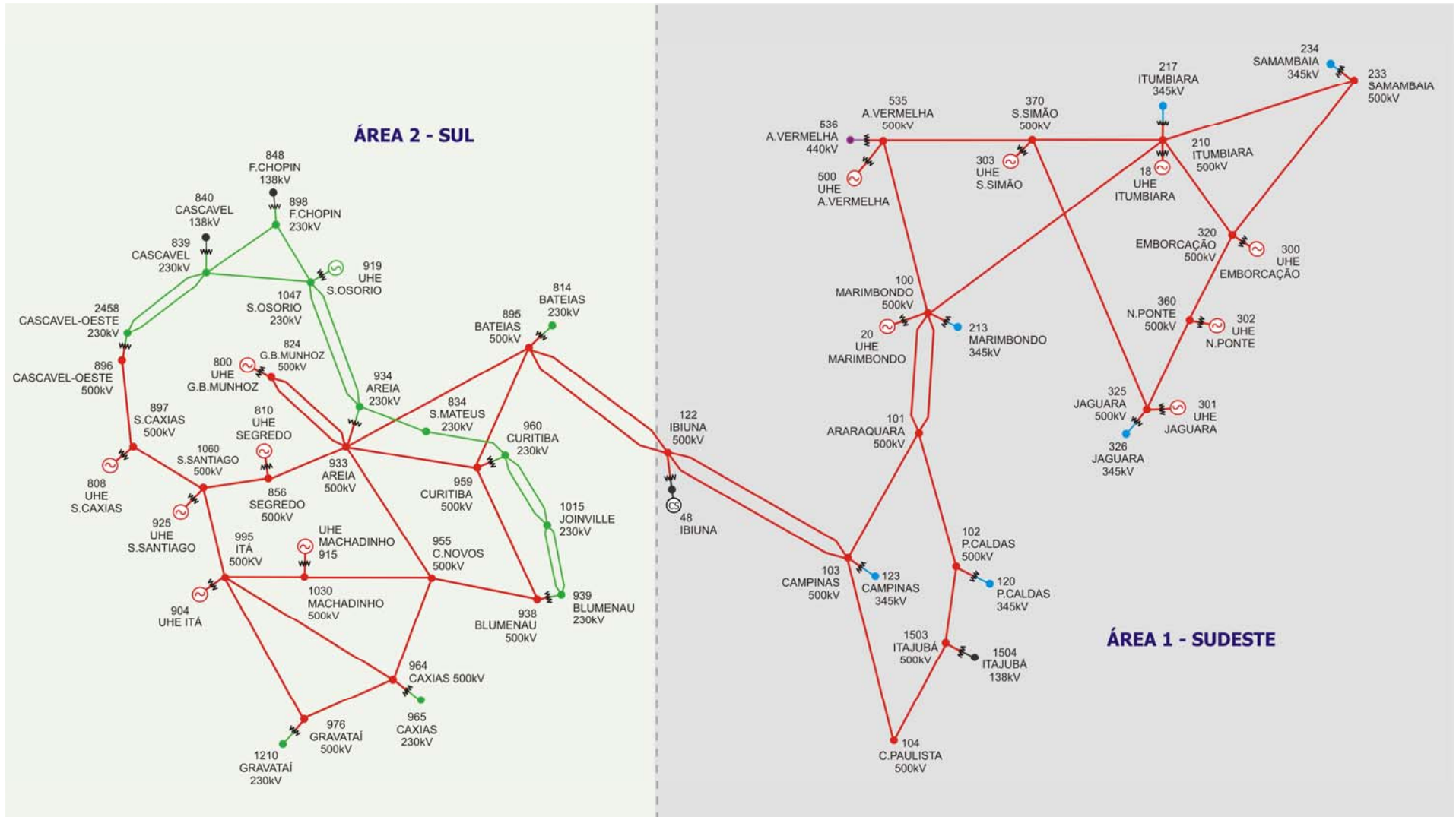


Figura 3.4 - Diagrama unifilar do sistema-teste brasileiro de 65 barras (STB-65)

3.7. Sistema-Teste Brasileiro de 107 Barras CA (STB-107CA)

Na Figura 3.5 é apresentado o diagrama unifilar do sistema-teste com 107 barras, versão totalmente em corrente alternada, que abrange o sistema-teste de 65 barras (com apenas um circuito entre as subestações de Campinas e Ibiúna) acrescido das usinas e da malha de transmissão em 345kV da região Sudeste, expandido com a inclusão do sistema de suprimento ao Mato Grosso em 230kV. Ele está dividido em três subsistemas denominados de Sul, Sudeste e Mato Grosso, com capacidade total de geração de 22.080 MW e possuindo uma carga total de 12.679 MW. O subsistema Sudeste concentra a maior capacidade de geração; cerca de 56% de toda a geração disponível no sistema.

A realização de intercâmbios entre os subsistemas oferece a possibilidade de ganhos energéticos com a operação otimizada de suas usinas, devido às sazonalidades presentes no sistema elétrico brasileiro. Portanto, a característica a destacar neste sistema está nos estudos de intercâmbios de energia entre as regiões, avaliando seus fatores limitantes envolvendo capacidade de transmissão e restrições operativas.

Outro fato relevante para a escolha deste sistema está na fragilidade existente no subsistema Mato Grosso, interligado ao subsistema Sudeste através de duas linhas de transmissão em 230kV a partir da SE Itumbiara, sendo muito dependente do recebimento de energia através deste tronco de transmissão. Este subsistema possui pontos com topologia de sistema radial atendidos em circuito simples. Essa situação exige cuidados na operação do sistema que funciona interligado, de modo que problemas nessa área não prejudiquem o restante do sistema. Os dados deste sistema encontram-se no Anexo V do presente capítulo.

3.8. Sistema-Teste Brasileiro de 107 Barras Híbrido (STB-107H)

Na Figura 3.6 é apresentado o diagrama unifilar do sistema-teste de 107 barras versão híbrida, que possui um elo de corrente contínua bidirecional, ligando a subestação de Salto Santiago na região Sul à subestação de Itumbiara na região Sudeste. A inserção desse elo de corrente contínua (CC), proporciona a esse sistema a operação em paralelo com um sistema de transmissão em corrente alternada (CA). A presença de um elo CC em paralelo com um sistema de transmissão CA pode conduzir esse sistema a um aumento efetivo nos limites de estabilidade transitória do sistema CA e no aumento do amortecimento de oscilações eletromecânicas entre as máquinas síncronas componentes do sistema elétrico em corrente alternada [12].

O elo CC proposto é baseado no modelo de Itaipu [13], possui corrente nominal de 2610A e tensão nominal de 600kV, portanto a potência nominal é de 1566MW. Foram aproveitados apenas dois pólos de transmissão formando um bipolo, sendo constituídos por uma associação de pontes de 12 pulsos para reduzir a injeção de harmônicos no sistema CA provenientes do processo de comutação. Os parâmetros *alfa* e *gama* do elo CC, que controlam a corrente que passa no elo e conseqüentemente a potência transmitida, foram ajustados de modo a permitir uma transmissão de potência elétrica numa faixa de 100 MW até 1566 MW, bastando para isso modificar o valor da potência especificada no cartão DCCV (dados de controle de conversor CA-CC) do programa ANAREDE, no campo Vsp (valor especificado).

A transmissão em corrente contínua pode ser utilizada com vantagem para o transporte de grandes blocos de energia a longa distância, em transferências energéticas entre regiões. Neste caso, o referido elo CC foi inserido neste sistema com este propósito, pois o regime hidrológico das bacias dessas regiões tem comportamentos complementares, ou seja, quando a afluência na bacia do rio Iguaçu no Sul (UHE S.Santiago) está alta, as bacias dos rios Grande e Paranaíba no Sudeste (UHE Itumbiara) estão baixas.

O elo foi ligado nos barramentos das usinas pelo fato de requerer um controle mais efetivo de potência reativa. Adicionalmente foram ligados dois compensadores síncronos, um em cada barra CA do elo, para simularem o efeito dos filtros na compensação de reativo. Os dados referentes ao elo CC deste sistema encontram-se no Adendo VI do presente capítulo.

3.9. SUMÁRIO

Este capítulo apresentou os sistemas-teste propostos nesta Dissertação, com todos os dados e parâmetros necessários à realização de estudos conforme definidos no Capítulo I.

A montagem dos sistemas-teste centrou-se na malha de transmissão das regiões Sul, Sudeste e Centro Oeste do Brasil, por serem as regiões mais desenvolvidas economicamente, com um elevado consumo de energia e conseqüentemente possuindo uma importante rede de transmissão.

Para cada um dos sistemas-teste, foi criado um caso-base ajustado num determinado ponto de operação inicial. Este caso pode ser utilizado como está ou modificado conforme a conveniência do usuário e o objetivo pretendido. Outros ajustes de carga e geração podem ser utilizados para que favoreçam o surgimento de determinadas situações ou problemas, explorando com isso as características particulares de cada um dos sistemas-teste.

Para utilização de aplicativos computacionais, deve-se montar a rede conforme os formatos requeridos para os dados de entrada, ajustando-se também a tolerância e os parâmetros de controle.

Nos capítulos seguintes, esses sistemas serão utilizados em aplicações, através de exemplos criados para a avaliação de desempenho, utilizando-se para isso as ferramentas computacionais desenvolvidas pelo Centro de Pesquisa de Energia Elétrica - CEPTEL. O CD que acompanha a Dissertação contém os arquivos utilizados nos experimentos realizados.

A Tabela 3.4 ilustra os tipos de estudos realizados utilizando-se os sistemas-teste propostos.

Tabela 3.4 – Estudos realizados

Tipos de Estudo	Sistema-Teste					
	9 Barras	16 Barras	33 Barras	65 Barras	107 Barras CA	107 Barras CA-CC
Fluxo de potência clássico	X	X	X		X	X
Fluxo de potência ótimo	X			X		
Curto-circuito	X				X	
Estabilidade eletromecânica	X		X	X		
Estabilidade a pequenos sinais	X	X		X		

* * *

ADENDO I**A-1. DADOS DO SISTEMA-TESTE DE 9 BARRAS (STB-9)**

Neste adendo são apresentados dados, parâmetros elétricos e modelos dinâmicos do sistema-teste de 9 barras proposto no item 3.3 desta Dissertação. No final, uma tabela com as observações relativas aos dados é apresentada.

A-1.1. Dados de Barra

Nº	Nome	Tipo	Tensão	Faixa		Área
				Max	Min	
1	Bar-1 Ger1	V θ	13,8	1,050	0,950	1
2	Bar-2 Ger2	PV	13,8	1,050	0,950	1
3	Bar-3	PQ	230	1,050	0,950	1
4	Bar-4	PQ	230	1,050	0,950	1
5	Bar-5 Car1	PQ	230	1,050	0,950	1
6	Bar-6 Car2	PQ	230	1,050	0,950	1
7	Bar-7 Car3	PQ	230	1,050	0,950	1
8	Bar-8 Car4	PQ	230	1,050	0,950	1
9	Bar-9 Car5	PQ	230	1,050	0,950	1

Coluna	Descrição
Nº	Número de identificação da barra.
Nome	Nome de identificação da barra.
Tipo	Corresponde ao tipo de barra a ser representado nos dados de fluxo de potência, onde: Tipo V θ = Barra de referência ou swing Tipo PV = Barra de tensão regulada ou de geração Tipo PQ = Barra de carga
Tensão	Tensão nominal de operação da barra, em kV.
Faixa	Faixa de tensão correspondente aos níveis máximos e mínimos de tensão que a barra pode operar em regime permanente, em pu.
Área	Número de identificação da área elétrica ou subsistema ao qual a barra pertence.

A-1.2. Dados de Linha

Seqüência Positiva e Negativa									Seqüência Zero	
De	Para	Nº	Tensão	R ₊	X ₊	B	Cn	Ce	R ₀	X ₀
3	5	1	230	1,7	9,2	15,8	200	220	5,1	27,6
3	8	1	230	1,0	8,5	17,6	200	220	3,0	25,5
4	6	1	230	0,85	7,2	14,9	200	220	2,55	21,6
4	7	1	230	0,9	7,9	16,2	200	220	2,7	23,7
5	7	1	230	3,2	16,1	30,6	200	220	9,6	48,3
6	8	1	230	1,1	8,4	25,6	200	220	3,3	25,2
7	9	1	230	1,19	10,08	20,9	200	220	3,57	30,24
8	9	1	230	3,9	17,0	35,8	200	220	11,7	51,0

COLUNA	Descrição
De	Número de identificação da barra de origem.
Para	Número de identificação da barra de destino.
Nº	Número de identificação do circuito.
Tensão	Tensão nominal de operação do circuito, em kV.
R ₊	Resistência equivalente de seqüência positiva do circuito, em %.
X ₊	Reatância equivalente de seqüência positiva do circuito, em %.
B	Susceptância shunt total do circuito, em Mvar.
Cn	Capacidade de carregamento do circuito em condições normais de operação, em MVA.
Ce	Capacidade de carregamento do circuito em condições de emergência, em MVA.
R ₀	Resistência equivalente de seqüência zero do circuito, em %.
X ₀	Reatância equivalente de seqüência zero do circuito, em %.

A-1.3. Dados de Transformadores

Seqüência Positiva e Negativa											Seqüência Zero
De	Para	Nº	RT	Ligação	Pot	X ₊	Tap	Faixa			X ₀
								Min	Max	Pos	
1	3	1	13,8/230	Delta/Estrela aterrado	300	5,34	1,0	1,0	1,0	1	5,12
2	4	1	13,8/230	Delta/Estrela aterrado	260	7,68	1,0	1,0	1,0	1	7,33

Coluna	Descrição
De	Número de identificação da barra de origem.
Para	Numero de identificação da barra de destino.
Nº	Número de identificação da unidade transformadora.
RT	Relação de transformação da unidade transformadora, em kV.
Ligação	Forma de ligação dos enrolamentos da unidade transformadora no sistema.
Pot	Potência nominal da unidade transformadora, em MVA.
X ₊	Reatância equivalente de seqüência positiva da unidade transformadora, em %.
Tap	Valor definido do tape da unidade transformadora para operação em tape fixo, em pu.
Faixa Min	Valor mínimo que o tape da unidade transformadora pode assumir para transformadores com variação automática de tape, em pu.
Faixa Max	Valor máximo que o tape da unidade transformadora pode assumir para transformadores com variação automática de tape, em pu.
Pos	Número de posições entre tape mínimo e tape máximo para transformadores de tape variável.
X ₀	Reatância equivalente de seqüência zero da unidade transformadora, em %.

A-1.4. Dados de Carga

Barra	Nome	Tensão	Carga	
			MW	Mvar
5	Bar-5 Car1	230	55	27
6	Bar-6 Car2	230	37	18
7	Bar-7 Car3	230	68	45
8	Bar-8 Car4	230	90	35
9	Bar-9 Car5	230	75	28
Total			325	153

A-1.5. Dados de Máquinas

Geração de Potência Ativa (MW)				
Barra	Nome	Nº de Máquinas	Geração Máxima por Máquina	Geração Máxima Total
1	Bar-1 Ger-1	1	250	250
2	Bar-2 Ger-2	1	200	200
Total		2		450

Geração e Absorção de Reativos das Máquinas (Mvar)						
Barra	Nome	Nº de Máquinas	Absorção		Geração	
			Por Máquina	Total	Por Máquina	Total
1	Bar-1 Ger-1	1	122	122	122	122
2	Bar-2 Ger-2	1	96	96	96	96
Total		2		218		218

A-1.6. Modelos e Parâmetros dos Geradores

Nota: O modelo de gerador utilizado foi o MD02 do programa ANATEM [14] para pólos salientes que utiliza um enrolamento de campo e dois enrolamentos amortecedores, sendo um no eixo direto e outro no eixo em quadratura.

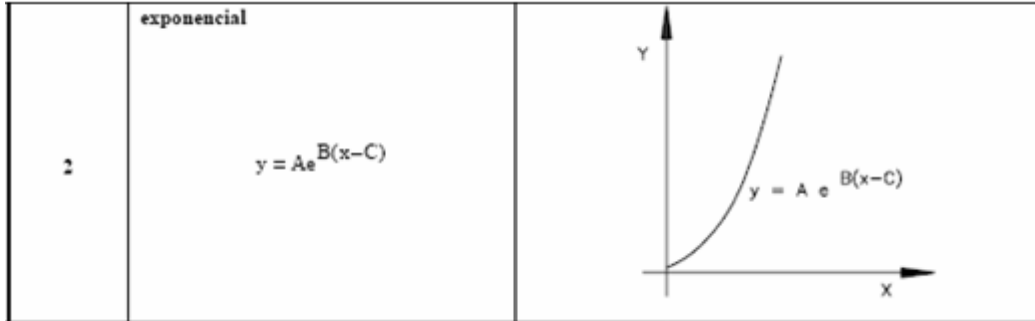
Bar	Nome	Nº	Xd	Xq	X'd	X''d	Xl	T'd	T''d	T''q	H	P	FP	T
1	Ger1	1	106,0	63,0	33,0	25,0	21,0	5,40	0,080	0,120	5,050	278	0,9	H
2	Ger2	1	85,94	58,12	29,91	21,14	15,35	5,50	0,085	0,2214	4,988	222	0,9	H

Coluna	Descrição
Bar	Número de identificação da barra onde está ligada a unidade geradora.
Nome	Número da unidade geradora.
Nº	Número de unidades geradoras da usina.
Xd	Reatância síncrona de eixo direto por máquina, em %.
Xq	Reatância síncrona de eixo em quadratura por máquina, em %.
X'd	Reatância transitória de eixo direto por máquina, em %.
X''d	Reatância subtransitória de eixo direto por máquina, em %.
Xl	Reatância de dispersão da armadura por máquina, em %.
T'd	Constante de tempo transitória de eixo direto em circuito aberto, em segundos.
T''d	Constante de tempo subtransitória de eixo direto em circuito aberto, em segundos.
T''q	Constante de tempo subtransitória de eixo em quadratura em circuito aberto, em segundos.
H	Constante de inércia, em segundos. Representa a relação entre a energia cinética armazenada no grupo turbina-gerador, à velocidade síncrona, e a potência aparente nominal da máquina.
P	Potência aparente nominal da unidade geradora, em MVA, usada como base para os parâmetros.
FP	Fator de potência da unidade geradora.
T	Tipo de fonte de energia da usina: H= Hidráulica e T=Térmica

Curva de Saturação					
Núm	Máq	Tipo	Y1	Y2	X1
1	Gerador-1	2	0,016	8,068	0,8
2	Gerador-2	2	0,034	7,106	0,8

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação da curva de saturação.
Máq	Nome da unidade geradora.
Tipo	Indica o tipo de equação usada para curva de saturação. Tipo 2 corresponde a uma exponencial (ver figura abaixo).
Y1	Valor do parâmetro A, em pu.

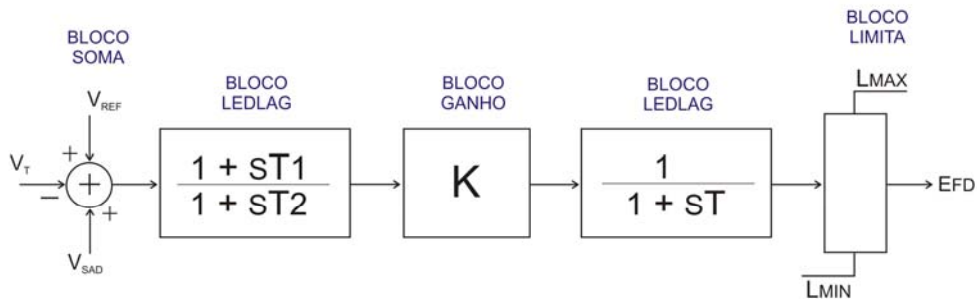
Curva de Saturação	
Coluna	Descrição
Y2	Valor do parâmetro B, em pu.
X1	Valor do parâmetro C, em pu.



Equação e curva de saturação

A-1.7. Modelo e Dados do Sistema de Controle de Excitação - Regulador de Tensão

Nota: O modelo de regulador de tensão utilizado nos geradores foi baseado no modelo MD02 do programa ANATEM [14], e corresponde a um sistema de excitação estática [15] com dois blocos “avanço-atraso”, conforme o diagrama de blocos mostrado na figura a seguir:

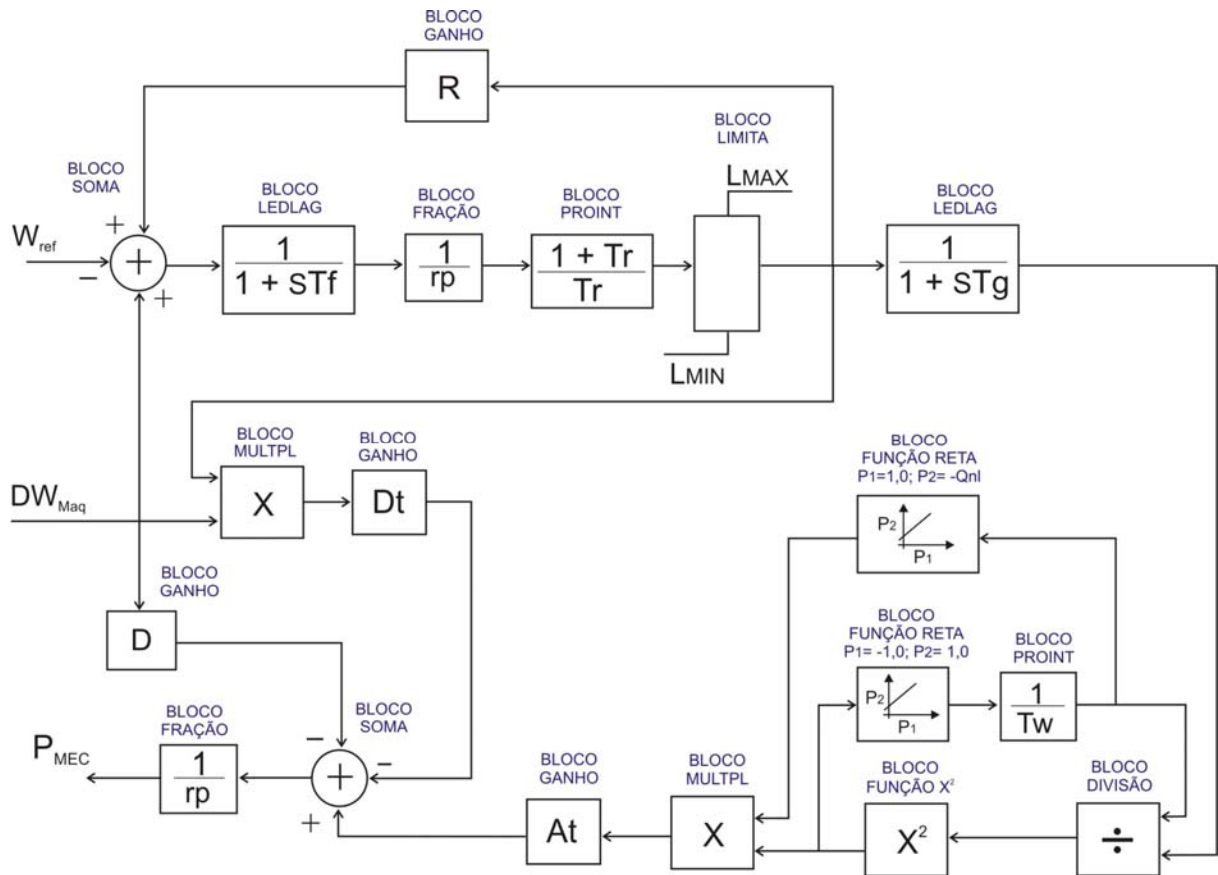


Parâmetros do Regulador de Tensão							
Núm	Máq	K	T	T1	T2	Lmax	Lmin
11	Ger-1	200	0,003	1,0	5,0	5	-4
12	Ger-2	200	0,003	1,0	5,0	5	-4

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação do modelo de regulador de tensão usado no arquivo de dados.
Máq	Nome da unidade geradora.
K	Ganho do sistema de excitação, em pu/pu.
T	Constante de tempo efetiva na ação de regulação de tensão, em segundos.
T1	Constante de tempo de avanço do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
T2	Constante de tempo de atraso do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
Lmax	Límite superior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Lmin	Límite inferior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Vt	Sinal de entrada do regulador de tensão, em pu.
Vsad	Sinal estabilizador aplicado no regulador de tensão, em pu.
Vref	Sinal de referência, em pu.
Efd	Tensão de campo da máquina, em pu.

A-1.8. Modelo e Dados do Sistema de Controle de Velocidade e Turbina - Regulador de Velocidade

Nota: Foi utilizado o modelo de regulador de velocidade da UHE Furnas que consta no banco de dados dinâmicos do SIN e corresponde ao modelo 10 (PTI Padrão) conforme o diagrama de blocos mostrado na figura a seguir:



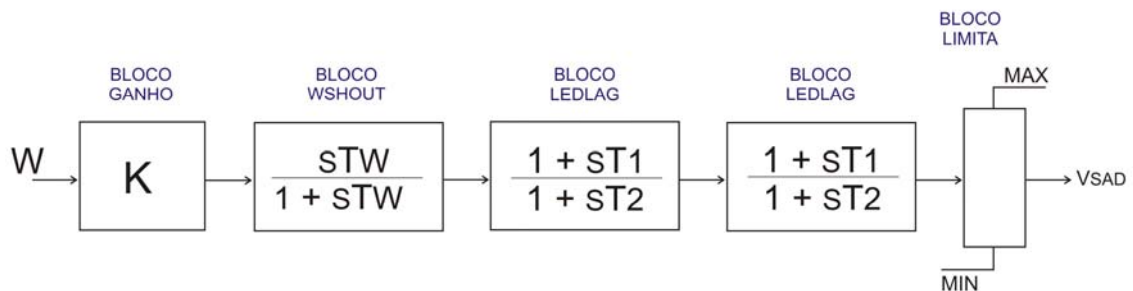
Parâmetros do Regulador de Velocidade															
Núm	Máq	At	D	Dt	Lmax	Lmin	PBmaq	Pbtur	Qnl	R	rp	Tf	Tg	Tr	Tw
21	Ger-1	1,2	1,0	0,5	0,984	0,0	278	278	0,15	0,05	0,38	0,05	0,5	7,0	1,5
22	Ger-2	1,2	1,0	0,5	0,984	0,0	222	222	0,15	0,05	0,38	0,05	0,5	7,0	1,5

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação do modelo de regulador de velocidade usado no arquivo de dados.
Máq	Nome da unidade geradora.
At	Ganho da turbina, em pu/pu.
D	Fator de amortecimento da carga, em pu.
Dt	Fator de amortecimento da turbina, em pu.
Lmax	Limite superior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Lmin	Limite inferior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
PBmaq	Potência base do gerador, em MVA.
Pbtur	Potência base da turbina em MW.
Qnl	Vazão sem carga, em pu.
R	Estatismo permanente, em pu.

Coluna	Descrição
rp	Estatismo transitório, adimensional.
Tf	Constante de tempo de filtragem, em segundos.
Tg	Constante de tempo do servomotor, em segundos.
Tr	Constante de tempo do regulador, em segundos.
Tw	Constante de tempo da água, em segundos.
Wref	Sinal de referência, em pu.
DWMaq	Desvio da velocidade angular da máquina, em pu.
PMEC	Potência mecânica da máquina, em pu na base da máquina.

A-1.9. Modelo e Dados do Sistema Estabilizador (PSS) Aplicado ao Regulador de Tensão

Nota: O modelo de estabilizador utilizado foi o modelo denominado de “PSS Universal”, conforme o diagrama de blocos mostrado na figura a seguir:



Parâmetros do Estabilizador							
Núm	Máq	K	TW	T1	T2	max	min
31	Ger-1	12,0	3,0	0,10	0,01	0,2	-0,2
32	Ger-2	12,0	3,0	0,10	0,01	0,2	-0,2

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação do modelo de estabilizador aplicado em regulador de tensão usado no arquivo de dados.
Máq	Nome da unidade geradora.
K	Ganho do sistema de excitação, em pu/pu.
TW	Constante de tempo efetiva na ação de regulação de tensão, em segundos.
T1	Constante de tempo de avanço do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
T2	Constante de tempo de atraso do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
max	Limite superior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
min	Limite inferior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
W	Desvio da velocidade angular da máquina, em pu.
Vsad	Sinal estabilizador aplicado no regulador de tensão, em pu.

Observações	
(i)	Os valores em por cento (%) corresponde ao valor em pu multiplicado por 100.
(ii)	Os parâmetros estão referenciados a potência base do sistema, igual a 100 MVA, e a tensão nominal.
(iii)	Todas as linhas de transmissão suportam uma sobrecarga de até 10% por um tempo máximo de 60 minutos. Este valor corresponde ao limite de curta duração que é determinado pela capacidade física do equipamento e de seus respectivos acessórios na condução de corrente.
(iv)	Todas as linhas de transmissão são do tipo aérea.
(v)	Os transformadores elevadores das usinas estão ligados em Delta no lado de baixa (usina) e Estrela Aterrada no lado de alta tensão (linha).
(vi)	Todos os transformadores são de tape fixo, possuem dois enrolamentos e suportam uma sobrecarga de até 10% por um tempo máximo de 30 minutos.
(vii)	As reatâncias dos transformadores correspondem a XPS para representação em fluxo de potência.
(viii)	As variações de tensão nas barras provocadas por chaveamento de reatores ou capacitores não deverão exceder a 10% dos níveis estabelecidos.

* * *

ADENDO II**A-2. DADOS DO SISTEMA-TESTE DE 16 BARRAS (STB-16)**

Apresentam-se aqui dados, parâmetros elétricos e modelos dinâmicos do sistema-teste de 16 barras proposto no item 3.4 desta Dissertação. No final, uma tabela com as observações acerca dos dados é apresentada.

A-2.1. Dados de Barra

N°	Nome	Tipo	Tensão	Faixa		Área
				Max	Min	
1	Gerador-1	PV	13,8	1,050	0,950	1
2	Barra-2	PQ	345	1,080	0,950	1
3	Barra-3	PQ	345	1,080	0,950	1
4	Barra-4	PQ	230	1,070	0,950	2
5	Barra-5	PQ	230	1,070	0,950	2
6	Barra-6	PQ	230	1,070	0,950	2
7	Barra-7	PQ	230	1,070	0,950	2
8	Barra-8	PQ	230	1,070	0,950	2
9	Síncrono	PV	13,8	1,050	0,950	2
10	Barra-10	PQ	345	1,080	0,950	1
11	Barra-11	PQ	345	1,080	0,950	1
12	Barra-12	PQ	345	1,080	0,950	1
13	Barra-13	PQ	345	1,080	0,950	1
14	Barra-14	PQ	138	1,050	0,950	1
15	Barra-15	PQ	345	1,080	0,950	1
16	Gerador-2	V θ	13,8	1,050	0,950	2

Coluna	Descrição
N°	Número de identificação da barra.
Nome	Nome de identificação da barra.
Tipo	Corresponde ao tipo de barra a ser representado nos dados de fluxo de potência, onde: Tipo V θ = Barra de referência ou swing Tipo PV = Barra de tensão regulada ou de geração Tipo PQ = Barra de carga
Tensão	Tensão nominal de operação da barra, em kV.
Faixa	Faixa de tensão correspondente aos níveis máximos e mínimos de tensão que a barra pode operar em regime permanente, em pu.
Área	Número de identificação da área elétrica ou subsistema ao qual a barra pertence.

A-2.2. Dados de Linha

Seqüência Positiva e Negativa									Seqüência Zero	
De	Para	Nº	Tensão	R ₊	X ₊	B	Cn	Ce	R ₀	X ₀
2	3	1	345	0,45	4,96	84,8	300	330	2,64	20,96
2	3	2	345	0,45	4,96	84,8	300	330	2,64	20,96
3	12	1	345	0,24	2,64	45,05	300	330	2,40	7,77
3	15	1	345	0,79	8,38	30,63	200	220	7,70	30,73
3	15	2	345	0,79	8,38	30,63	200	220	7,70	30,73
4	5	1	230	0,69	7,37	26,95	200	220	7,79	30,05
4	5	2	230	0,69	7,37	26,95	200	220	7,79	30,05
5	6	1	230	0,50	5,36	19,6	200	220	5,53	15,19
6	7	1	230	0,60	6,37	23,28	200	220	5,03	18,09
7	8	1	230	0,47	5,03	18,38	200	220	2,48	12,90
10	11	1	345	0,34	3,72	63,6	300	330	3,60	14,0
11	12	1	345	0,39	4,34	74,2	300	330	2,30	18,27
12	13	1	345	0,22	2,48	42,4	300	330	2,40	7,77
12	13	2	345	0,22	2,48	42,4	300	330	2,40	7,77

Impedância Mútua entre Linhas									
Linha 1				Linha 2				R _M	X _M
De	Para	Nº	Tensão	De	Para	Nº	Tensão		
2	3	1	345	2	3	2	345	2,57	13,72
4	5	1	230	4	5	2	230	3,32	4,86
3	15	1	345	3	15	2	345	11,82	20,94
12	13	1	345	12	13	2	345	2,01	10,67

Coluna	Descrição
De	Número de identificação da barra de origem.
Para	Número de identificação da barra de destino.
Nº	Número de identificação do circuito.
Tensão	Tensão nominal de operação do circuito, em kV.
R ₊	Resistência equivalente de seqüência positiva do circuito, em %.
X ₊	Reatância equivalente de seqüência positiva do circuito, em %.
B	Susceptância shunt total do circuito, em Mvar.
Cn	Capacidade de carregamento do circuito em condições normais de operação, em MVA.
Ce	Capacidade de carregamento do circuito em condições de emergência, em MVA.
R ₀	Resistência equivalente de seqüência zero do circuito, em %.
X ₀	Reatância equivalente de seqüência zero do circuito, em %.
Linha 1	Primeira linha de transmissão ou circuito um no caso de circuitos paralelos.
Linha 2	Segunda linha de transmissão ou circuito dois no caso de circuitos paralelos.
R _M	Parte resistiva da impedância mútua (seqüência zero do circuito), em %.
X _M	Parte reativa da impedância mútua (seqüência zero do circuito), em %.

A-2.3. Dados de Transformadores

Seqüência Positiva e Negativa											Seqüência Zero
De	Para	Nº	RT	Ligação	Pot	X ₊	Tap	Faixa			X ₀
								Min	Max	Pos	
1	2	1	13,8/345	Delta/Estrela aterrado	260	3,0	1,0	1,0	1,0	1	2,73
1	2	2	13,8/345	Delta/Estrela aterrado	260	3,0	1,0	1,0	1,0	1	2,73
3	14	1	345/138	Estrela aterrado/Estrela aterrado	165	8,33	*	0,90	1,10	21	7,56
9	8	1	13,8/230	Delta/Estrela aterrado	190	12,5	1,0	1,0	1,0	1	11,17

Seqüência Positiva e Negativa											Seqüência Zero
De	Para	Nº	RT	Ligação	Pot	X ₊	Tap	Faixa			X ₀
								Min	Max	Pos	
10	8	1	345/230	Estrela aterrado/Estrela aterrado	260	10,0	*	0,90	1,10	21	9,26
15	4	1	345/230	Estrela aterrado/Estrela aterrado	300	6,67	*	0,90	1,10	21	5,14
16	6	1	13,8/230	Delta/Estrela aterrado	150	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	4,03
16	6	2	13,8/230	Delta/Estrela aterrado	150	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	4,03
16	6	3	13,8/230	Delta/Estrela aterrado	150	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	4,03

Tabela das derivações de tapes em pu																				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10

Coluna	Descrição
De	Número de identificação da barra de origem.
Para	Numero de identificação da barra de destino.
Nº	Número de identificação da unidade transformadora.
RT	Relação de transformação da unidade transformadora, em kV.
Ligação	Forma de ligação dos enrolamentos da unidade transformadora no sistema.
Pot	Potência nominal da unidade transformadora, em MVA.
X ₊	Reatância equivalente de seqüência positiva da unidade transformadora, em %.
Tap	Valor definido do tape da unidade transformadora para operação em tape fixo, em pu.
Faixa Min	Valor mínimo que o tape da unidade transformadora pode assumir para transformadores com variação automática de tape, em pu.
Faixa Max	Valor máximo que o tape da unidade transformadora pode assumir para transformadores com variação automática de tape, em pu.
Pos	Número de posições entre tape mínimo e tape máximo para transformadores de tape variável.
X ₀	Reatância equivalente de seqüência zero da unidade transformadora, em %.

A-2.4. Dados de Carga

Barra	Patamares de Carga					
	Pesada		Média		Leve	
	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar
3	47	31	41	26	26	16
4	106	70	90	60	58	39
5	31	20	26	17	16	11
6	17	12	14	10	10	7
7	15	14	14	12	9	8
8	39	24	33	21	21	13
10	42	30	35	25	23	16
11	40	28	34	23	22	15
12	101	56	86	47	56	31
13	59	34	51	29	33	19
14	57	39	48	33	32	21
Total	554	358	472	303	306	196

A-2.5. Dados de Equipamentos de Controle de Tensão

Capacitores Shunt						
Barra	Nome	Tensão	Nº	Potência	Total	Manobrável
10	Barra-10	345	1	20	20	Sim
Total			1		20	

Reatores Shunt						
Barra	Nome	Tensão	Nº	Potência	Total	Manobrável
3	Barra-3	345	1	90	90	Sim
11	Barra-11	345	1	30	30	Sim
13	Barra-13	345	1	30	30	Sim
Total			3		150	

Coluna	Descrição
Barra	Número de identificação da barra que o equipamento está conectado.
Nome	Nome de identificação da barra que o equipamento está conectado.
Tensão	Tensão nominal do equipamento, em kV.
Nº	Quantidade de equipamentos.
Potência	Potência nominal gerada por equipamento, em Mvar.
Total	Potência total gerada, em Mvar.
Manobrável	Indica a existência ou não de disjuntor para chaveamento do equipamento, ou seja, se o equipamento é manobrável através de disjuntor.

A-2.6. Dados de Máquinas

Geração de Potência Ativa (MW)				
Barra	Nome	Nº de Máquinas	Geração Máxima por Máquina	Geração Máxima Total
1	Gerador-1	1	380	380
16	Gerador-2	3	126	378
	Total			758

Geração e Absorção de Reativos das Máquinas (Mvar)						
Barra	Nome	Nº de Máquinas	Absorção		Geração	
			Por Máquina	Total	Por Máquina	Total
1	Gerador-1	1	180	180	180	180
9	Síncrono	1	50	50	70	70
16	Gerador-2	3	60	180	60	180
	Total			410		430

A-2.7. Modelo e Dados de Geradores

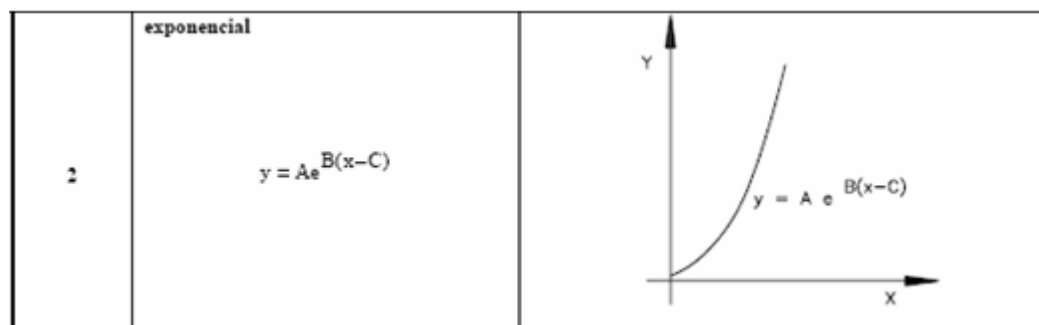
Nota: O modelo de gerador utilizado foi o MD02 do programa ANATEM [14] para pólos salientes que utiliza um enrolamento de campo e dois enrolamentos amortecedores, sendo um no eixo direto e outro no eixo em quadratura.

Bar	Nome	Nº	Xd	Xq	X'd	X''d	Xl	T'd	T''d	T''q	H	P	FP	T
1	Gerador-1	1	100,0	69,0	30,0	20,0	14,0	5,7	0,060	0,160	4,910	422	0,9	H
9	Síncrono	1	198,0	125,0	43,0	25,0	17,7	9,2	0,093	0,041	1,270	70	-	-
16	Gerador-2	3	102,0	67,0	32,0	28,0	18,0	6,29	0,07	0,17	2,17	140	0,9	H

Coluna	Descrição
Bar	Número de identificação da barra onde está ligada a unidade geradora.
Nome	Número da unidade geradora.
Nº	Número de unidades geradoras da usina.
Xd	Reatância síncrona de eixo direto por máquina, em %.
Xq	Reatância síncrona de eixo em quadratura por máquina, em %.
X'd	Reatância transitória de eixo direto por máquina, em %.
X''d	Reatância subtransitória de eixo direto por máquina, em %.
Xl	Reatância de dispersão da armadura por máquina, em %.
T'd	Constante de tempo transitória de eixo direto em circuito aberto, em segundos.
T''d	Constante de tempo subtransitória de eixo direto em circuito aberto, em segundos.
T''q	Constante de tempo subtransitória de eixo em quadratura em circuito aberto, em segundos.
H	Constante de inércia, em segundos. Representa a relação entre a energia cinética armazenada no grupo turbina-gerador, à velocidade síncrona, e a potência aparente nominal da máquina.
P	Potência aparente nominal da unidade geradora, em MVA, usada como base para os parâmetros.
FP	Fator de potência da unidade geradora.
T	Tipo de fonte de energia da usina: H= Hidráulica e T=Térmica

Curva de Saturação					
Núm	Máq	Tipo	Y1	Y2	X1
1	Gerador-1	2	0,0248	6,6089	0,8
2	Gerador-2	2	0,02529	7,5413	0,8
3	Síncrono	2	0,019	8,371	0,8

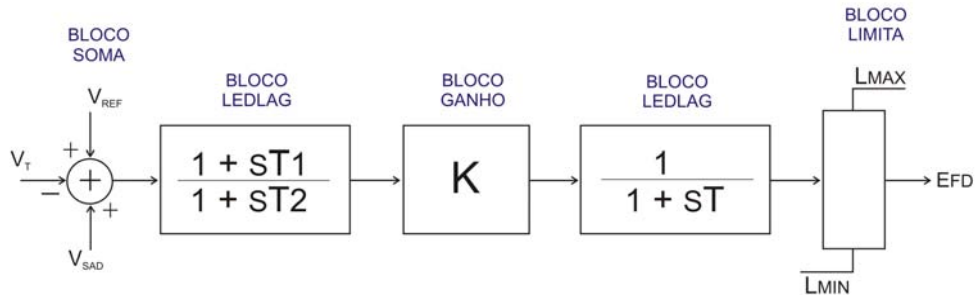
Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação da curva de saturação.
Máq	Nome da unidade geradora.
Tipo	Indica o tipo de equação usada para curva de saturação. Tipo 2 corresponde a uma exponencial (ver figura abaixo).
Y1	Valor do parâmetro A, em pu.
Y2	Valor do parâmetro B, em pu.
X1	Valor do parâmetro C, em pu.



Equação e curva de saturação

A-2.8. Modelo e Dados do Sistema de Controle de Excitação - Regulador de Tensão

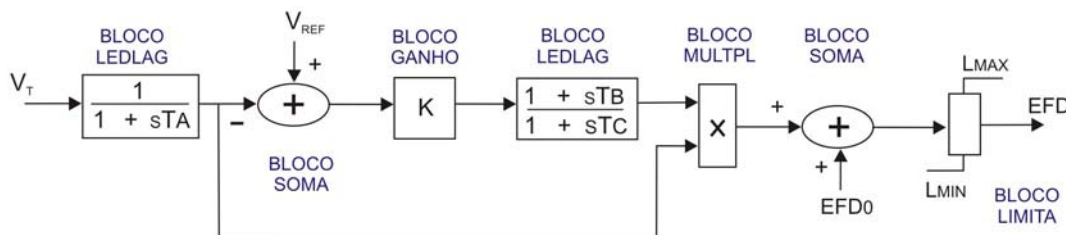
Nota-1: O modelo de regulador de tensão utilizado nos geradores foi baseado no modelo MD02 do programa ANATEM [14], e corresponde a um sistema de excitação estática [15] com dois blocos “avanço-atraso”, conforme o diagrama de blocos mostrado na figura a seguir:



Parâmetros do Regulador de Tensão							
Núm	Máq	K	T	T1	T2	Lmax	Lmin
11	Gerador-1	50	0,003	1,0	5,0	5	-4
12	Gerador-2	50	0,003	1,0	5,0	5	-4

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação do modelo de regulador de tensão usado no arquivo de dados.
Máq	Nome da unidade geradora.
K	Ganho do sistema de excitação, em pu/pu.
T	Constante de tempo efetiva na ação de regulação de tensão, em segundos.
T1	Constante de tempo de avanço do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
T2	Constante de tempo de atraso do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
Lmax	Limite superior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Lmin	Limite inferior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Vt	Sinal de entrada do regulador de tensão, em pu.
Vsad	Sinal estabilizador aplicado no regulador de tensão, em pu.
Vref	Sinal de referência, em pu.
Efd	Tensão de campo da máquina, em pu.

Nota-2: O modelo de regulador de tensão utilizado para o compensador síncrono corresponde a um modelo de excitação estática, utilizado na máquina de Salto Caxias do sistema elétrico brasileiro, conforme o diagrama de blocos mostrado na figura a seguir:

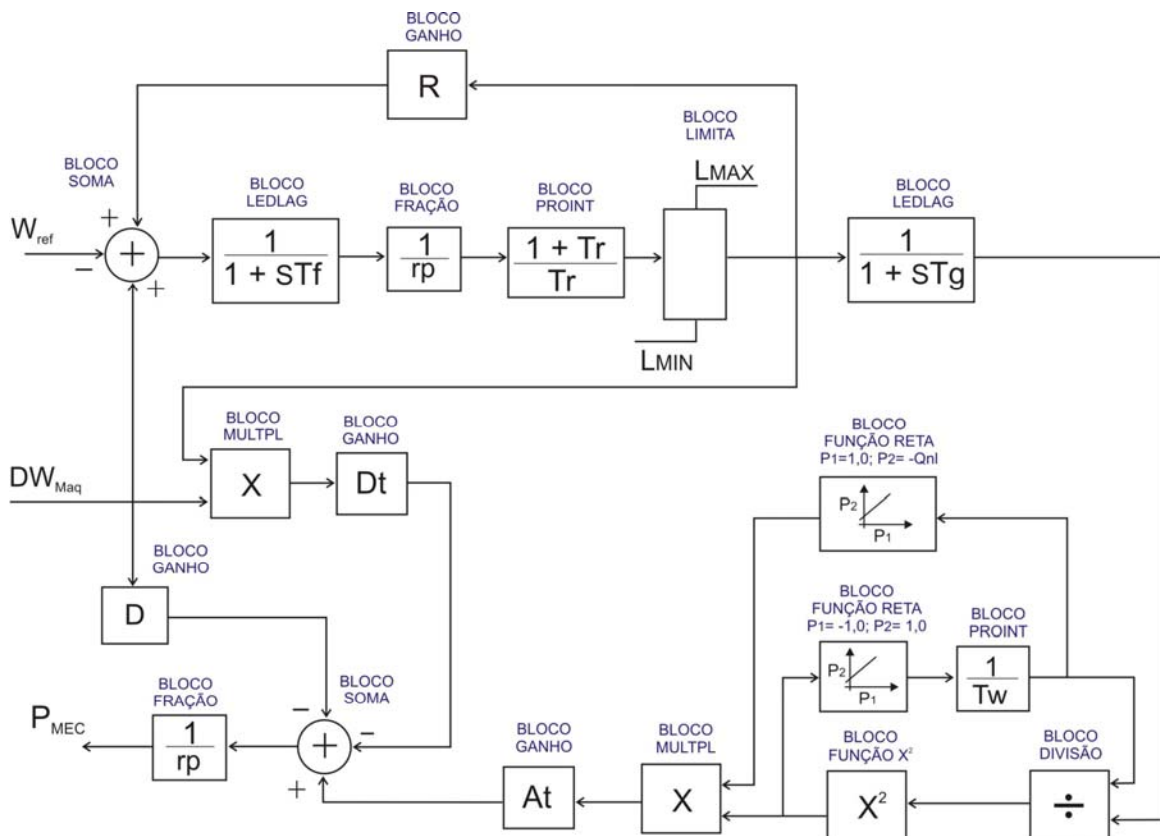


Parâmetros do Regulador de Tensão							
Núm	Máq	K	TA	TB	TC	Lmax	Lmin
13	Síncrono	200	0,016	1,2	6,0	4	-3,4

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação do modelo de regulador de tensão usado no arquivo de dados.
Máq	Nome da unidade geradora.
K	Ganho do sistema de excitação, em pu/pu.
TA	Constante de tempo do transdutor de tensão, em segundos.
TB	Constante de tempo de avanço do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
TC	Constante de tempo de atraso do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
Lmax	Limite superior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Lmin	Limite inferior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Vt	Sinal de entrada do regulador de tensão, em pu.
Vref	Sinal de referência, em pu.
Efd	Tensão de campo da máquina, em pu.
Efd0	Valor inicial da tensão de campo da máquina, em pu.

A-2.9. Modelo e Dados do Sistema de Controle de Velocidade e Turbina - Regulador de Velocidade

Nota: Foi utilizado o modelo de regulador de velocidade da UHE Furnas que consta no banco de dados dinâmicos do SIN e corresponde ao modelo 10 (PTI Padrão) conforme o diagrama de blocos mostrado na figura a seguir:

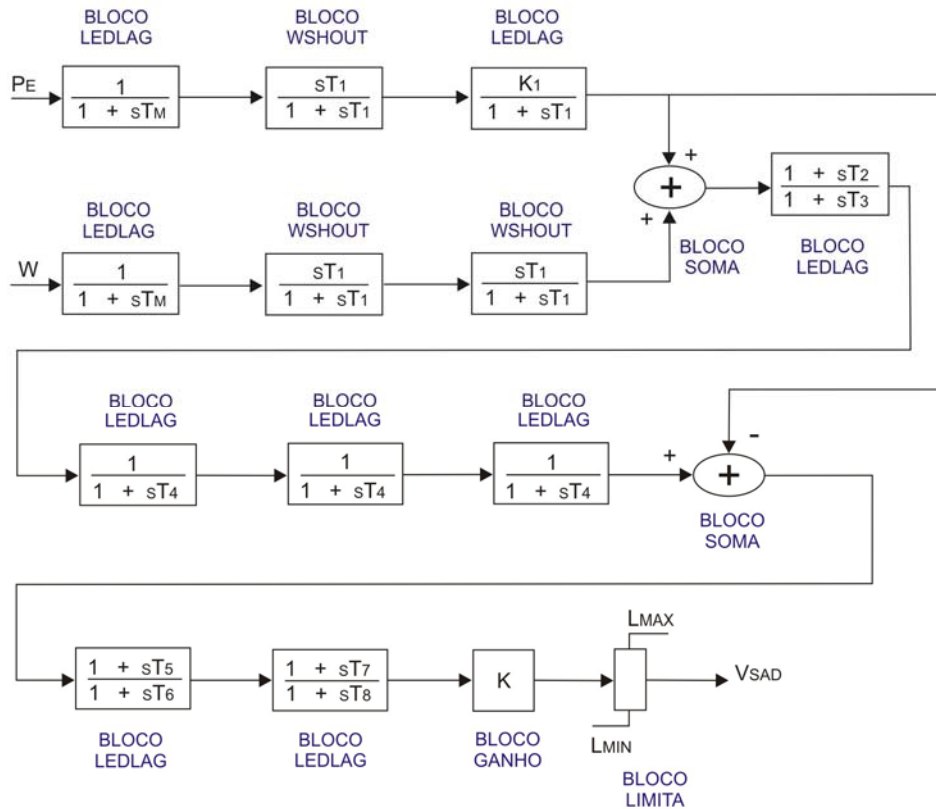


Parâmetros do Regulador de Velocidade															
Núm	Máq	At	D	Dt	Lmax	Lmin	PBmaq	Pbtur	Qnl	R	rp	Tf	Tg	Tr	Tw
21	Gerador-1	1,2	1,0	0,5	0,984	0,0	422	422	0,15	0,05	0,38	0,05	0,5	7,0	1,5
22	Gerador-2	1,2	1,0	0,5	0,984	0,0	140	140	0,15	0,05	0,38	0,05	0,5	7,0	1,5

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação do modelo de regulador de tensão usado no arquivo de dados.
Máq	Nome da unidade geradora
At	Ganho da turbina, em pu/pu.
D	Fator de amortecimento da carga, em pu
Dt	Fator de amortecimento da turbina, em pu
Lmax	Limite superior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Lmin	Limite inferior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
PBmaq	Potência base do gerador, em MVA.
PBtur	Potência base da turbina em MW.
Qnl	Vazão sem carga, em pu.
R	Estatismo permanente, em pu.
rp	Estatismo transitório, adimensional.
Tf	Constante de tempo de filtragem, em segundos.
Tg	Constante de tempo do servomotor, em segundos.
Tr	Constante de tempo do regulador, em segundos.
Tw	Constante de tempo da água, em segundos.
Wref	Sinal de referência, em pu.
DWmaq	Desvio da velocidade angular da máquina, em pu.
PMEC	Potência mecânica da máquina, em pu na base da máquina.

A-2.10. Modelo e Dados do Sistema Estabilizador (PSS) Aplicado ao Regulador de Tensão

Nota: O modelo de estabilizador utilizado foi o MD11 do programa ANATEM [14], que apresenta duas entradas de sinal: velocidade ou frequência e potência elétrica, conforme o diagrama de blocos mostrado na figura a seguir:



Parâmetros do Estabilizador (PSS)														
Num	Máq	K	K1	TM	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Lmax	Lmin
31	Gerador-1	2,0	0,31	0,02	3,0	0,4	0,1	0,1	0,2	0,04	0,36	0,12	0,1	-0,1
32	Gerador-2	2,0	0,69	0,02	3,0	0,4	0,1	0,1	0,2	0,04	0,36	0,12	0,1	-0,1

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação do modelo de estabilizador aplicado em regulador de tensão.
Máq	Nome da unidade geradora.
K	Ganho do sistema de excitação, em pu/pu.
K1	Constante dada pela relação de T1 dividido por 2H.
TM	Filtro de transdução, em segundos.
T1	Valor de reset, em segundos.
T2, T3	Constante de tempo efetiva na ação de regulação de tensão, em segundos.
T4	Constante de tempo do rastreador de rampa, em segundos.
T5, T7	Constante de tempo de avanço do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
T6, T8	Constante de tempo de atraso do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
Lmax	Limite superior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Lmin	Limite inferior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
W	Desvio da velocidade angular da máquina, em pu.
PE	Potência elétrica ativa gerada pela máquina, em pu na base da máquina.
VSAD	Sinal estabilizador aplicado no regulador de tensão, em pu.

Observações	
(i)	Os valores em por cento (%) corresponde ao valor em pu multiplicado por 100.
(ii)	Os parâmetros estão referenciados a potência base do sistema, igual a 100 MVA, e a tensão nominal.
(iii)	Todas as linhas de transmissão suportam uma sobrecarga de até 10% por um tempo máximo de 60 minutos. Este valor corresponde ao limite de curta duração que é determinado pela capacidade física do equipamento e de seus respectivos acessórios na condução de corrente.
(iv)	Todas as linhas de transmissão são do tipo aérea.
(v)	Os transformadores elevadores das usinas estão ligados em Delta no lado de baixa (usina) e Estrela Aterrada no lado de alta tensão (linha).
(vi)	Todos os transformadores possuem dois enrolamentos e suportam uma sobrecarga de até 10% por um tempo máximo de 30 minutos.
(vii)	(*) Indica que o valor do tape é variável e depende do ponto de operação. Não desejando que ele varie, pode-se fixá-lo num determinado valor dentro da faixa de operação, conforme tabela de tapes.
(viii)	As reatâncias dos transformadores correspondem ao valor de XPS para representação em fluxo de potência.
(ix)	As variações de tensão nas barras provocadas por chaveamento de reatores ou capacitores não deverão exceder a 10% dos níveis estabelecidos.

* * *

ADENDO III**A-3. DADOS DO SISTEMA-TESTE DE 33 BARRAS (STB-33)**

Neste adendo apresentam-se dados e parâmetros elétricos do sistema-teste de 33 barras proposto no item 3.5 desta Dissertação. Alerta-se ao leitor que, os modelos dinâmicos dos controladores para análise de estabilidade e os dados para análise de curto-circuito referente aos transformadores, encontram-se no Adendo V.

A-3.1. Dados de Barra

Nº	Nome	Tipo	Tensão	Faixa		Área
				Max	Min	
800	Gov. Bento Munhoz	V0	13,8	1,050	0,950	1
808	Salto Caxias	PV	13,8	1,050	0,950	2
810	Salto Segredo	PV	13,8	1,050	0,950	2
814	Bateias	PQ	230	1,050	0,950	1
824	Gov. Bento.Munhoz	PQ	500	1,090	0,950	1
839	Cascavel	PQ	230	1,050	0,950	2
840	Cascavel	PQ	138	1,050	0,950	2
848	Foz do Chopin	PQ	138	1,050	0,950	2
856	Segredo	PQ	500	1,090	0,950	2
895	Bateias	PQ	500	1,090	0,950	1
896	Cascavel do Oeste	PQ	500	1,090	0,950	2
897	Salto Caxias	PQ	500	1,090	0,950	2
898	Foz do Chopin	PQ	230	1,050	0,950	2
904	Itá	PV	13,8	1,050	0,950	1
915	Machadinho	PV	13,8	1,050	0,950	1
919	Salto Osório	PV	13,8	1,050	0,950	2
925	Salto Santiago	PV	13,8	1,050	0,950	2
933	Areia	PQ	500	1,090	0,950	1
934	Areia	PQ	230	1,050	0,950	2
938	Blumenau	PQ	500	1,090	0,950	1
939	Blumenau	PQ	230	1,050	0,950	1
955	Campos Novos	PQ	500	1,090	0,950	1
959	Curitiba	PQ	500	1,090	0,950	1
960	Curitiba	PQ	230	1,050	0,950	1
964	Caxias	PQ	500	1,090	0,950	1
965	Caxias	PQ	230	1,050	0,950	1
976	Gravataí	PQ	500	1,090	0,950	1
995	Itá	PQ	500	1,090	0,950	1
1030	Machadinho	PQ	500	1,090	0,950	1
1047	Salto Osório	PQ	230	1,050	0,950	2
1060	Salto Santiago	PQ	500	1,090	0,950	2
1210	Gravataí-230	PQ	230	1,050	0,950	2
2458	Cascavel-230	PQ	230	1,050	0,950	2

Coluna	Descrição
Nº	Número de identificação da barra.
Nome	Nome de identificação da barra.
Tipo	Corresponde ao tipo de barra a ser representado nos dados de fluxo de potência, onde: Tipo V θ = Barra de referência ou swing Tipo PV = Barra de tensão regulada ou de geração Tipo PQ = Barra de carga
Tensão	Corresponde a tensão nominal de operação da barra, em kV.
Faixa	Faixa de tensão correspondente aos níveis máximos e mínimos de tensão que a barra pode operar em regime permanente, em pu.
Área	Número de identificação da área elétrica ou subsistema ao qual a barra pertence.

A-3.2. Dados de Linha

Seqüência Positiva e Negativa										Seqüência Zero	
De	Para	Nome	V	Circ	R ₊	X ₊	B	CN	CE	R ₀	X ₀
824	933	G.B.Munhoz-Areia	500	1	0,0100	0,1240	15,204	2182	2182	0,04	0,29
824	933	G.B.Munhoz-Areia	500	2	0,0100	0,1260	15,428	2182	2182	0,04	0,29
839	898	Cascavel-F.Chopin	230	1	1,1300	6,9900	12,617	189	318	4,88	19,51
839	1047	Cascavel-S.Osório	230	1	1,2200	7,6900	13,810	189	323	5,44	21,20
839	2458	Cascavel-Cascavel Oeste	230	1	0,2200	1,0900	1,8601	319	413	0,77	2,95
839	2458	Cascavel-Cascavel Oeste	230	2	0,1700	1,0300	2,0537	356	356	0,65	3,26
856	933	Segredo-Areia	500	1	0,0520	0,6540	80,493	2273	2273	0,29	1,68
856	1060	Segredo-S.Santiago	500	1	0,0560	0,6970	85,746	2182	2182	0,31	1,79
896	897	Cascavel Oeste-S.Caxias	500	1	0,0500	0,7300	78,060	1637	1637	0,50	1,90
898	1047	F.Chopin-S.Osório	230	1	0,1500	0,8900	1,6317	324	324	0,62	2,51
933	895	Areia-Bateias	500	1	0,2000	2,5500	312,72	2110	2110	2,77	10,53
933	955	Areia-Campos Novos	500	1	0,1620	2,0480	250,17	2110	2110	2,22	8,44
933	959	Areia-Curitiba	500	1	0,2000	2,6900	336,40	2182	2182	2,72	10,86
934	1047	Areia-Salto Osório	230	1	3,0450	15,738	27,123	319	319	15,21	44,43
934	1047	Areia-Salto Osório	230	2	3,0410	15,718	27,089	319	319	15,20	44,40
938	955	Blumenau-C.Novos	500	1	0,2556	2,9224	360,40	2037	2037	3,17	12,06
938	959	Blumenau-Curitiba	500	1	0,1270	1,6030	195,89	1266	1266	1,73	6,60
955	964	Campos Novos-Caxias	500	1	0,1877	2,3467	287,24	1688	1688	2,42	8,76
959	895	Curitiba-Bateias	500	1	0,0500	0,4400	47,580	2110	2110	0,47	1,80
964	976	Caxias-Gravataí	500	1	0,0733	0,9164	112,17	1688	1688	0,98	3,55
976	995	Gravataí-Itá	500	1	0,2820	3,8520	493,70	1688	1688	3,62	15,18
995	964	Itá-Caxias	500	1	0,1643	3,0339	354,88	2182	2182	3,04	11,54
995	1030	Itá-Machadinho	500	1	0,0730	0,9200	112,26	2182	2182	0,83	3,22
995	1060	Itá-Salto Santiago	500	1	0,1720	2,1700	265,16	2110	2110	2,35	8,94
1030	955	Machadinho-C.Novos	500	1	0,0470	0,5900	71,818	2182	2182	0,48	1,86
1060	897	S.Santiago-S.Caxias	500	1	0,0760	1,1710	124,58	2370	2681	0,80	3,04

Impedância Mútua entre Linhas									
Linha 1				Linha 2				R _M	X _M
De	Para	Nº	Tensão	De	Para	Nº	Tensão		
934	1047	1	230	934	1047	2	230	11,82	20,94
824	933	1	500	824	933	2	500	0,04	0,08
839	2458	1	230	839	2458	2	230	3,43	5,81

Coluna	Descrição
De	Número de identificação da barra de origem.
Para	Número de identificação da barra de destino.
Nome	Nome de identificação do circuito.
V	Tensão nominal de operação do circuito, em kV.
Circ	Número de identificação do circuito.
R_+	Resistência equivalente de seqüência positiva do circuito, em %.
X_+	Reatância equivalente de seqüência positiva do circuito, em %.
B	Susceptância shunt total do circuito, em Mvar.
CN	Capacidade de carregamento do circuito em condições normais de operação, em MVA.
CE	Capacidade de carregamento do circuito em condições de emergência, em MVA.
R_0	Resistência equivalente de seqüência zero do circuito, em %.
X_0	Reatância equivalente de seqüência zero do circuito, em %.
Linha 1	Primeira linha de transmissão ou circuito um no caso de circuitos paralelos.
Linha 2	Segunda linha de transmissão ou circuito dois no caso de circuitos paralelos.
R_M	Parte resistiva da impedância mútua (seqüência zero do circuito), em %.
X_M	Parte reativa da impedância mútua (seqüência zero do circuito), em %.

A-3.3. Dados de Transformadores

Nota: Os dados dos transformadores para representação em estudo de curto-circuito no programa ANAFAS, estão apresentados no item A-5.4 do Adendo V.

Seqüência Positiva e Negativa													
De	Para	Nome	Nº	RT	Pot	R_+	X_+	Tap min	Tap max	Pos	Tp	Cn	Ce
895	814	Bateias	1	500/230	600	0,032	1,146	0,90	1,10	19	V	600	600
895	814	Bateias	2	500/230	600	0,030	1,1651	0,90	1,10	19	V	600	600
800	824	G.B.Munhoz	1	16/500	465	0,000	3,360	0,95	1,05	5	F	465	465
800	824	G.B.Munhoz	2	16/500	465	0,000	3,360	0,95	1,05	5	F	465	465
800	824	G.B.Munhoz	3	16/500	465	0,000	3,360	0,95	1,05	5	F	465	465
800	824	G.B.Munhoz	4	16/500	465	0,000	3,360	0,95	1,05	5	F	465	465
839	840	Cascavel	1	230/138	150	0,000	6,640	0,881	1,136	16	V	150	150
839	840	Cascavel	2	230/138	150	0,000	6,290	0,881	1,136	16	V	150	150
810	856	Salto Segredo	1	13,8/500	333	0,000	4,200	0,95	1,05	5	F	333	333
810	856	Salto Segredo	2	13,8/500	333	0,000	4,200	0,95	1,05	5	F	333	333
810	856	Salto Segredo	3	13,8/500	333	0,000	4,200	0,95	1,05	5	F	333	333
810	856	Salto Segredo	4	13,8/500	333	0,000	4,200	0,95	1,05	5	F	333	333
897	808	Salto Caxias	1	13,8/500	345	0,000	4,080	0,95	1,05	5	F	345	345
897	808	Salto Caxias	2	13,8/500	345	0,000	4,080	0,95	1,05	5	F	345	345
897	808	Salto Caxias	3	13,8/500	345	0,000	4,080	0,95	1,05	5	F	345	345
897	808	Salto Caxias	4	13,8/500	345	0,000	4,080	0,95	1,05	5	F	345	345
898	848	Foz do Chopin	1	230/138	150	0,000	6,360	0,881	1,136	16	V	150	150
933	934	Areia	1	500/230	672	0,031	1,207	0,90	1,10	19	V	672	806
938	939	Blumenau	1	500/230	672	0,031	1,150	0,90	1,10	19	V	672	806
938	939	Blumenau	2	500/230	672	0,032	1,163	0,90	1,10	19	V	672	806
938	939	Blumenau	3	500/230	672	0,000	1,277	0,90	1,10	19	V	672	672
959	960	Curitiba	1	500/230	672	0,032	1,163	0,90	1,10	19	V	672	806
959	960	Curitiba	2	500/230	672	0,031	1,166	0,90	1,10	19	V	672	806
964	965	Caxias	1	500/230	672	0,020	1,211	0,90	1,10	19	V	672	806
964	965	Caxias	2	500/230	672	0,020	1,233	0,90	1,10	19	V	672	806
904	995	Itá	1	16/500	305	0,050	4,615	0,95	1,05	5	F	305	305
904	995	Itá	2	16/500	305	0,050	4,615	0,95	1,05	5	F	305	305
904	995	Itá	3	16/500	305	0,050	4,615	0,95	1,05	5	F	305	305
904	995	Itá	4	16/500	305	0,050	4,615	0,95	1,05	5	F	305	305
904	995	Itá	5	16/500	305	0,050	4,615	0,95	1,05	5	F	305	305

Seqüência Positiva e Negativa													
De	Para	Nome	Nº	RT	Pot	R ₊	X ₊	Tap min	Tap max	Pos	Tp	Cn	Ce
915	1030	Machadinho	1	16/500	420	0,000	4,131	0,95	1,05	5	F	420	420
915	1030	Machadinho	2	16/500	420	0,000	4,131	0,95	1,05	5	F	420	420
915	1030	Machadinho	3	16/500	420	0,000	4,131	0,95	1,05	5	F	420	420
919	1047	Salto Osório	1	13,8/230	196	0,080	6,809	0,95	1,05	5	F	196	196
919	1047	Salto Osório	2	13,8/230	196	0,080	6,809	0,95	1,05	5	F	196	196
919	1047	Salto Osório	3	13,8/230	196	0,080	6,809	0,95	1,05	5	F	196	196
919	1047	Salto Osório	4	13,8/230	196	0,080	6,809	0,95	1,05	5	F	196	196
925	1060	S.Santiago	1	19/500	415	0,040	4,545	0,95	1,05	5	F	415	415
925	1060	S.Santiago	2	19/500	415	0,040	4,545	0,95	1,05	5	F	415	415
925	1060	S.Santiago	3	19/500	415	0,040	4,545	0,95	1,05	5	F	415	415
925	1060	S.Santiago	4	19/500	415	0,040	4,545	0,95	1,05	5	F	415	415
976	1210	Gravataí	1	500/230	672	0,030	1,219	0,90	1,10	19	V	672	806
976	1210	Gravataí	2	500/230	672	0,039	1,138	0,90	1,10	19	V	672	806
976	1210	Gravataí	3	500/230	672	0,036	1,217	0,90	1,10	19	V	672	806
896	2458	Cascavel Oeste	1	500/230	600	0,000	1,270	0,90	1,10	19	V	600	600

Tabela das derivações de tapetes dos transformadores

5 Posições		16 Posições		19 Posições	
Posição	Tape	Posição	Tape	Posição	Tape
1	1,050	1	1,136	1	1,1000
2	1,025	2	1,119	2	1,0889
3	1,000	3	1,102	3	1,0778
4	0,975	4	1,085	4	1,0667
5	0,950	5	1,068	5	1,0555
		6	1,051	6	1,0444
		7	1,034	7	1,0333
		8	1,017	8	1,0222
		9	1,000	9	1,0111
		10	0,983	10	1,0000
		11	0,966	11	0,9889
		12	0,949	12	0,9778
		13	0,932	13	0,9667
		14	0,915	14	0,9556
		15	0,898	15	0,9444
		16	0,881	16	0,9333
				17	0,9222
				18	0,9111
				19	0,9000

Coluna	Descrição
De	Número de identificação da barra de origem.
Para	Número de identificação da barra de destino.
Nome	Nome de identificação da unidade transformadora.
Nº	Número de identificação da unidade transformadora.
RT	Relação de transformação da unidade transformadora, em kV.
Pot	Potência nominal da unidade transformadora, em MVA.
R ₊	Resistência equivalente de seqüência positiva da unidade transformadora, em %.
X ₊	Reatância equivalente de seqüência positiva da unidade transformadora, em %.
Tap Min	Valor mínimo que o tape da unidade transformadora pode assumir para transformadores com variação automática de tape, em pu.
Tap Max	Valor máximo que o tape da unidade transformadora pode assumir para transformadores com variação automática de tape, em pu.

Coluna	Descrição
Pos	Número de posições entre tape mínimo e tape máximo.
Tp	Tipo de transformador, onde: F = tape fixo e V = tape variável em carga.
Cn	Capacidade máxima de transformação em condições normais de operação, em MVA.
Ce	Capacidade máxima de transformação em condições de emergência, em MVA.
Posição	Número da posição do tape.
Tape	Valor do tape, em pu.

A-3.4. Dados de Carga

Barra	Nome	Tensão	Carga	
			MW	Mvar
814	Bateias	230	680	130
960	Curitiba	230	790	330
939	Blumenau	230	940	50
965	Caxias	230	700	49
1210	Gravataí	230	1100	400
934	Areia	230	235	57
2458	Cascavel do Oeste	230	400	125
840	Cascavel	138	150	32
848	Foz do Chopin	138	90	17
Total			5 085	1 190

A-3.5. Dados de Equipamentos de Controle de Tensão

Capacitores Shunt						
Barra	Nome	Tensão	Nº	Potência	Total	Disjuntor
1210	Gravataí	230	4	100	400	Sim
939	Blumenau	230	2	125	250	Não
959	Curitiba	500	1	100	100	Não
Total			7		750	

Reatores Shunt						
Barra	Nome	Tensão	Nº	Potência	Total	Disjuntor
995	Itá	500	1	150	150	Sim
955	Campos Novos	500	1	100	100	Não
976	Gravataí	500	1	150	150	Não
964	Caxias	500	1	150	150	Sim
938	Blumenau	500	1	150	150	Não
959	Curitiba	500	1	150	150	Sim
839	Cascavel	230	2	15	30	Não
Total			8		880	

Coluna	Descrição
Barra	Número de identificação da barra que o equipamento está conectado.
Nome	Nome de identificação da barra que o equipamento está conectado.
Tensão	Tensão nominal do equipamento, em kV
Nº	Quantidade de equipamentos.
Potência	Potência nominal gerada por equipamento, em Mvar.
Total	Potência total gerada, em Mvar.
Disjuntor	Indica a existência ou não de disjuntor para chaveamento do equipamento, ou seja, se o equipamento é manobrável através de disjuntor.

A-3.6. Dados de Máquinas

Geração de Potência Ativa (MW)				
Barra	Nome	Nº de Máquinas	Geração Máxima por Máquina	Geração Máxima Total
800	G.B.Munhoz	4	418,5	1674
808	Salto Caxias	4	310	1240
810	Salto Segredo	4	315	1260
904	Itá	5	170	1450
915	Machadinho	3	260	1140
919	Salto Osório	4	120	728
925	Salto Santiago	4	220	1420
	Total	28		8 912

Geração e Absorção de Reativos das Máquinas (Mvar)						
Barra	Nome	Nº de Máquinas	Absorção		Geração	
			Por Máquina	Total	Por Máquina	Total
800	G.B.Munhoz	4	200	800	200	800
808	Salto Caxias	4	150	600	150	600
810	Salto Segredo	4	100	400	133	532
904	Itá	5	95	475	95	475
915	Machadinho	3	172	516	155	465
919	Salto Osório	4	37	148	55	220
925	Salto Santiago	4	110	440	105	420
	Total	28		3 379		3 512

A-3.7. Modelo e Dados de Geradores

Nota: O modelo de gerador utilizado foi o MD02 do programa ANATEM [14] para pólos salientes que utiliza um enrolamento de campo e dois enrolamentos amortecedores, sendo um no eixo direto e outro no eixo em quadratura.

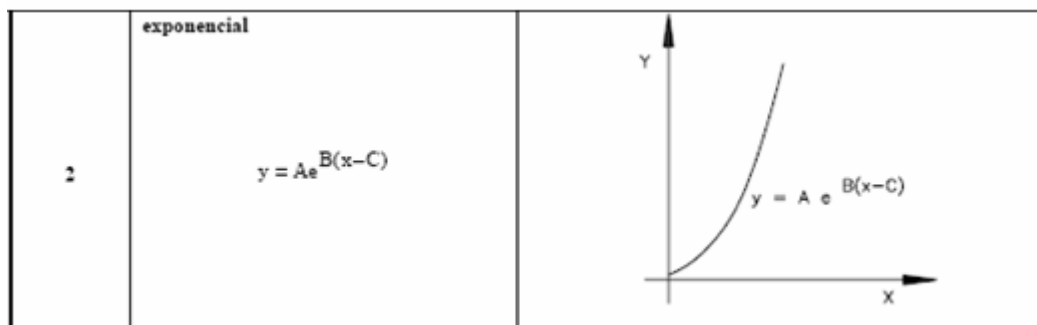
Bar	Nome	Nº	Xd	Xq	X'd	X''d	Xl	T'd	T''d	T''q	H	P	Ra	T
800	G.B.M	4	91,89	68,63	30,25	24,22	16,13	7,92	0,06	0,09	4,439	419	0	H
808	S.Caxias	4	87,85	56,61	24,51	19,86	10,35	7,59	0,07	0,17	4,071	333	0	H
810	S. Segredo	4	87,85	56,61	24,51	19,86	10,35	7,59	0,07	0,17	4,071	333	0	H
904	Itá	5	110,0	73,0	31,0	24,0	16,0	6,90	0,043	0,040	4,349	305	0,42	H
915	Machadinho	3	100,0	75,0	32,0	26,0	22,0	6,0	0,09	0,09	4,844	418,5	0	H
919	S.Osório	4	119,9	59,96	30,94	25,48	10,92	8,27	0,050	0,070	3,620	182	0	H
925	S.Santiago	4	91,79	62,25	31,65	23,21	18,86	10,0	0,040	0,130	3,873	369,8	0	H

Coluna	Descrição
Bar	Número de identificação da barra onde está ligada a unidade geradora.
Nome	Número da unidade geradora.
Nº	Número de unidades geradoras da usina.
Xd	Reatância síncrona de eixo direto por máquina, em %.
Xq	Reatância síncrona de eixo em quadratura por máquina, em %.
X'd	Reatância transitória de eixo direto por máquina, em %.
X''d	Reatância subtransitória de eixo direto por máquina, em %.
Xl	Reatância de dispersão da armadura por máquina, em %.
T'd	Constante de tempo transitória de eixo direto em circuito aberto, em segundos.

Coluna	Descrição
T'd	Constante de tempo subtransitória de eixo direto em circuito aberto, em segundos.
T'q	Constante de tempo subtransitória de eixo em quadratura em circuito aberto, em segundos.
H	Constante de inércia, em segundos. Representa a relação entre a energia cinética armazenada no grupo turbina-gerador, à velocidade síncrona, e a potência aparente nominal da máquina.
P	Potência aparente nominal da unidade geradora, em MVA, usada como base para os parâmetros.
Ra	Resistência do enrolamento de armadura, em %.
T	Tipo de fonte de energia da usina: H= Hidráulica e T=Térmica

Curva de Saturação					
Núm	Máq	Tipo	Y1	Y2	X1
700	Gov. Bento Munhoz	2	0,0220	7,874	0,8
702	Salto Caxias	2	0,0147	7,098	0,8
702	Salto Segredo	2	0,0147	7,098	0,8
808	Itá	2	0,02707	7,05981	0,8
815	Machadinho	2	0,022924	8,392149	0,8
805	Salto Osório	2	0,0490	6,640	0,8
807	Salto Santiago	2	0,0460	6,300	0,8

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação da curva de saturação da máquina usado no arquivo de dados.
Máq	Nome da unidade geradora.
Tipo	Indica o tipo de equação usada para curva de saturação. Tipo 2 corresponde a uma exponencial (ver figura abaixo).
Y1	Valor do parâmetro A, em pu.
Y2	Valor do parâmetro B, em pu.
X1	Valor do parâmetro C, em pu.



Equação e curva de saturação

A-3.8. Modelo de Controladores para Estudos Dinâmicos

Nota: Os dados dos respectivos controladores para uso nos programas ANATEM e PACDYN, são os constantes da base de dados dinâmicos do ONS referente a maio de 2006. No item A-5.9 do Adendo V são apresentados os diagramas de blocos e seus parâmetros.

Observações	
(i)	Os valores em por cento (%) corresponde ao valor em pu multiplicado por 100.
(ii)	Os parâmetros estão referenciados a potência base do sistema, igual a 100 MVA, e a tensão nominal.
(iii)	Todas as linhas de transmissão suportam uma sobrecarga de até 10% por um tempo máximo de 60 minutos. Este valor corresponde ao limite de curta duração que é determinado pela capacidade física do equipamento e de seus respectivos acessórios na condução de corrente.
(iv)	Todas as linhas de transmissão são do tipo aérea.
(v)	Os transformadores elevadores das usinas estão ligados em Delta no lado de baixa (usina) e Estrela Aterrada no lado de alta tensão (linha).
(vi)	As reatâncias dos transformadores correspondem ao valor de XPS para representação em fluxo de potência.
(vii)	As variações de tensão nas barras provocadas por chaveamento de reatores ou capacitores não deverão exceder a 10% do limite superior.

* * *

ADENDO IV

A-4. DADOS DO SISTEMA-TESTE DE 65 BARRAS (STB-65)

São apresentados neste adendo os dados e parâmetros elétricos do sistema-teste de 65 barras proposto no item 3.6 desta Dissertação. Alerta-se ao leitor que, os modelos dinâmicos dos controladores para análise de estabilidade e os dados para análise de curto-circuito referente aos transformadores, encontram-se no Adendo V.

A-4.1. Dados de Barra

Nº	Nome	Tipo	Tensão	Faixa		Área
				Max	Min	
18	Itumbiara	PV	13,8	1,050	0,950	1
20	Marimbondo	PV	13,8	1,050	0,950	1
48	Ibiúna	PV	13,8	1,050	0,950	1
100	Marimbondo	PQ	500	1,100	0,950	1
101	Araraquara	PQ	500	1,100	0,950	1
102	Poços de Caldas	PQ	500	1,100	0,950	1
103	Campinas	PQ	500	1,100	0,950	1
104	Cachoeira Paulista	PQ	500	1,100	0,950	1
120	Poços de Caldas	PQ	345	1,070	0,950	1
122	Ibiúna	PQ	500	1,100	0,950	1
123	Campinas	PQ	345	1,070	0,950	1
210	Itumbiara	PQ	500	1,100	0,950	1
213	Marimbondo	PQ	345	1,070	0,950	1
217	Itumbiara	PQ	345	1,070	0,950	1
233	Samambaia	PQ	500	1,100	0,950	1
234	Samambaia	PQ	345	1,070	0,950	1
300	Emborcação	PV	13,8	1,050	0,950	1
301	Jaguara	PV	13,8	1,050	0,950	1
302	Nova Ponte	PV	13,8	1,050	0,950	1
303	São Simão	PV	13,8	1,050	0,950	1
320	Emborcação	PQ	500	1,100	0,950	1
325	Jaguara	PQ	500	1,100	0,950	1
326	Jaguara	PQ	345	1,070	0,950	1
360	Nova Ponte	PQ	500	1,100	0,950	1
370	São Simão	PQ	500	1,100	0,950	1
500	Água Vermelha	PV	13,8	1,050	0,950	1
535	Água Vermelha	PQ	500	1,100	0,950	1
536	Água Vermelha	PQ	440	1,070	0,950	1
800	Gov. Bento Munhoz	V θ	13,8	1,050	0,950	2
808	Salto Caxias	PV	13,8	1,050	0,950	2
810	Salto Segredo	PV	13,8	1,050	0,950	2
814	Bateias	PQ	230	1,050	0,950	2
824	Gov. Bento.Munhoz	PQ	500	1,090	0,950	2

N°	Nome	Tipo	Tensão	Faixa		Área
				Max	Min	
834	São Mateus	PQ	230	1,050	0,950	2
839	Cascavel	PQ	230	1,050	0,950	2
840	Cascavel	PQ	138	1,050	0,950	2
848	Foz do Chopin	PQ	138	1,050	0,950	2
856	Segredo	PQ	500	1,090	0,950	2
895	Bateias	PQ	500	1,090	0,950	2
896	Cascavel do Oeste	PQ	500	1,090	0,950	2
897	Salto Caxias	PQ	500	1,090	0,950	2
898	Foz do Chopin	PQ	230	1,050	0,950	2
904	Itá	PV	13,8	1,050	0,950	2
915	Machadinho	PV	13,8	1,050	0,950	2
919	Salto Osório	PV	13,8	1,050	0,950	2
925	Salto Santiago	PV	13,8	1,050	0,950	2
933	Areia	PQ	500	1,090	0,950	2
934	Areia	PQ	230	1,050	0,950	2
938	Blumenau	PQ	500	1,090	0,950	2
939	Blumenau	PQ	230	1,050	0,950	2
955	Campos Novos	PQ	500	1,090	0,950	2
959	Curitiba	PQ	500	1,090	0,950	2
960	Curitiba	PQ	230	1,050	0,950	2
964	Caxias	PQ	500	1,090	0,950	2
965	Caxias	PQ	230	1,050	0,950	2
976	Gravataí	PQ	500	1,090	0,950	2
995	Itá	PQ	500	1,090	0,950	2
1015	Joinville	PQ	230	1,050	0,950	2
1030	Machadinho	PQ	500	1,090	0,950	2
1047	Salto Osório	PQ	230	1,050	0,950	2
1060	Salto Santiago	PQ	500	1,090	0,950	2
1210	Gravataí	PQ	230	1,050	0,950	2
1503	Itajubá	PQ	500	1,100	0,950	1
1504	Itajubá	PQ	138	1,050	0,950	1
2458	Cascavel	PQ	230	1,050	0,950	2

Coluna	Descrição
N°	Número de identificação da barra.
Nome	Nome de identificação da barra.
Tipo	Corresponde ao tipo de barra a ser representado nos dados de fluxo de potência, onde: Tipo V θ = Barra de referência ou swing Tipo PV = Barra de tensão regulada ou de geração Tipo PQ = Barra de carga
Tensão	Corresponde a tensão nominal de operação da barra, em kV.
Faixa	Faixa de tensão correspondente aos níveis máximos e mínimos de tensão que a barra pode operar em regime permanente.
Área	Número de identificação da área elétrica ou subsistema ao qual a barra pertence.

A-4.2. Dados de Linha

Seqüência Positiva e Negativa										Seqüência Zero	
De	Para	Nome	V	Circ	R ₊	X ₊	B	CN	CE	R ₀	X ₀
100	101	Marimbondo-Araraquara	500	1	0,172	2,720	231,40	1665	2460	1,45	11,62
100	101	Marimbondo-Araraquara	500	2	0,171	2,700	230,20	1665	2460	1,43	11,57
100	210	Marimbondo-Itumbiara	500	1	0,209	2,935	254,60	1732	1732	3,14	12,15
100	535	Marimbondo-A.Vermelha	500	1	0,153	2,400	203,80	1665	1665	1,30	10,32
101	102	Araraquara-P.Caldas	500	1	0,156	2,460	208,50	1665	1665	1,32	10,55
101	103	Araraquara-Campinas	500	1	0,152	2,390	202,60	1665	1665	1,29	10,27
102	1503	Poços de Caldas-Itajubá	500	1	0,110	1,910	161,85	1665	1665	1,10	8,60
103	104	Campinas-C.Paulista	500	1	0,196	3,100	264,90	1665	1665	1,63	13,16
104	1503	Cachoeira Paulista-Itajubá	500	1	0,050	0,820	69,36	1665	1665	0,44	3,44
103	122	Campinas-Ibiúna	500	1	0,105	1,619	136,35	1665	1665	1,63	6,40
103	122	Campinas-Ibiúna	500	2	0,105	1,619	136,35	1665	1665	1,63	6,40
210	370	Itumbiara-São Simão	500	1	0,147	2,320	196,60	1665	1665	1,26	10,0
210	233	Itumbiara-Samambaia	500	1	0,280	3,990	355,36	2598	2598	5,29	19,45
233	320	Samambaia-Emborcação	500	1	0,270	3,870	344,03	2598	2598	5,10	18,76
210	320	Itumbiara-Emborcação	500	1	0,125	1,937	149,96	1948	1948	1,86	7,03
320	360	Emborcação-N.Ponte	500	1	0,082	1,256	98,99	2078	2078	1,22	4,57
325	360	Jaguara-Nova Ponte	500	1	0,100	1,519	119,67	2251	2251	1,48	5,55
325	370	Jaguara-São Simão	500	1	0,280	4,840	419,50	2205	2205	4,16	16,64
370	535	S.Simão-Água Vermelha	500	1	0,0931	1,3758	112,30	2205	2205	1,36	5,04
824	933	Gov.Bento Munhoz-Areia	500	1	0,010	0,124	15,204	2182	2182	0,04	0,29
824	933	Gov.Bento Munhoz-Areia	500	2	0,010	0,126	15,428	2182	2182	0,04	0,29
834	934	São Mateus-Areia	230	1	2,444	12,652	21,71	359	359	10,78	28,11
839	898	Cascavel-F.Chopim	230	1	1,130	6,990	12,617	189	318	4,88	19,51
839	1047	Cascavel-S.Osório	230	1	1,220	7,690	13,810	189	323	5,44	21,20
839	2458	Cascavel-Cascavel Oeste	230	1	0,220	1,090	1,8601	319	413	0,77	2,95
839	2458	Cascavel-Cascavel Oeste	230	2	0,170	1,030	2,0537	356	356	0,65	3,26
856	933	Segredo-Areia	500	1	0,052	0,654	80,493	2273	2273	0,29	1,68
856	1060	Segredo-S.Santiago	500	1	0,056	0,697	85,746	2182	2182	0,31	1,79
122	895	Ibiúna-Bateias	500	1	0,308	3,958	444,84	1299	2252	3,81	17,27
122	895	Ibiúna-Bateias	500	2	0,308	3,958	444,84	1299	2252	3,81	17,27
896	897	Cascavel Oeste-S.Caxias	500	1	0,050	0,730	78,060	1637	1637	0,50	1,90
898	1047	F.Chopin-S.Osório	230	1	0,150	0,890	1,6317	324	324	0,62	2,51
933	895	Areia-Bateias	500	1	0,200	2,550	312,72	2110	2110	2,77	10,53
933	955	Areia-Campos Novos	500	1	0,162	2,048	250,17	2110	2110	2,22	8,44
933	959	Areia-Curitiba	500	1	0,200	2,690	336,40	2182	2182	2,72	10,86
934	1047	Areia-Salto Osório	230	1	3,045	15,738	27,123	319	319	15,21	44,43
934	1047	Areia-Salto Osório	230	2	3,041	15,718	27,089	319	319	15,20	44,40
938	955	Blumenau-C.Novos	500	1	0,2556	2,9224	360,40	2037	2037	3,17	12,06
938	959	Blumenau-Curitiba	500	1	0,1270	1,603	195,89	1266	1266	1,73	6,60
955	964	Campos Novos-Caxias	500	1	0,1877	2,3467	287,24	1688	1688	2,42	8,76
959	895	Curitiba-Bateias	500	1	0,050	0,440	47,580	2110	2110	0,47	1,80
964	976	Caxias-Gravataí	500	1	0,0733	0,9164	112,17	1688	1688	0,98	3,55
976	995	Gravataí-Itá	500	1	0,282	3,852	493,70	1688	1688	3,62	15,18
995	964	Itá-Caxias	500	1	0,1643	3,0339	354,88	2182	2182	3,04	11,54
995	1030	Itá-Machadinho	500	1	0,073	0,920	112,26	2182	2182	0,83	3,22
995	1060	Itá-Salto Santiago	500	1	0,172	2,170	265,16	2110	2110	2,35	8,94
1030	955	Machadinho-C.Novos	500	1	0,047	0,590	71,818	2182	2182	0,48	1,86
1060	897	S.Santiago-S.Caxias	500	1	0,076	1,171	124,58	2370	2681	0,80	3,04
939	1015	Blumenau-Joinville	230	1	1,271	6,562	11,305	306	319	4,60	14,30
939	1015	Blumenau-Joinville	230	2	1,283	6,564	11,522	306	319	5,11	14,90
1015	960	Joinville-Curitiba	230	1	1,892	9,776	16,845	319	319	8,71	25,20
1015	960	Joinville-Curitiba	230	2	1,895	9,704	17,029	319	319	9,12	23,55
960	834	Curitiba-São Mateus	230	1	2,211	1,475	19,687	319	319	7,75	36,02

Impedância Mútua entre Linhas									
Linha 1				Linha 2				R_M	X_M
De	Para	Nº	Tensão	De	Para	Nº	Tensão		
934	1047	1	230	934	1047	2	230	11,82	20,94
824	933	1	500	824	933	2	500	0,04	0,08
839	2458	1	230	839	2458	2	230	3,43	5,81
939	1015	1	230	939	1015	2	230	3,32	4,86
960	1015	1	230	960	1015	2	230	6,73	9,74
122	895	1	500	122	895	2	230	1,90	13,55
122	103	1	500	122	103	2	500	4,65	7,32
100	101	1	500	100	101	2	500	1,26	6,82

Coluna	Descrição
De	Número de identificação da barra de origem.
Para	Número de identificação da barra de destino.
Nome	Nome de identificação do circuito.
Tensão	Tensão nominal de operação do circuito, em kV.
Circ	Número de identificação do circuito.
R_+	Resistência equivalente de seqüência positiva do circuito, em %.
X_+	Reatância equivalente de seqüência positiva do circuito, em %.
B	Susceptância shunt total do circuito, em Mvar.
Normal	Capacidade de carregamento do circuito em condições normais de operação, em MVA.
Emerg	Capacidade de carregamento do circuito em condições de emergência, em MVA.
R_0	Resistência equivalente de seqüência zero do circuito, em %.
X_0	Reatância equivalente de seqüência zero do circuito, em %.
Linha 1	Primeira linha de transmissão ou circuito um no caso de circuitos paralelos.
Linha 2	Segunda linha de transmissão ou circuito dois no caso de circuitos paralelos.
R_M	Parte resistiva da impedância mútua (seqüência zero do circuito), em %.
X_M	Parte reativa da impedância mútua (seqüência zero do circuito), em %.

A-4.3. Dados de Transformadores

Nota: Os dados dos transformadores para representação em estudo de curto-circuito no programa ANAFAS, estão apresentados no item A-5.4 do Adendo V.

Seqüência Positiva e Negativa													
De	Para	Nome	Nº	RT	Pot	R_+	X_+	Tap min	Tap max	Pos	Tp	Cn	Ce
895	814	Bateias	1	500/230	600	0,032	1,146	0,90	1,10	19	V	600	600
895	814	Bateias	2	500/230	600	0,030	1,1651	0,90	1,10	19	V	600	600
800	824	G.B.Munhoz	1	16/500	465	0,000	3,360	0,95	1,05	5	F	465	465
800	824	G.B.Munhoz	2	16/500	465	0,000	3,360	0,95	1,05	5	F	465	465
800	824	G.B.Munhoz	3	16/500	465	0,000	3,360	0,95	1,05	5	F	465	465
800	824	G.B.Munhoz	4	16/500	465	0,000	3,360	0,95	1,05	5	F	465	465
839	840	Cascavel	1	230/138	150	0,000	6,640	0,881	1,136	16	V	150	150
839	840	Cascavel	2	230/138	150	0,000	6,290	0,881	1,136	16	V	150	150
810	856	Salto Segredo	1	13,8/500	333	0,000	4,200	0,95	1,05	5	F	333	333
810	856	Salto Segredo	2	13,8/500	333	0,000	4,200	0,95	1,05	5	F	333	333
810	856	Salto Segredo	3	13,8/500	333	0,000	4,200	0,95	1,05	5	F	333	333
810	856	Salto Segredo	4	13,8/500	333	0,000	4,200	0,95	1,05	5	F	333	333
897	808	Salto Caxias	1	13,8/500	345	0,000	4,080	0,95	1,05	5	F	345	345
897	808	Salto Caxias	2	13,8/500	345	0,000	4,080	0,95	1,05	5	F	345	345
897	808	Salto Caxias	3	13,8/500	345	0,000	4,080	0,95	1,05	5	F	345	345
897	808	Salto Caxias	4	13,8/500	345	0,000	4,080	0,95	1,05	5	F	345	345

Seqüência Positiva e Negativa													
De	Para	Nome	Nº	RT	Pot	R ₊	X ₊	Tap min	Tap max	Pos	Tp	Cn	Ce
898	848	Foz do Chopin	1	230/138	150	0,000	6,360	0,881	1,136	16	V	150	150
933	934	Areia	1	500/230	672	0,031	1,207	0,90	1,10	19	V	672	806
938	939	Blumenau	1	500/230	672	0,031	1,150	0,90	1,10	19	V	672	806
938	939	Blumenau	2	500/230	672	0,032	1,163	0,90	1,10	19	V	672	806
938	939	Blumenau	3	500/230	672	0,000	1,277	0,90	1,10	19	V	672	672
959	960	Curitiba	1	500/230	672	0,032	1,163	0,90	1,10	19	V	672	806
959	960	Curitiba	2	500/230	672	0,031	1,166	0,90	1,10	19	V	672	806
964	965	Caxias	1	500/230	672	0,020	1,211	0,90	1,10	19	V	672	806
964	965	Caxias	2	500/230	672	0,020	1,233	0,90	1,10	19	V	672	806
904	995	Itá	1	16/500	305	0,050	4,615	0,95	1,05	5	F	305	305
904	995	Itá	2	16/500	305	0,050	4,615	0,95	1,05	5	F	305	305
904	995	Itá	3	16/500	305	0,050	4,615	0,95	1,05	5	F	305	305
904	995	Itá	4	16/500	305	0,050	4,615	0,95	1,05	5	F	305	305
904	995	Itá	5	16/500	305	0,050	4,615	0,95	1,05	5	F	305	305
915	1030	Machadinho	1	16/500	420	0,000	4,131	0,95	1,05	5	F	420	420
915	1030	Machadinho	2	16/500	420	0,000	4,131	0,95	1,05	5	F	420	420
915	1030	Machadinho	3	16/500	420	0,000	4,131	0,95	1,05	5	F	420	420
919	1047	Salto Osório	1	13,8/230	196	0,080	6,809	0,95	1,05	5	F	196	196
919	1047	Salto Osório	2	13,8/230	196	0,080	6,809	0,95	1,05	5	F	196	196
919	1047	Salto Osório	3	13,8/230	196	0,080	6,809	0,95	1,05	5	F	196	196
919	1047	Salto Osório	4	13,8/230	196	0,080	6,809	0,95	1,05	5	F	196	196
925	1060	S.Santiago	1	19/500	415	0,040	4,545	0,95	1,05	5	F	415	415
925	1060	S.Santiago	2	19/500	415	0,040	4,545	0,95	1,05	5	F	415	415
925	1060	S.Santiago	3	19/500	415	0,040	4,545	0,95	1,05	5	F	415	415
925	1060	S.Santiago	4	19/500	415	0,040	4,545	0,95	1,05	5	F	415	415
976	1210	Gravataí	1	500/230	672	0,030	1,219	0,90	1,10	19	V	672	806
976	1210	Gravataí	2	500/230	672	0,039	1,138	0,90	1,10	19	V	672	806
976	1210	Gravataí	3	500/230	672	0,036	1,217	0,90	1,10	19	V	672	806
896	2458	Cascavel Oeste	1	500/230	600	0,000	1,270	0,90	1,10	19	V	600	600
103	123	Campinas	1	500/345	560	0,000	2,419	0,95	1,11	17	F	560	560
102	120	P. de Caldas	1	500/345	560	0,000	2,403	0,95	1,11	17	F	560	560
1503	1504	Itajubá	1	500/138	300	0,000	5,200	0,95	1,10	13	V	300	300
100	213	Marimbondo	1	500/345	560	0,000	2,357	0,95	1,11	17	F	560	560
325	326	Jaguara	1	500/345	400	0,000	2,160	0,95	1,11	17	F	400	483
325	326	Jaguara	2	500/345	400	0,000	2,160	0,95	1,11	17	F	400	483
210	217	Itumbiara	1	500/345	560	0,000	1,720	0,95	1,11	17	F	560	560
210	217	Itumbiara	2	500/345	560	0,000	1,720	0,95	1,11	17	F	560	560
233	234	Samambaia	1	500/345	1050	0,000	1,113	0,95	1,11	17	F	1050	1050
233	234	Samambaia	2	500/345	1050	0,000	1,000	0,95	1,11	17	F	1050	1050
20	100	Marimbondo	1	13,8/500	190	0,000	6,320	1,00	1,10	5	F	190	190
20	100	Marimbondo	2	13,8/500	190	0,000	6,320	1,00	1,10	5	F	190	190
20	100	Marimbondo	3	13,8/500	190	0,000	6,320	1,00	1,10	5	F	190	190
20	100	Marimbondo	4	13,8/500	190	0,000	6,320	1,00	1,10	5	F	190	190
20	100	Marimbondo	5	13,8/500	190	0,000	6,320	1,00	1,10	5	F	190	190
20	100	Marimbondo	6	13,8/500	190	0,000	6,320	1,00	1,10	5	F	190	190
20	100	Marimbondo	7	13,8/500	190	0,000	6,320	1,00	1,10	5	F	190	190
20	100	Marimbondo	8	13,8/500	190	0,000	6,320	1,00	1,10	5	F	190	190
18	210	Itumbiara	1	13,8/500	400	0,000	4,000	1,00	1,10	5	F	400	400
18	210	Itumbiara	2	13,8/500	400	0,000	4,000	1,00	1,10	5	F	400	400
18	210	Itumbiara	3	13,8/500	400	0,000	4,000	1,00	1,10	5	F	400	400
18	210	Itumbiara	4	13,8/500	400	0,000	4,000	1,00	1,10	5	F	400	400
18	210	Itumbiara	5	13,8/500	400	0,000	4,000	1,00	1,10	5	F	400	400
18	210	Itumbiara	6	13,8/500	400	0,000	4,000	1,00	1,10	5	F	400	400
48	122	Ibiúna	1	13,8/500	350	0,000	2,859	0,90	1,10	19	F	350	350
48	122	Ibiúna	2	13,8/500	350	0,000	2,859	0,90	1,10	19	F	350	350

Seqüência Positiva e Negativa													
De	Para	Nome	Nº	RT	Pot	R ₊	X ₊	Tap min	Tap max	Pos	Tp	Cn	Ce
48	122	Ibiúna	3	13,8/500	350	0,000	2,859	0,90	1,10	19	F	350	350
48	122	Ibiúna	4	13,8/500	350	0,000	2,859	0,90	1,10	19	F	350	350
300	320	Emborcação	1	13,8/500	300	0,000	4,070	0,95	1,05	5	F	300	300
300	320	Emborcação	2	13,8/500	300	0,000	4,070	0,95	1,05	5	F	300	300
300	320	Emborcação	3	13,8/500	300	0,000	4,070	0,95	1,05	5	F	300	300
300	320	Emborcação	4	13,8/500	300	0,000	4,070	0,95	1,05	5	F	300	300
301	325	Jaguara	1	13,8/500	120	0,000	10,530	0,95	1,05	5	F	125	125
301	325	Jaguara	2	13,8/500	120	0,000	10,530	0,95	1,05	5	F	125	125
301	325	Jaguara	3	13,8/500	120	0,000	10,530	0,95	1,05	5	F	125	125
301	325	Jaguara	4	13,8/500	120	0,000	10,530	0,95	1,05	5	F	125	125
302	360	Nova Ponte	1	13,8/500	179	0,000	5,810	0,95	1,05	5	F	179	179
302	360	Nova Ponte	2	13,8/500	179	0,000	5,810	0,95	1,05	5	F	179	179
302	360	Nova Ponte	3	13,8/500	179	0,000	5,810	0,95	1,05	5	F	179	179
303	370	São Simão	1	13,8/500	290	0,000	4,230	0,95	1,05	5	F	290	290
303	370	São Simão	2	13,8/500	290	0,000	4,230	0,95	1,05	5	F	290	290
303	370	São Simão	3	13,8/500	290	0,000	4,230	0,95	1,05	5	F	290	290
303	370	São Simão	4	13,8/500	290	0,000	4,230	0,95	1,05	5	F	290	290
303	370	São Simão	5	13,8/500	290	0,000	4,230	0,95	1,05	5	F	290	290
303	370	São Simão	6	13,8/500	290	0,000	4,230	0,95	1,05	5	F	290	290
500	535	A. Vermelha	1	13,8/500	250	0,000	4,100	0,95	1,05	5	F	250	250
500	535	A. Vermelha	2	13,8/500	250	0,000	4,100	0,95	1,05	5	F	250	250
500	535	A. Vermelha	3	13,8/500	250	0,000	4,100	0,95	1,05	5	F	250	250
500	535	A. Vermelha	4	13,8/500	250	0,000	4,100	0,95	1,05	5	F	250	250
500	535	A. Vermelha	5	13,8/500	250	0,000	4,100	0,95	1,05	5	F	250	250
500	535	A. Vermelha	6	13,8/500	250	0,000	4,100	0,95	1,05	5	F	250	250
535	536	A. Vermelha	1	500/440	750	0,000	1,420	0,95	1,10	13	F	750	900

Tabela das derivações de tapetes dos transformadores											
5 Posições		5 Posições		13 Posições		16 Posições		17 Posições		19 Posições	
Posição	Tape	Posição	Tape	Posição	Tape	Posição	Tape	Posição	Tape	Posição	Tape
1	1,050	1	1,000	1	1,100	1	1,136	1	0,950	1	1,1000
2	1,025	2	1,025	2	1,088	2	1,119	2	0,960	2	1,0889
3	1,000	3	1,050	3	1,075	3	1,102	3	0,970	3	1,0778
4	0,975	4	1,075	4	1,063	4	1,085	4	0,980	4	1,0667
5	0,950	5	1,100	5	1,050	5	1,068	5	0,990	5	1,0555
				6	1,038	6	1,051	6	1,000	6	1,0444
				7	1,025	7	1,034	7	1,010	7	1,0333
				8	1,013	8	1,017	8	1,020	8	1,0222
				9	1,000	9	1,000	9	1,030	9	1,0111
				10	0,988	10	0,983	10	1,040	10	1,0000
				11	0,975	11	0,966	11	1,050	11	0,9889
				12	0,963	12	0,949	12	1,060	12	0,9778
				13	0,950	13	0,932	13	1,070	13	0,9667
						14	0,915	14	1,080	14	0,9556
						15	0,898	15	1,090	15	0,9444
						16	0,881	16	1,100	16	0,9333
								17	1,110	17	0,9222
										18	0,9111
										19	0,9000

Coluna	Descrição
De	Número de identificação da barra de origem.
Para	Número de identificação da barra de destino.
Nome	Nome de identificação da unidade transformadora.
Nº	Número de identificação da unidade transformadora.
RT	Relação de transformação da unidade transformadora, em kV.
Pot	Potência nominal da unidade transformadora, em MVA.
R ₊	Resistência equivalente de seqüência positiva da unidade transformadora, em %.
X ₊	Reatância equivalente de seqüência positiva da unidade transformadora, em %.
Tap Min	Valor mínimo que o tape da unidade transformadora pode assumir para transformadores com variação automática de tape, em pu.
Tap Max	Valor máximo que o tape da unidade transformadora pode assumir para transformadores com variação automática de tape, em pu.
Pos	Número de posições entre tape mínimo e tape máximo.
Tp	Tipo de transformador, onde: F = tape fixo e V = tape variável em carga.
Cn	Capacidade máxima de transformação em condições normais de operação, em MVA.
Ce	Capacidade máxima de transformação em condições de emergência, em MVA.
Posição	Número da posição do tape.
Tape	Valor do tape, em pu.

A-4.4. Dados de Carga

Barra	Nome	Tensão	Carga	
			MW	Mvar
234	Samambaia	345	900	300
217	Itumbiara	345	454	48
326	Jaguara	345	214	74
536	Água Vermelha	440	700	150
213	Marimbondo	345	75	25
123	Campinas	345	440	160
122	Ibiúna	500	200	38
120	Poços de Caldas	345	105	33
1504	Itajubá	138	110	43
104	Cachoeira Paulista	500	1200	150
814	Bateias	230	735,4	191
960	Curitiba	230	844,7	469,1
939	Blumenau	230	1149	53,1
965	Caxias	230	755,6	56,2
1210	Gravataí	230	1228	425
934	Areia	230	237	59
2458	Cascavel do Oeste	230	403	126
840	Cascavel	138	159	36
848	Foz do Chopin	138	94	18
834	São Mateus	230	13,4	4,2
1015	Joinville	230	70	2
Total			10 087,1	2 460,6

A-4.5. Dados de Equipamentos de Controle de Tensão

Capacitores Shunt						
Barra	Nome	Tensão	Nº	Potência	Total	Disjuntor
1210	Gravataí	230	4	100	400	Sim
939	Blumenau	230	2	125	250	Não
959	Curitiba	500	1	100	100	Não
104	Cachoeira Paulista	500	2	100	200	Sim

Capacitores Shunt						
Barra	Nome	Tensão	Nº	Potência	Total	Disjuntor
122	Ibiúna	500	2	100	200	Sim
1504	Itajubá	138	2	100	200	Sim
123	Campinas	345	2	100	200	Sim
120	Poços de Caldas	345	2	100	200	Sim
234	Samambaia	345	1	150	150	Não
Total			18		1900	

Reatores Shunt						
Barra	Nome	Tensão	Nº	Potência	Total	Disjuntor
995	Itá	500	1	150	150	Sim
955	Campos Novos	500	1	100	100	Não
976	Gravataí	500	1	150	150	Não
964	Caxias	500	1	150	150	Sim
938	Blumenau	500	1	150	150	Não
959	Curitiba	500	1	150	150	Sim
839	Cascavel	230	2	15	30	Não
123	Campinas	345	2	50	100	Não
895	Bateias	500	1	150	150	Sim
122	Ibiúna	500	1	105	105	Sim
104	Cachoeira Paulista	500	1	136	136	Sim
102	P. de Caldas	500	2	50	100	Não
101	Araraquara	500	1	73	73	Não
325	Jaguara	500	1	91	91	Não
210	Itumbiara	500	1	91	91	Não
Total			18		126	

Compensador Síncrono								
Barra	Nome	Tensão	Nº	Absorção (Mvar)		Geração (Mvar)		Barra Controle
				Por Maq.	Total	Por Maq.	Total	
48	Ibiúna	13,8	4	270	1080	300	1200	48

Coluna	Descrição
Barra	Número de identificação da barra que o equipamento está conectado.
Nome	Nome de identificação da barra que o equipamento está conectado.
Tensão	Tensão nominal do equipamento, em kV.
Nº	Quantidade de equipamentos.
Potência	Potência nominal gerada por equipamento, em Mvar.
Total	Potência total gerada, em Mvar.
Disjuntor	Indica a existência ou não de disjuntor para chaveamento do equipamento, ou seja, se o equipamento é manobrável através de disjuntor.
Barra Controle	Ou "barra controlada", refere-se a barra que vai ter a tensão controlada pelo equipamento. Pode ser a barra terminal ou uma barra remota.

A-4.6. Dados de Máquinas

Geração de Potência Ativa (MW)				
Barra	Nome	Nº de Máquinas	Geração Máxima por Máquina	Geração Máxima Total
18	Itumbiara	6	380	2280
20	Marimbondo	8	186	1488
300	Emborcação	4	298	1192

Geração de Potência Ativa (MW)				
Barra	Nome	Nº de Máquinas	Geração Máxima por Máquina	Geração Máxima Total
301	Jaguara	4	100	400
302	Nova Ponte	3	170	510
303	São Simão	6	280	1680
500	Água Vermelha	6	232,7	1396,2
800	G.B.Munhoz	4	418,5	1674
808	Salto Caxias	4	310	1240
810	Salto Segredo	4	315	1260
904	Itá	5	290	1450
915	Machadinho	3	380	1140
919	Salto Osório	4	182	728
925	Salto Santiago	4	355	1420
	Total	65		17 858,2

Geração e Absorção de Reativos das Máquinas (Mvar)						
Barra	Nome	Nº de Máquinas	Absorção		Geração	
			Por Máquina	Total	Por Máquina	Total
18	Itumbiara	6	91	546	100	600
20	Marimbondo	8	80	640	80	640
48	Ibiúna	4	270	1080	300	1200
300	Emborcação	4	110	440	98	392
301	Jaguara	4	35	140	35	140
302	Nova Ponte	3	50	150	50	150
303	São Simão	6	100	600	100	600
500	Água Vermelha	6	90	540	90	540
800	G.B.Munhoz	4	200	800	200	800
808	Salto Caxias	4	150	600	150	600
810	Salto Segredo	4	100	400	133	532
904	Itá	5	95	475	95	475
915	Machadinho	3	172	516	155	465
919	Salto Osório	4	37	148	55	220
925	Salto Santiago	4	110	440	105	420
	Total	69		7 515		7 774

A-4.7. Modelo e Dados de Geradores

Nota: O modelo de gerador utilizado foi o MD02 do programa ANATEM [14] para pólos salientes que utiliza um enrolamento de campo e dois enrolamentos amortecedores, sendo um no eixo direto e outro no eixo em quadratura.

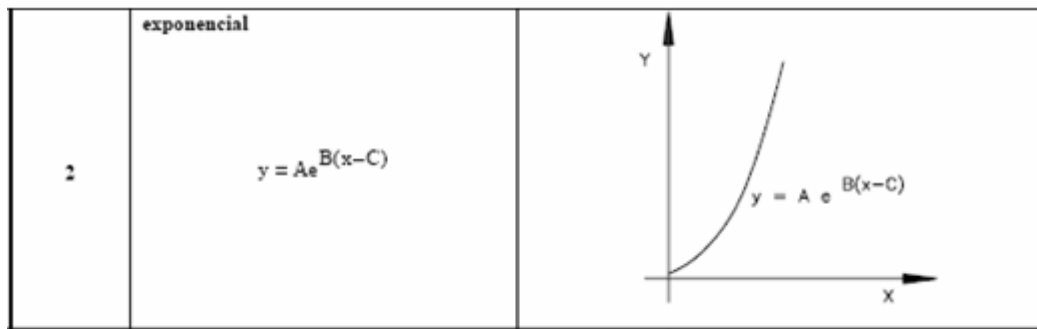
Bar	Nome	Nº	Xd	Xq	X'd	X''d	Xl	T'd	T''d	T''q	H	P	Ra	T
18	Itumbiara	6	73,0	52,0	26,0	20,0	19,0	8,30	0,06	0,03	4,310	365	0	H
20	Marimbondo	8	106,0	63,0	33,0	25,0	21,0	5,40	0,08	0,12	5,050	190	0	H
300	Emborcação	4	92,89	68,99	31,99	25,59	13,99	5,0	0,065	0,085	4,722	313,6	0	H
301	Jaguara	4	97,50	57,99	27,80	14,0	12,4	4,60	0,060	0,107	4,244	112	0	H
302	Nova Ponte	3	100,0	69,0	30,0	20,0	14,0	5,70	0,060	0,160	4,910	179	0	H
303	São Simão	6	94,81	64,50	24,99	18,96	14,01	7,0	0,066	0,140	6,228	283	0	H
500	A Vermelha	6	91,00	57,0	26,0	21,0	15,0	6,20	0,043	0,074	4,030	250	0	H
800	G.B.M	4	91,89	68,63	30,25	24,22	16,13	7,92	0,06	0,09	4,439	419	0	H
808	S.Caxias	4	87,85	56,61	24,51	19,86	10,35	7,59	0,07	0,17	4,071	333	0	H
810	S. Segredo	4	87,85	56,61	24,51	19,86	10,35	7,59	0,07	0,17	4,071	333	0	H

904	Itá	5	110,0	73,0	31,0	24,0	16,0	6,90	0,043	0,040	4,349	305	0,42	H
915	Machadinho	3	100,0	75,0	32,0	26,0	22,0	6,0	0,09	0,09	4,844	418,5	0	H
919	S.Osório	4	119,9	59,96	30,94	25,48	10,92	8,27	0,050	0,070	3,620	182	0	H
925	S.Santiago	4	91,79	62,25	31,65	23,21	18,86	10,0	0,040	0,130	3,873	369,8	0	H
48	Ibiúna	4	170,0	100,0	37,0	22,0	15,4	9,0	0,060	0,20	1,600	300,0	0	-

Coluna	Descrição
Bar	Número de identificação da barra onde está ligada a unidade geradora.
Nome	Número da unidade geradora.
Nº	Número de unidades geradoras da usina.
Xd	Reatância síncrona de eixo direto por máquina, em %.
Xq	Reatância síncrona de eixo em quadratura por máquina, em %.
X'd	Reatância transitória de eixo direto por máquina, em %.
X''d	Reatância subtransitória de eixo direto por máquina, em %.
Xl	Reatância de dispersão da armadura por máquina, em %.
T'd	Constante de tempo transitória de eixo direto em circuito aberto, em segundos.
T''d	Constante de tempo subtransitória de eixo direto em circuito aberto, em segundos.
T''q	Constante de tempo subtransitória de eixo em quadratura em circuito aberto, em segundos.
H	Constante de inércia, em segundos. Representa a relação entre a energia cinética armazenada no grupo turbina-gerador, à velocidade síncrona, e a potência aparente nominal da máquina.
P	Potência aparente nominal da unidade geradora, em MVA, usada como base para os parâmetros.
Ra	Resistência do enrolamento de armadura, em %.
T	Tipo de fonte de energia da usina: H= Hidráulica e T=Térmica

Curva de Saturação					
Núm	Máq	Tipo	Y1	Y2	X1
700	Gov. Bento Munhoz	2	0,0220	7,874	0,8
702	Salto Caxias	2	0,0147	7,098	0,8
702	Salto Segredo	2	0,0147	7,098	0,8
808	Itá	2	0,02707	7,05981	0,8
815	Machadinho	2	0,022924	8,392149	0,8
805	Salto Osório	2	0,0490	6,640	0,8
807	Salto Santiago	2	0,0460	6,300	0,8
109	Itumbiara	2	0,017	10,125	0,8
111	Marimbondo	2	0,016	8,068	0,8
300	Emborcação	2	0,020	7,50	0,8
302	Jaguara	2	0,05	5,91	0,8
303	Nova Ponte	2	0,0248	6,6089	0,8
304	São Simão	2	0,024	9,125	0,8
500	Água Vermelha	2	0,0188	7,864	0,8
138	Ibiúna	2	0,018	7,305	0,8

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação da curva de saturação da máquina usado no arquivo de dados.
Máq	Nome da unidade geradora.
Tipo	Indica o tipo de equação usada para curva de saturação. Tipo 2 corresponde a uma exponencial (ver figura abaixo).
Y1	Valor do parâmetro A, em pu.
Y2	Valor do parâmetro B, em pu.
X1	Valor do parâmetro C, em pu.



Equação e curva de saturação

A-4.8. Modelo de Controladores para Estudos Dinâmicos

Nota: Os dados dos respectivos controladores para uso nos programas ANATEM e PACDYN, são os constantes da *base de dados dinâmicos do ONS referente a maio de 2006*. No item A-5.9 do Adendo V são apresentados os diagramas de blocos e seus parâmetros.

Observações	
(i)	Os valores em por cento (%) corresponde ao valor em pu multiplicado por 100.
(ii)	Os parâmetros estão referenciados a potência base do sistema, igual a 100 MVA, e a tensão nominal.
(iii)	Todas as linhas de transmissão suportam uma sobrecarga de até 10% por um tempo máximo de 60 minutos. Este valor corresponde ao limite de curta duração que é determinado pela capacidade física do equipamento e de seus respectivos acessórios na condução de corrente.
(iv)	Todas as linhas de transmissão são do tipo aérea.
(v)	Os transformadores elevadores das usinas estão ligados em Delta no lado de baixa (usina) e Estrela aterrada no lado de alta tensão (linha).
(vi)	As reatâncias dos transformadores correspondem ao valor de XPS para representação em fluxo de potência.
(vii)	As variações de tensão nas barras provocadas por chaveamento de reatores ou capacitores não deverão exceder a 10% do limite superior.

* * *

ADENDO V**A-5. DADOS DO SISTEMA-TESTE DE 107 BARRAS – CA (STB-107CA)**

Seguem neste adendo dados, parâmetros elétricos e modelos dinâmicos do sistema-teste de 107 barras totalmente em corrente alternada, proposto nos itens 3.7 e 3.8 desta Dissertação.

A-5.1. Dados de Barra

Nº	Nome	Tipo	Tensão	FAIXA		ÁREA
				Max	Min	
12	Luiz Carlos Barreto	PV	13,8	1,050	0,950	1
16	Furnas	PV	13,8	1,050	0,950	1
18	Itumbiara	PV	13,8	1,050	0,950	1
20	Marimbondo	PV	13,8	1,050	0,950	1
21	Manso	PV	13,8	1,050	0,950	3
22	Mascarenhas de Moraes	PV	13,8	1,050	0,950	1
35	Corumbá	PV	13,8	1,050	0,950	1
48	Ibiúna	PV	13,8	1,050	0,950	1
86	Ibiúna	PQ	345	1,070	0,950	1
100	Marimbondo	PQ	500	1,100	0,950	1
101	Araraquara	PQ	500	1,100	0,950	1
102	Poços de Caldas	PQ	500	1,100	0,950	1
103	Campinas	PQ	500	1,100	0,950	1
104	Cachoeira Paulista	PQ	500	1,100	0,950	1
106	Adrianópolis	PQ	500	1,100	0,950	1
120	Poços de Caldas	PQ	345	1,070	0,950	1
122	Ibiúna	PQ	500	1,100	0,950	1
123	Campinas	PQ	345	1,070	0,950	1
126	Guarulhos	PQ	345	1,070	0,950	1
131	Mascarenhas de Moraes	PQ	345	1,070	0,950	1
134	Luiz Carlos Barreto	PQ	345	1,070	0,950	1
136	Furnas	PQ	345	1,070	0,950	1
138	Itutinga	PQ	345	1,070	0,950	1
140	Adrianópolis	PQ	345	1,070	0,950	1
210	Itumbiara	PQ	500	1,100	0,950	1
213	Marimbondo	PQ	345	1,070	0,950	1
216	Porto Colômbia	PQ	345	1,070	0,950	1
217	Itumbiara	PQ	345	1,070	0,950	1
218	Bandeirantes	PQ	345	1,070	0,950	1
219	Brasília Sul	PQ	345	1,070	0,950	1
220	Corumbá	PQ	345	1,070	0,950	1
225	Itumbiara	PQ	230	1,070	0,950	1
228	Brasília Sul	PQ	230	1,070	0,950	1
231	Rio Verde	PQ	230	1,070	0,950	1
233	Samambaia	PQ	500	1,100	0,950	1

Nº	Nome	Tipo	Tensão	FAIXA		ÁREA
				Max	Min	
234	Samambaia	PQ	345	1,070	0,950	1
300	Emborcação	PV	13,8	1,050	0,950	1
301	Jaguara	PV	13,8	1,050	0,950	1
302	Nova Ponte	PV	13,8	1,050	0,950	1
303	São Simão	PV	13,8	1,050	0,950	1
305	Volta Grande	PV	13,8	1,050	0,950	1
320	Emborcação	PQ	500	1,100	0,950	1
325	Jaguara	PQ	500	1,100	0,950	1
326	Jaguara	PQ	345	1,070	0,950	1
360	Nova Ponte	PQ	500	1,100	0,950	1
370	São Simão	PQ	500	1,100	0,950	1
396	Volta Grande	PQ	345	1,070	0,950	1
500	Água Vermelha	PV	13,8	1,050	0,950	1
535	Água Vermelha	PQ	500	1,100	0,950	1
536	Água Vermelha	PQ	440	1,070	0,950	1
800	Governador Bento Munhoz	V θ	13,8	1,050	0,950	2
808	Salto Caxias	PV	13,8	1,050	0,950	2
810	Salto Segredo	PV	13,8	1,050	0,950	2
814	Bateias	PQ	230	1,050	0,950	2
824	Governador Bento Munhoz	PQ	500	1,090	0,950	2
834	São Mateus	PQ	230	1,0500	0,9500	2
839	Cascavel	PQ	230	1,050	0,950	2
840	Cascavel	PQ	138	1,050	0,950	2
848	Foz do Chopin	PQ	138	1,050	0,950	2
856	Segredo	PQ	500	1,090	0,950	2
895	Bateias	PQ	500	1,090	0,950	2
896	Cascavel do Oeste	PQ	500	1,090	0,950	2
897	Salto Caxias	PQ	500	1,090	0,950	2
898	Foz do Chopin	PQ	230	1,050	0,950	2
904	Itá	PV	13,8	1,050	0,950	2
915	Machadinho	PV	13,8	1,050	0,950	2
919	Salto Osório	PV	13,8	1,050	0,950	2
925	Salto Santiago	PV	13,8	1,050	0,950	2
933	Areia	PQ	500	1,090	0,950	2
934	Areia	PQ	230	1,050	0,950	2
938	Blumenau	PQ	500	1,090	0,950	2
939	Blumenau	PQ	230	1,050	0,950	2
955	Campos Novos	PQ	500	1,090	0,950	2
959	Curitiba	PQ	500	1,090	0,950	2
960	Curitiba	PQ	230	1,050	0,950	2
964	Caxias	PQ	500	1,090	0,950	2
965	Caxias	PQ	230	1,050	0,950	2
976	Gravataí	PQ	500	1,090	0,950	2
995	Itá	PQ	500	1,090	0,950	2
1015	Joinville	PQ	230	1,050	0,950	2
1030	Machadinho	PQ	500	1,090	0,950	2
1047	Salto Osório	PQ	230	1,050	0,950	2
1060	Salto Santiago	PQ	500	1,090	0,950	2
1210	Gravataí	PQ	230	1,050	0,950	2
1503	Itajubá	PQ	500	1,100	0,950	1
1504	Itajubá	PQ	138	1,050	0,950	1
2458	Cascavel	PQ	230	1,050	0,950	2
4501	Barra do Peixe	PQ	230	1,070	0,950	3
4521	Itiquira	PQ	230	1,070	0,950	3
4522	Rondonópolis	PQ	230	1,070	0,950	3

N°	Nome	Tipo	Tensão	FAIXA		ÁREA
				Max	Min	
4523	Itiquira	PV	13,8	1,050	0,950	3
4530	Coxipó	PV	12	1,050	0,950	3
4532	Coxipó	PQ	230	1,070	0,950	3
4533	Coxipó	PQ	138	1,050	0,950	3
4542	Nobres	PQ	230	1,070	0,950	3
4552	Nova Mutun	PQ	230	1,070	0,950	3
4562	Sorriso	PQ	230	1,070	0,950	3
4572	Lucas do Rio Verde	PQ	230	1,070	0,950	3
4582	Sinop	PQ	230	1,070	0,950	3
4592	Manso	PQ	230	1,070	0,950	3
4596	Cuiabá	PV	13,8	1,050	0,950	3
4623	Rondonópolis	PQ	138	1,050	0,950	3
4703	Cuiabá	PQ	138	1,050	0,950	3
4804	Guaporé	PV	13,8	1,050	0,950	3
4805	Guaporé	PQ	138	1,050	0,950	3
4807	Jauru	PQ	138	1,050	0,950	3
4862	Jauru	PQ	230	1,070	0,950	3

Coluna	Descrição
N°	Número de identificação da barra.
Nome	Nome de identificação da barra.
Tipo	Corresponde ao tipo de barra a ser representado nos dados de fluxo de potência, onde: Tipo V0 = Barra de referência ou swing Tipo PV = Barra de tensão regulada ou de geração Tipo PQ = Barra de carga
Tensão	Corresponde a tensão nominal de operação da barra, em kV.
Faixa	Faixa de tensão correspondente aos níveis máximos e mínimos de tensão que a barra pode operar em regime permanente, em pu.
Área	Número de identificação da área elétrica ou subsistema ao qual a barra pertence.

A-5.2. Dados de Linha

Seqüência Positiva e Negativa										Seqüência Zero	
De	Para	Nome	V	Circ	R ₊	X ₊	B	CN	CE	R ₀	X ₀
100	101	Marimbondo-Araraquara	500	1	0,172	2,720	231,40	1665	2460	1,45	11,62
100	101	Marimbondo-Araraquara	500	2	0,171	2,700	230,20	1665	2460	1,43	11,57
100	210	Marimbondo-Itumbiara	500	1	0,209	2,935	254,60	1732	1732	3,14	12,15
100	535	Marimbondo-A.Vermelha	500	1	0,153	2,400	203,80	1665	1665	1,30	10,32
101	102	Araraquara-P.Caldas	500	1	0,156	2,460	208,50	1665	1665	1,32	10,55
101	103	Araraquara-Campinas	500	1	0,152	2,390	202,60	1665	1665	1,29	10,27
102	1503	Poços de Caldas-Itajubá	500	1	0,110	1,910	161,85	1665	1665	1,10	8,60
103	104	Campinas-C.Paulista	500	1	0,196	3,100	264,90	1665	1665	1,63	13,16
104	1503	Cachoeira Paulista-Itajubá	500	1	0,050	0,820	69,36	1665	1665	0,44	3,44
103	122	Campinas-Ibiúna	500	1	0,105	1,619	136,35	1665	1665	1,63	6,40
210	370	Itumbiara-São Simão	500	1	0,147	2,320	196,60	1665	1665	1,26	10,0
210	233	Itumbiara-Samambaia	500	1	0,280	3,990	355,36	2598	2598	5,29	19,45
233	320	Samambaia-Emborcação	500	1	0,270	3,870	344,03	2598	2598	5,10	18,76
210	320	Itumbiara-Emborcação	500	1	0,125	1,937	149,96	1948	1948	1,86	7,03
320	360	Emborcação-N.Ponte	500	1	0,082	1,256	98,99	2078	2078	1,22	4,57
325	360	Jaguara-Nova Ponte	500	1	0,100	1,519	119,67	2251	2251	1,48	5,55
325	370	Jaguara-São Simão	500	1	0,280	4,840	419,50	2205	2205	4,16	16,64
370	535	S.Simão-Água Vermelha	500	1	0,0931	1,3758	112,30	2205	2205	1,36	5,04
824	933	Gov.Bento Munhoz-Areia	500	1	0,010	0,124	15,204	2182	2182	0,04	0,29

Seqüência Positiva e Negativa										Seqüência Zero	
De	Para	Nome	V	Circ	R ₊	X ₊	B	CN	CE	R ₀	X ₀
824	933	Gov.Bento Munhoz-Areia	500	2	0,010	0,126	15,428	2182	2182	0,04	0,29
834	934	São Mateus-Areia	230	1	2,444	12,652	21,71	359	359	10,78	28,11
839	898	Cascavel-F.Chopin	230	1	1,130	6,990	12,617	189	318	4,88	19,51
839	1047	Cascavel-S.Osório	230	1	1,220	7,690	13,810	189	323	5,44	21,20
839	2458	Cascavel-Cascavel Oeste	230	1	0,220	1,090	1,8601	319	413	0,77	2,95
839	2458	Cascavel-Cascavel Oeste	230	2	0,170	1,030	2,0537	356	356	0,65	3,26
856	933	Segredo-Areia	500	1	0,052	0,654	80,493	2273	2273	0,29	1,68
856	1060	Segredo-S.Santiago	500	1	0,056	0,697	85,746	2182	2182	0,31	1,79
122	895	Ibiúna-Bateias	500	1	0,308	3,958	444,84	1299	2252	3,81	17,27
122	895	Ibiúna-Bateias	500	2	0,308	3,958	444,84	1299	2252	3,81	17,27
896	897	Cascavel Oeste-S.Caxias	500	1	0,050	0,730	78,060	1637	1637	0,50	1,90
898	1047	F.Chopin-S.Osório	230	1	0,150	0,890	1,6317	324	324	0,62	2,51
933	895	Areia-Bateias	500	1	0,200	2,550	312,72	2110	2110	2,77	10,53
933	955	Areia-Campos Novos	500	1	0,162	2,048	250,17	2110	2110	2,22	8,44
933	959	Areia-Curitiba	500	1	0,200	2,690	336,40	2182	2182	2,72	10,86
934	1047	Areia-Salto Osório	230	1	3,045	15,738	27,123	319	319	15,21	44,43
934	1047	Areia-Salto Osório	230	2	3,041	15,718	27,089	319	319	15,20	44,40
938	955	Blumenau-C.Novos	500	1	0,2556	2,9224	360,40	2037	2037	3,17	12,06
938	959	Blumenau-Curitiba	500	1	0,1270	1,603	195,89	1266	1266	1,73	6,60
955	964	Campos Novos-Caxias	500	1	0,1877	2,3467	287,24	1688	1688	2,42	8,76
959	895	Curitiba-Bateias	500	1	0,050	0,440	47,580	2110	2110	0,47	1,80
964	976	Caxias-Gravataí	500	1	0,0733	0,9164	112,17	1688	1688	0,98	3,55
976	995	Gravataí-Itá	500	1	0,282	3,852	493,70	1688	1688	3,62	15,18
995	964	Itá-Caxias	500	1	0,1643	3,0339	354,88	2182	2182	3,04	11,54
995	1030	Itá-Machadinho	500	1	0,073	0,920	112,26	2182	2182	0,83	3,22
995	1060	Itá-Salto Santiago	500	1	0,172	2,170	265,16	2110	2110	2,35	8,94
1030	955	Machadinho-C.Novos	500	1	0,047	0,590	71,818	2182	2182	0,48	1,86
1060	897	S.Santiago-S.Caxias	500	1	0,076	1,171	124,58	2370	2681	0,80	3,04
939	1015	Blumenau-Joinville	230	1	1,271	6,562	11,305	306	319	4,60	14,30
939	1015	Blumenau-Joinville	230	2	1,283	6,564	11,522	306	319	5,11	14,90
1015	960	Joinville-Curitiba	230	1	1,892	9,776	16,845	319	319	8,71	25,20
1015	960	Joinville-Curitiba	230	2	1,895	9,704	17,029	319	319	9,12	23,55
960	834	Curitiba-São Mateus	230	1	2,211	1,475	19,687	319	319	7,75	36,02
126	86	Guarulhos-Ibiúna	345	1	0,109	1,826	51,180	1532	1532	2,15	9,17
126	86	Guarulhos-Ibiúna	345	2	0,109	1,826	51,180	1532	1532	2,15	9,17
126	120	Guarulhos-P.Caldas	345	1	0,600	5,950	92,80	598	598	6,77	21,80
126	120	Guarulhos-P.Caldas	345	2	0,606	6,020	93,80	598	598	6,77	21,79
134	131	L.C.Barreto-M.Moraes	345	1	0,092	1,010	16,90	717	717	0,56	4,38
134	396	L.C.Barreto-V.Grande	345	1	0,320	3,509	59,240	699	827	3,61	14,01
136	120	Furnas-Poços de Caldas	345	1	0,436	4,300	66,60	598	598	4,97	14,82
136	120	Furnas-Poços de Caldas	345	2	0,436	4,300	66,60	598	598	4,97	14,82
136	131	Furnas-M.Moraes	345	1	0,348	3,420	52,80	717	717	4,26	11,05
136	134	Furnas-L.C.Barreto	345	1	0,375	4,130	69,90	598	598	2,27	17,88
136	138	Furnas-Itutinga	345	1	0,649	6,460	100,80	728	896	7,12	22,17
136	138	Furnas-Itutinga	345	2	0,558	6,190	105,70	766	896	3,28	26,38
140	138	Adrianópolis-Itutinga	345	1	0,652	6,500	101,40	728	896	7,15	22,28
140	138	Adrianópolis-Itutinga	345	2	0,558	6,190	105,70	766	896	3,68	26,38
213	216	Marimbondo-P.Colômbia	345	1	0,219	2,420	40,70	598	598	1,37	10,66
216	396	P.Colômbia-V. Grande	345	1	0,129	1,414	23,770	699	827	0,78	6,03
217	216	Itumbiara-P.Colômbia	345	1	0,565	6,248	106,730	717	717	3,34	26,76
217	218	Itumbiara-Bandeirantes	345	1	0,507	5,610	95,60	766	766	3,00	23,99
217	218	Itumbiara-Bandeirantes	345	2	0,507	5,610	95,60	766	766	2,97	23,75
218	234	Bandeirantes-Samambaia	345	1	0,430	4,799	82,20	639	639	2,30	18,27
218	234	Bandeirantes-Samambaia	345	2	0,430	4,799	82,20	639	639	2,30	18,27
219	234	Brasília Sul-Samambaia	345	1	0,035	0,433	7,340	639	639	0,28	2,19
219	234	Brasília Sul-Samambaia	345	1	0,035	0,433	7,340	639	639	0,51	1,41

Seqüência Positiva e Negativa										Seqüência Zero	
De	Para	Nome	V	Circ	R ₊	X ₊	B	CN	CE	R ₀	X ₀
220	217	Corumbá-Itumbiara	345	1	0,226	2,396	43,235	766	766	2,40	7,77
220	219	Corumbá-Brasília Sul	345	1	0,726	7,704	138,010	766	766	7,70	30,73
225	231	Itumbiara-Rio Verde	230	1	4,100	19,760	36,080	197	197	21,22	57,31
225	231	Itumbiara-Rio Verde	230	2	1,270	13,620	49,470	197	197	14,36	56,47
231	4501	Rio Verde-Barra do Peixe	230	1	4,510	21,690	40,250	197	197	19,41	61,30
231	4501	Rio Verde-Barra do Peixe	230	2	1,490	16,090	55,400	197	197	19,87	61,19
326	134	Jaguara-L.C.Barreto	345	1	0,070	0,760	12,287	860	932	0,68	2,53
326	396	Jaguara-V.Grande	345	1	0,240	2,740	45,470	623	699	2,39	8,96
106	104	Adrianópolis-C.Paulista	500	1	0,152	2,390	202,70	1665	1665	2,11	7,17
106	104	Adrianópolis-C.Paulista	500	2	0,152	2,390	203,10	1665	1665	2,07	7,61
123	120	Campinas-P.Caldas	345	1	0,359	3,945	66,680	598	598	1,53	11,97
4501	4522	B.do Peixe-Rondonópolis	230	1	3,760	20,680	35,660	287	287	17,89	65,45
4501	4522	B.do.Peixe-Rondonópolis	230	2	1,640	12,460	61,500	239	239	16,41	68,81
4522	4521	Rondonópolis-Itiquira	230	1	1,530	7,600	14,250	200	200	6,31	19,59
4522	4532	Rondonópolis-Coxipó	230	1	3,250	17,920	32,750	287	287	6,06	21,72
4522	4532	Rondonópolis-Coxipó	230	2	3,250	17,920	32,750	287	287	6,06	21,72
4532	4542	Coxipó-Nobres	230	1	1,620	9,680	19,150	150	150	9,04	33,55
4542	4552	Nobres-N.Mutum	230	1	1,830	10,930	18,600	150	150	16,20	60,23
4552	4572	N.Mutum-Lucas R.Verde	230	1	1,400	8,380	17,00	150	150	7,82	29,04
4562	4572	Sorriso-Lucas R.Verde	230	1	0,940	5,590	10,644	150	150	5,22	19,36
4562	4582	Sorriso-Sinop	230	1	1,240	7,380	13,280	150	150	6,89	25,56
4592	4542	Manso-Nobres	230	1	1,000	6,170	12,600	239	239	5,63	20,97
4623	4533	Rondonópolis-Coxipó	138	1	17,060	45,500	11,390	100	100	47,82	174,56
4703	4533	Cuiabá-Coxipó	138	1	0,900	2,310	0,580	100	100	2,50	8,38
4703	4533	Cuiabá-Coxipó	138	2	0,900	2,310	0,580	100	100	2,50	8,38
4805	4807	Guaporé-Jauru	138	1	3,089	8,134	2,085	86	86	7,16	29,84
4805	4807	Guaporé-Jauru	138	2	3,089	8,134	2,085	86	86	7,16	29,84
4862	4532	Jauru-Coxipó	230	1	2,570	23,680	97,420	556	697	17,15	102,02
4862	4532	Jauru-Coxipó	230	2	2,570	23,680	97,420	556	697	17,15	102,02

Impedância Mútua entre Linhas									
Linha 1				Linha 2				R _M	X _M
De	Para	Nº	Tensão	De	Para	Nº	Tensão		
934	1047	1	230	934	1047	2	230	11,82	20,94
824	933	1	500	824	933	2	500	0,04	0,08
839	2458	1	230	839	2458	2	230	3,43	5,81
939	1015	1	230	939	1015	2	230	3,32	4,86
960	1015	1	230	960	1015	2	230	6,73	9,74
122	895	1	500	122	895	2	230	1,90	13,55
100	101	1	500	100	101	2	500	1,26	6,82
86	126	1	345	86	126	2	345	2,05	6,72
120	126	1	345	120	126	2	345	5,94	11,21
120	136	1	345	120	136	2	345	4,47	8,66
136	138	1	345	136	138	2	345	6,17	11,33
138	140	1	345	138	140	2	345	6,19	11,37
104	106	1	500	104	106	2	500	0,78	1,57
217	218	1	345	217	218	2	345	2,57	13,72
218	234	1	345	218	234	2	345	2,01	10,67
219	234	1	345	219	234	2	345	0,19	0,23
225	231	1	230	225	231	2	230	12,0	15,52
231	4501	1	230	231	4501	2	230	17,47	32,28
4501	4522	1	230	4501	4522	2	230	14,57	26,92
4522	4532	1	230	4522	4532	2	230	4,69	9,85
4532	4862	1	230	4532	4862	2	230	14,57	72,11

Impedância Mútua entre Linhas									
Linha 1				Linha 2				R_M	X_M
De	Para	Nº	Tensão	De	Para	Nº	Tensão		
4805	4807	1	138	4805	4807	2	138	3,96	21,12
4533	4703	1	138	4533	4703	2	138	1,41	6,65

Coluna	Descrição
De	Número de identificação da barra de origem.
Para	Número de identificação da barra de destino.
Nome	Nome de identificação do circuito.
Tensão	Tensão nominal de operação do circuito, em kV.
Circ	Número de identificação do circuito.
R_+	Resistência equivalente de seqüência positiva do circuito, em %.
X_+	Reatância equivalente de seqüência positiva do circuito, em %.
B	Susceptância shunt total do circuito, em Mvar.
Normal	Capacidade de carregamento do circuito em condições normais de operação, em MVA.
Emerg	Capacidade de carregamento do circuito em condições de emergência, em MVA.
R_0	Resistência equivalente de seqüência zero do circuito, em %.
X_0	Reatância equivalente de seqüência zero do circuito, em %.
Linha 1	Primeira linha de transmissão ou circuito um no caso de circuitos paralelos.
Linha 2	Segunda linha de transmissão ou circuito dois no caso de circuitos paralelos.
R_M	Parte resistiva da impedância mútua (seqüência zero do circuito), em %.
X_M	Parte reativa da impedância mútua (seqüência zero do circuito), em %.

A-5.3. Dados de Transformadores

Seqüência Positiva e Negativa													
De	Para	Nome	Nº	RT	Pot	R_+	X_+	Tap min	Tap max	Pos	Tp	Cn	Ce
895	814	Bateias	1	500/230	600	0,032	1,146	0,90	1,10	19	V	600	600
895	814	Bateias	2	500/230	600	0,030	1,1651	0,90	1,10	19	V	600	600
800	824	G.B.Munhoz	1	16/500	465	0,000	3,360	0,95	1,05	5	F	465	465
800	824	G.B.Munhoz	2	16/500	465	0,000	3,360	0,95	1,05	5	F	465	465
800	824	G.B.Munhoz	3	16/500	465	0,000	3,360	0,95	1,05	5	F	465	465
800	824	G.B.Munhoz	4	16/500	465	0,000	3,360	0,95	1,05	5	F	465	465
839	840	Cascavel	1	230/138	150	0,000	6,640	0,881	1,136	16	V	150	150
839	840	Cascavel	2	230/138	150	0,000	6,290	0,881	1,136	16	V	150	150
810	856	Salto Segredo	1	13,8/500	333	0,000	4,200	0,95	1,05	5	F	333	333
810	856	Salto Segredo	2	13,8/500	333	0,000	4,200	0,95	1,05	5	F	333	333
810	856	Salto Segredo	3	13,8/500	333	0,000	4,200	0,95	1,05	5	F	333	333
810	856	Salto Segredo	4	13,8/500	333	0,000	4,200	0,95	1,05	5	F	333	333
897	808	Salto Caxias	1	13,8/500	345	0,000	4,080	0,95	1,05	5	F	345	345
897	808	Salto Caxias	2	13,8/500	345	0,000	4,080	0,95	1,05	5	F	345	345
897	808	Salto Caxias	3	13,8/500	345	0,000	4,080	0,95	1,05	5	F	345	345
897	808	Salto Caxias	4	13,8/500	345	0,000	4,080	0,95	1,05	5	F	345	345
898	848	Foz do Chopin	1	230/138	150	0,000	6,360	0,881	1,136	16	V	150	150
933	934	Areia	1	500/230	672	0,031	1,207	0,90	1,10	19	V	672	806
938	939	Blumenau	1	500/230	672	0,031	1,150	0,90	1,10	19	V	672	806
938	939	Blumenau	2	500/230	672	0,032	1,163	0,90	1,10	19	V	672	806
938	939	Blumenau	3	500/230	672	0,000	1,277	0,90	1,10	19	V	672	672
959	960	Curitiba	1	500/230	672	0,032	1,163	0,90	1,10	19	V	672	806
959	960	Curitiba	2	500/230	672	0,031	1,166	0,90	1,10	19	V	672	806
964	965	Caxias	1	500/230	672	0,020	1,211	0,90	1,10	19	V	672	806
964	965	Caxias	2	500/230	672	0,020	1,233	0,90	1,10	19	V	672	806
904	995	Itá	1	16/500	305	0,050	4,615	0,95	1,05	5	F	305	305

Seqüência Positiva e Negativa													
De	Para	Nome	Nº	RT	Pot	R ₊	X ₊	Tap min	Tap max	Pos	Tp	Cn	Ce
904	995	Itá	2	16/500	305	0,050	4,615	0,95	1,05	5	F	305	305
904	995	Itá	3	16/500	305	0,050	4,615	0,95	1,05	5	F	305	305
904	995	Itá	4	16/500	305	0,050	4,615	0,95	1,05	5	F	305	305
904	995	Itá	5	16/500	305	0,050	4,615	0,95	1,05	5	F	305	305
915	1030	Machadinho	1	16/500	420	0,000	4,131	0,95	1,05	5	F	420	420
915	1030	Machadinho	2	16/500	420	0,000	4,131	0,95	1,05	5	F	420	420
915	1030	Machadinho	3	16/500	420	0,000	4,131	0,95	1,05	5	F	420	420
919	1047	Salto Osório	1	13,8/230	196	0,080	6,809	0,95	1,05	5	F	196	196
919	1047	Salto Osório	2	13,8/230	196	0,080	6,809	0,95	1,05	5	F	196	196
919	1047	Salto Osório	3	13,8/230	196	0,080	6,809	0,95	1,05	5	F	196	196
919	1047	Salto Osório	4	13,8/230	196	0,080	6,809	0,95	1,05	5	F	196	196
925	1060	S.Santiago	1	19/500	415	0,040	4,545	0,95	1,05	5	F	415	415
925	1060	S.Santiago	2	19/500	415	0,040	4,545	0,95	1,05	5	F	415	415
925	1060	S.Santiago	3	19/500	415	0,040	4,545	0,95	1,05	5	F	415	415
925	1060	S.Santiago	4	19/500	415	0,040	4,545	0,95	1,05	5	F	415	415
976	1210	Gravataí	1	500/230	672	0,030	1,219	0,90	1,10	19	V	672	806
976	1210	Gravataí	2	500/230	672	0,039	1,138	0,90	1,10	19	V	672	806
976	1210	Gravataí	3	500/230	672	0,036	1,217	0,90	1,10	19	V	672	806
896	2458	Cascavel Oeste	1	500/230	600	0,000	1,270	0,90	1,10	19	V	600	600
103	123	Campinas	1	500/345	560	0,000	2,419	0,95	1,11	17	F	560	560
102	120	P. de Caldas	1	500/345	560	0,000	2,403	0,95	1,11	17	F	560	560
1503	1504	Itajubá	1	500/138	300	0,000	5,200	0,95	1,10	13	V	300	300
100	213	Marimbondo	1	500/345	560	0,000	2,357	0,95	1,11	17	F	560	560
325	326	Jaguara	1	500/345	400	0,000	2,160	0,95	1,11	17	F	400	483
325	326	Jaguara	2	500/345	400	0,000	2,160	0,95	1,11	17	F	400	483
210	217	Itumbiara	1	500/345	560	0,000	1,720	0,95	1,11	17	F	560	560
210	217	Itumbiara	2	500/345	560	0,000	1,720	0,95	1,11	17	F	560	560
233	234	Samambaia	1	500/345	1050	0,000	1,113	0,95	1,11	17	F	1050	1050
233	234	Samambaia	2	500/345	1050	0,000	1,000	0,95	1,11	17	F	1050	1050
20	100	Marimbondo	1	13,8/500	190	0,000	6,320	1,00	1,10	5	F	190	190
20	100	Marimbondo	2	13,8/500	190	0,000	6,320	1,00	1,10	5	F	190	190
20	100	Marimbondo	3	13,8/500	190	0,000	6,320	1,00	1,10	5	F	190	190
20	100	Marimbondo	4	13,8/500	190	0,000	6,320	1,00	1,10	5	F	190	190
20	100	Marimbondo	5	13,8/500	190	0,000	6,320	1,00	1,10	5	F	190	190
20	100	Marimbondo	6	13,8/500	190	0,000	6,320	1,00	1,10	5	F	190	190
20	100	Marimbondo	7	13,8/500	190	0,000	6,320	1,00	1,10	5	F	190	190
20	100	Marimbondo	8	13,8/500	190	0,000	6,320	1,00	1,10	5	F	190	190
18	210	Itumbiara	1	13,8/500	400	0,000	4,000	1,00	1,10	5	F	400	400
18	210	Itumbiara	2	13,8/500	400	0,000	4,000	1,00	1,10	5	F	400	400
18	210	Itumbiara	3	13,8/500	400	0,000	4,000	1,00	1,10	5	F	400	400
18	210	Itumbiara	4	13,8/500	400	0,000	4,000	1,00	1,10	5	F	400	400
18	210	Itumbiara	5	13,8/500	400	0,000	4,000	1,00	1,10	5	F	400	400
18	210	Itumbiara	6	13,8/500	400	0,000	4,000	1,00	1,10	5	F	400	400
48	86	Ibiúna	1	13,8/500	350	0,000	2,859	0,90	1,10	19	F	350	350
48	86	Ibiúna	2	13,8/500	350	0,000	2,859	0,90	1,10	19	F	350	350
48	86	Ibiúna	3	13,8/500	350	0,000	2,859	0,90	1,10	19	F	350	350
48	86	Ibiúna	4	13,8/500	350	0,000	2,859	0,90	1,10	19	F	350	350
300	320	Emborcação	1	13,8/500	300	0,000	4,070	0,95	1,05	5	F	300	300
300	320	Emborcação	2	13,8/500	300	0,000	4,070	0,95	1,05	5	F	300	300
300	320	Emborcação	3	13,8/500	300	0,000	4,070	0,95	1,05	5	F	300	300
300	320	Emborcação	4	13,8/500	300	0,000	4,070	0,95	1,05	5	F	300	300
301	325	Jaguara	1	13,8/500	120	0,000	10,53	0,95	1,05	5	F	125	125
301	325	Jaguara	2	13,8/500	120	0,000	10,53	0,95	1,05	5	F	125	125
301	325	Jaguara	3	13,8/500	120	0,000	10,53	0,95	1,05	5	F	125	125
301	325	Jaguara	4	13,8/500	120	0,000	10,53	0,95	1,05	5	F	125	125

Seqüência Positiva e Negativa													
De	Para	Nome	Nº	RT	Pot	R ₊	X ₊	Tap min	Tap max	Pos	Tp	Cn	Ce
302	360	Nova Ponte	1	13,8/500	179	0,000	5,810	0,95	1,05	5	F	179	179
302	360	Nova Ponte	2	13,8/500	179	0,000	5,810	0,95	1,05	5	F	179	179
302	360	Nova Ponte	3	13,8/500	179	0,000	5,810	0,95	1,05	5	F	179	179
303	370	São Simão	1	13,8/500	290	0,000	4,230	0,95	1,05	5	F	290	290
303	370	São Simão	2	13,8/500	290	0,000	4,230	0,95	1,05	5	F	290	290
303	370	São Simão	3	13,8/500	290	0,000	4,230	0,95	1,05	5	F	290	290
303	370	São Simão	4	13,8/500	290	0,000	4,230	0,95	1,05	5	F	290	290
303	370	São Simão	5	13,8/500	290	0,000	4,230	0,95	1,05	5	F	290	290
303	370	São Simão	6	13,8/500	290	0,000	4,230	0,95	1,05	5	F	290	290
500	535	A. Vermelha	1	13,8/500	250	0,000	4,100	0,95	1,05	5	F	250	250
500	535	A. Vermelha	2	13,8/500	250	0,000	4,100	0,95	1,05	5	F	250	250
500	535	A. Vermelha	3	13,8/500	250	0,000	4,100	0,95	1,05	5	F	250	250
500	535	A. Vermelha	4	13,8/500	250	0,000	4,100	0,95	1,05	5	F	250	250
500	535	A. Vermelha	5	13,8/500	250	0,000	4,100	0,95	1,05	5	F	250	250
500	535	A. Vermelha	6	13,8/500	250	0,000	4,100	0,95	1,05	5	F	250	250
535	536	A. Vermelha	1	500/440	700	0,000	1,533	0,95	1,10	13	F	700	858
535	536	A. Vermelha	2	500/440	750	0,000	1,420	0,95	1,10	13	F	750	900
122	86	Ibiúna	1	500/345	750	0,000	1,913	0,95	1,11	17	F	750	803
122	86	Ibiúna	2	500/345	750	0,000	1,913	0,95	1,11	17	F	750	803
106	140	Adrianópolis	1	500/345	560	0,000	2,923	0,95	1,11	17	F	560	560
106	140	Adrianópolis	2	500/345	560	0,000	2,668	0,95	1,11	17	F	560	560
217	225	Itumbiara	1	345/230	225	0,000	2,721	0,95	1,11	17	V	225	225
217	225	Itumbiara	2	345/230	225	0,000	2,938	0,95	1,11	17	V	225	225
219	228	Brasília Sul	1	345/230	225	0,000	3,595	0,950	1,050	5	F	225	225
16	136	Furnas	1	15/345	160	0,000	7,680	0,999	1,046	3	F	160	160
16	136	Furnas	2	15/345	160	0,000	7,680	0,999	1,046	3	F	160	160
16	136	Furnas	3	15/345	160	0,000	7,680	0,999	1,046	3	F	160	160
16	136	Furnas	4	15/345	160	0,000	7,680	0,999	1,046	3	F	160	160
16	136	Furnas	5	15/345	160	0,000	7,680	0,999	1,046	3	F	160	160
16	136	Furnas	6	15/345	160	0,000	7,680	0,999	1,046	3	F	160	160
16	136	Furnas	7	15/345	160	0,000	7,680	0,999	1,046	3	F	160	160
16	136	Furnas	8	15/345	160	0,000	7,680	0,999	1,046	3	F	160	160
22	131	M. Moraes	1	13,8/345	63	0,000	26,50	0,972	1,083	5	F	63	63
22	131	M. Moraes	2	13,8/345	63	0,000	26,50	0,972	1,083	5	F	63	63
22	131	M. Moraes	3	13,8/345	63	0,000	26,50	0,972	1,083	5	F	63	63
22	131	M. Moraes	4	13,8/345	63	0,000	26,50	0,972	1,083	5	F	63	63
22	131	M. Moraes	5	13,8/345	63	0,000	26,50	0,972	1,083	5	F	63	63
22	131	M. Moraes	6	13,8/345	63	0,000	26,50	0,972	1,083	5	F	63	63
12	134	L.C.Barreto	1	13,8/345	184	0,000	5,340	0,999	1,046	3	F	184	184
12	134	L.C.Barreto	2	13,8/345	184	0,000	5,340	0,999	1,046	3	F	184	184
12	134	L.C.Barreto	3	13,8/345	184	0,000	5,340	0,999	1,046	3	F	184	184
12	134	L.C.Barreto	4	13,8/345	184	0,000	5,340	0,999	1,046	3	F	184	184
12	134	L.C.Barreto	5	13,8/345	184	0,000	5,340	0,999	1,046	3	F	184	184
12	134	L.C.Barreto	6	13,8/345	184	0,000	5,340	0,999	1,046	3	F	184	184
35	220	Corumbá	1	13,8/345	139	0,000	8,993	0,95	1,05	5	F	139	139
35	220	Corumbá	2	13,8/345	139	0,000	8,993	0,95	1,05	5	F	139	139
35	220	Corumbá	3	13,8/345	139	0,000	8,993	0,95	1,05	5	F	139	139
305	396	V.Grande	1	13,8/345	115	0,000	8,800	0,95	1,05	5	F	115	115
305	396	V.Grande	2	13,8/345	115	0,000	8,800	0,95	1,05	5	F	115	115
305	396	V.Grande	3	13,8/345	115	0,000	8,800	0,95	1,05	5	F	115	115
305	396	V.Grande	4	13,8/345	115	0,000	8,800	0,95	1,05	5	F	115	115
4522	4623	Rondonópolis	1	230/138	100	0,000	7,950	0,90	1,10	17	F	100	100
4522	4623	Rondonópolis	2	230/138	100	0,000	7,950	0,90	1,10	17	F	100	100
4532	4533	Coxipó	1	230/138	100	0,000	8,600	0,90	1,10	17	F	100	100
4532	4533	Coxipó	2	230/138	100	0,000	8,600	0,90	1,10	17	F	100	100

Seqüência Positiva e Negativa													
De	Para	Nome	Nº	RT	Pot	R ₊	X ₊	Tap min	Tap max	Pos	Tp	Cn	Ce
4532	4533	Coxipó	3	230/138	100	0,000	8,600	0,90	1,10	17	F	100	100
4862	4807	Jauru	1	230/138	300	0,000	4,050	0,90	1,10	17	F	300	300
21	4592	Manso	1	13,8/230	65	0,000	19,20	0,950	1,050	5	F	65	65
21	4592	Manso	2	13,8/230	65	0,000	19,20	0,950	1,050	5	F	65	65
21	4592	Manso	3	13,8/230	65	0,000	19,20	0,950	1,050	5	F	65	65
21	4592	Manso	4	13,8/230	65	0,000	19,20	0,950	1,050	5	F	65	65
4523	4521	Itiquira	1	13,8/230	40	0,000	41,42	0,950	1,050	5	F	40	40
4523	4521	Itiquira	2	13,8/230	40	0,000	41,42	0,950	1,050	5	F	40	40
4804	4805	Guaporé	1	13,8/230	48	0,000	26,667	0,950	1,050	5	F	48	48
4804	4805	Guaporé	2	13,8/230	48	0,000	26,667	0,950	1,050	5	F	48	48
4804	4805	Guaporé	3	13,8/230	48	0,000	26,667	0,950	1,050	5	F	48	48
4596	4533	Cuiabá	1	13,8/138	180	0,000	7,527	0,950	1,050	5	F	180	180
4596	4533	Cuiabá	2	13,8/138	180	0,000	7,527	0,950	1,050	5	F	180	180
4530	4532	Coxipó	1	13,8/230	100	0,000	14,30	0,950	1,050	5	F	100	100

Tabela das derivações de tapes dos transformadores											
3 Posições		13 Posições		16 Posições		17 Posições		17 Posições		19 Posições	
Posição	Tape	Posição	Tape	Posição	Tape	Posição	Tape	Posição	Tape	Posição	Tape
1	1,046	1	1,100	1	1,136	1	0,950	1	1,100	1	1,1000
2	1,022	2	1,088	2	1,119	2	0,960	2	1,088	2	1,0889
3	0,999	3	1,075	3	1,102	3	0,970	3	1,075	3	1,0778
		4	1,063	4	1,085	4	0,980	4	1,063	4	1,0667
5 Posições		5	1,050	5	1,068	5	0,990	5	1,050	5	1,0555
		6	1,038	6	1,051	6	1,000	6	1,038	6	1,0444
1	1,050	7	1,025	7	1,034	7	1,010	7	1,025	7	1,0333
2	1,025	8	1,013	8	1,017	8	1,020	8	1,013	8	1,0222
3	1,000	9	1,000	9	1,000	9	1,030	9	1,000	9	1,0111
4	0,975	10	0,988	10	0,983	10	1,040	10	0,988	10	1,0000
5	0,950	11	0,975	11	0,966	11	1,050	11	0,975	11	0,9889
		12	0,963	12	0,949	12	1,060	12	0,963	12	0,9778
5 Posições		13	0,950	13	0,932	13	1,070	13	0,950	13	0,9667
				14	0,915	14	1,080	14	0,938	14	0,9556
1	1,000			15	0,898	15	1,090	15	0,925	15	0,9444
2	1,025			16	0,881	16	1,100	16	0,913	16	0,9333
3	1,050					17	1,110	17	0,900	17	0,9222
4	1,075									18	0,9111
5	1,100									19	0,9000

Coluna	Descrição
De	Número de identificação da barra de origem.
Para	Número de identificação da barra de destino.
Nome	Nome de identificação da unidade transformadora.
Nº	Número de identificação da unidade transformadora.
RT	Relação de transformação da unidade transformadora, em kV.
Pot	Potência nominal da unidade transformadora, em MVA.
R ₊	Resistência equivalente de seqüência positiva da unidade transformadora, em %.
X ₊	Reatância equivalente de seqüência positiva da unidade transformadora, em %.
Tap Min	Valor mínimo que o tape da unidade transformadora pode assumir para transformadores com variação automática de tape, em pu.
Tap Max	Valor máximo que o tape da unidade transformadora pode assumir para transformadores com variação automática de tape, em pu.
Pos	Número de posições entre tape mínimo e tape máximo.

Coluna	Descrição
Tp	Tipo de transformador, onde: F = tape fixo e V = tape variável em carga.
Cn	Capacidade máxima de transformação em condições normais de operação, em MVA.
Ce	Capacidade máxima de transformação em condições de emergência, em MVA.
Posição	Número da posição do tape.
Tape	Valor do tape, em pu.

A-5.4. Dados dos Transformadores para Representação em Estudo de Curto-Circuito

Nos estudos de curto-circuito, os transformadores de três enrolamentos são modelados através de um circuito “Y”. Cria-se um nó fictício que representa o nó do meio, que servirá para efetivar a ligação à terra no modelo “Estrela Aterrada – Estrela Aterrada – Delta”. Os transformadores elevadores de usina são modelados através de ligação em “Delta – Estrela-Aterrada”.

Barras fictícias – ponto do meio de transformadores de três enrolamentos.

Transformador: Bateias 500/230kV	
Nº	Nome
9895	T#BT 500230A
9896	T#BT 500230B

Transformador: Curitiba 500/230kV	
Nº	Nome
9959	T#CB 500230A
9960	T#CB 500230B

Transformador: Blumenau 500/230kV	
Nº	Nome
9938	T#BL 500230A
9939	T#BL 500230B
9940	T#BL 500230C

Transformador: Gravataí 500/230kV	
Nº	Nome
9976	T#GR 500230A
9977	T#GR 500230B
9978	T#GR 500230C

Transformador: Areia 500/230kV	
Nº	Nome
9933	T#AR 500230A

Transformador: Cascavel Oeste 500/230kV	
Nº	Nome
9897	T#CL 500230A

Transformador: Caxias 500/230kV	
Nº	Nome
9964	T#CA 500230A
9965	T#CA 500230B

Transformador: Cascavel 230/138kV	
Nº	Nome
9839	T#CV 230138A
9840	T#CV 230138B

Transformador: F. Chopin 230/138kV	
Nº	Nome
9898	T#FC 230138A

Transformador: Itajubá 500/138kV	
Nº	Nome
9503	T#IJ 500138A

Transformador: Adrianópolis 500/345kV	
Nº	Nome
9106	T#AD 500345A
9107	T#AD 500345B

Transformador: Itumbiara 500/345kV	
Nº	Nome
9210	T#IT 500345A
9211	T#IT 500345B

Transformador: P. Caldas 500/345kV	
Nº	Nome
9102	T#PC 500345A

Transformador: Campinas 500/345kV	
Nº	Nome
9103	T#CP 500345A

Transformador: Ibiúna 500/345kV	
Nº	Nome
9122	T#IB 500345A
9123	T#IB 500345B

Transformador: Itumbiara 345/230kV	
Nº	Nome
9217	T#IB 345230A
9218	T#IB 345230B

Transformador: Samambaia 500/345kV	
Nº	Nome
9233	T#SB 500345A
9234	T#SB 500345B

Transformador: Jaguará 500/345kV	
Nº	Nome
9325	T#JG 500345A
9326	T#JG 500345B

Transformador: Brasília Sul 345/230kV	
Nº	Nome
9219	T#BS 345230A

Transformador: Jauru 230/138kV	
Nº	Nome
9862	T#JA 230138A

Transformador: Marimbondo 500/345kV	
Nº	Nome
9100	T#MB 500345A

Transformador: A. Vermelha 500/440kV	
Nº	Nome
9535	T#AV 500440A
9536	T#AV 500440B

Transformador: Coxipó 230/138kV	
Nº	Nome
9532	T#CX 230138A
9533	T#CX 230138B
9534	T#CX 230138C

Transformador: Rondonópolis 230/138kV	
Nº	Nome
9522	T#RO 230138A
9523	T#RO 230138B

Ligação dos transformadores de três enrolamentos às barras fictícias – Modelo Y.
(Ligação em Estrela Aterrada – Estrela Aterrada).

Transformador: Bateias 500/230kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9895	895	0,0	1,37	0,0	1,37
9895	814	0,0	- 0,11	0,0	- 0,11
9895	0	999999	999999	0,0	4,10

Transformador: Bateias 500/230kV Tr-2					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9896	895	0,0	1,37	0,0	1,37
9896	814	0,0	- 0,11	0,0	- 0,11
9896	0	999999	999999	0,0	4,10

Transformador: Blumenau 500/230kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9938	938	0,0	0,46	0,0	0,46
9938	939	0,0	0,81	0,0	0,81
9938	0	999999	999999	0,0	4,47

Transformador: Blumenau 500/230kV Tr-2					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9939	938	0,0	0,47	0,0	0,47
9939	939	0,0	0,81	0,0	0,81
9939	0	999999	999999	0,0	4,47

Transformador: Blumenau 500/230kV Tr-3					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9940	938	0,0	0,46	0,0	0,46
9940	939	0,0	0,81	0,0	0,81
9940	0	999999	999999	0,0	4,47

Transformador: Areia 500/230kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9933	933	0,0	0,37	0,0	0,37
9933	934	0,0	0,89	0,0	0,89
9933	0	999999	999999	0,0	4,39

Transformador: Caxias 500/230kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9964	964	0,0	1,15	0,0	1,15
9964	965	0,0	0,06	0,0	0,06
9964	0	999999	999999	0,0	4,54

Transformador: Caxias 500/230kV Tr-2					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9965	964	0,0	1,17	0,0	1,17
9965	965	0,0	0,07	0,0	0,07
9965	0	999999	999999	0,0	4,67

Transformador: Gravataí 500/230kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9976	976	0,0	1,47	0,0	1,47
9976	1210	0,0	- 0,12	0,0	- 0,12
9976	0	999999	999999	0,0	7,64

Transformador: Gravataí 500/230kV Tr-2					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9977	976	0,0	0,12	0,0	0,12
9977	1210	0,0	1,13	0,0	1,13
9977	0	999999	999999	0,0	4,40

Transformador: Gravataí 500/230kV Tr-3					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9978	976	0,0	1,70	0,0	1,70
9978	1210	0,0	- 0,36	0,0	- 0,36
9978	0	999999	999999	0,0	4,37

Transformador: Casc. do Oeste 500/230kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9897	896	0,0	1,39	0,0	1,39
9897	2458	0,0	- 0,12	0,0	- 0,12
9897	0	999999	999999	0,0	4,09

Transformador: Curitiba 500/230kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9959	959	0,0	0,46	0,0	0,46
9959	960	0,0	0,83	0,0	0,83
9959	0	999999	999999	0,0	4,46

Transformador: Curitiba 500/230kV Tr-2					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9960	959	0,0	0,46	0,0	0,46
9960	960	0,0	0,82	0,0	0,82
9960	0	999999	999999	0,0	4,45

Transformador: Cascavel 230/138kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9839	839	0,0	6,31	0,0	6,31
9839	840	0,0	0,33	0,0	0,33
9839	0	999999	999999	0,0	39,56

Transformador: Cascavel 230/138kV Tr-2					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9840	839	0,0	6,79	0,0	6,79
9840	840	0,0	- 0,09	0,0	- 0,09
9840	0	999999	999999	0,0	43,32

Transformador: F. do Chopin 230/138kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9898	898	0,0	5,51	0,0	5,51
9898	848	0,0	0,85	0,0	0,85
9898	0	999999	999999	0,0	40,40

Transformador: Marimbondo 500/345kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9100	100	0,0	3,22	0,0	3,22
9100	213	0,0	- 0,59	0,0	- 0,59
9100	0	999999	999999	0,0	17,98

Transformador: Ibiúna 500/345kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9122	122	0,0	3,07	0,0	3,07
9122	86	0,0	- 1,36	0,0	- 1,36
9122	0	999999	999999	0,0	22,49

Transformador: Ibiúna 500/345kV Tr-2					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9123	122	0,0	3,07	0,0	3,07
9123	86	0,0	- 1,36	0,0	- 1,36
9123	0	999999	999999	0,0	22,49

Transformador: P. de Caldas 500/345kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9102	102	0,0	3,21	0,0	3,21
9102	120	0,0	- 0,55	0,0	- 0,55
9102	0	999999	999999	0,0	17,91

Transformador: Campinas 500/345kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9103	103	0,0	3,22	0,0	3,22
9103	123	0,0	- 0,51	0,0	- 0,51
9103	0	999999	999999	0,0	17,90

Transformador: Adrianópolis 500/345kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9106	106	0,0	2,92	0,0	2,92
9106	140	0,0	- 0,42	0,0	- 0,42
9106	0	999999	999999	0,0	18,25

Transformador: Adrianópolis 500/345kV Tr-2					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9107	106	0,0	2,67	0,0	2,67
9107	140	0,0	- 0,30	0,0	- 0,30
9107	0	999999	999999	0,0	17,88

Transformador: Itumbiara 500/345kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9210	210	0,0	1,56	0,0	1,56
9210	217	0,0	- 0,29	0,0	- 0,29
9210	0	999999	999999	0,0	15,56

Transformador: Itumbiara 500/345kV Tr-2					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9211	210	0,0	1,57	0,0	1,57
9211	217	0,0	- 0,28	0,0	- 0,28
9211	0	999999	999999	0,0	15,70

Transformador: Itumbiara 345/230kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9217	217	0,0	3,02	0,0	3,02
9217	225	0,0	- 0,68	0,0	- 0,68
9217	0	999999	999999	0,0	15,77

Transformador: Itumbiara 345/230kV Tr-2					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9218	217	0,0	2,99	0,0	2,99
9218	225	0,0	- 0,65	0,0	- 0,65
9218	0	999999	999999	0,0	15,80

Transformador: Samambaia 500/345kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9233	233	0,0	1,24	0,0	1,24
9233	234	0,0	- 0,23	0,0	- 0,23
9233	0	999999	999999	0,0	19,47

Transformador: Samambaia 500/345kV Tr-2					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9234	233	0,0	1,24	0,0	1,24
9234	234	0,0	- 0,23	0,0	- 0,23
9234	0	999999	999999	0,0	19,47

Transformador: Jaguará 500/345kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9325	325	0,0	2,51	0,0	2,51
9325	326	0,0	- 0,34	0,0	- 0,34
9325	0	999999	999999	0,0	8,29

Transformador: Jaguará 500/345kV Tr-2					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9326	325	0,0	2,49	0,0	2,49
9326	326	0,0	- 0,31	0,0	- 0,31
9326	0	999999	999999	0,0	8,34

Transformador: A. Vermelha 500/440kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9535	535	0,0	4,82	0,0	4,82
9535	536	0,0	- 3,10	0,0	- 3,10
9535	0	999999	999999	0,0	23,48

Transformador: A. Vermelha 500/440kV Tr-2					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9536	535	0,0	3,06	0,0	3,06
9536	536	0,0	- 1,40	0,0	- 1,40
9536	0	999999	999999	0,0	22,63

Transformador: B. Sul 345/230kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9219	219	0,0	4,40	0,0	4,40
9219	228	0,0	- 0,80	0,0	- 0,80
9219	0	999999	999999	0,0	14,65

Transformador: Itajubá 500/138kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9503	1503	0,0	5,15	0,0	5,15
9503	1504	0,0	- 0,48	0,0	- 0,48
9503	0	999999	999999	0,0	3,41

Transformador: Rondonópolis 230/138kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9522	4522	0,0	8,57	0,0	8,57
9522	4623	0,0	- 0,35	0,0	- 0,35
9522	0	999999	999999	0,0	14,21

Transformador: Rondonópolis 500/138kV Tr-2					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9523	4522	0,0	7,91	0,0	7,91
9523	4623	0,0	- 0,49	0,0	- 0,49
9523	0	999999	999999	0,0	14,31

Transformador: Coxipó 230/138kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9532	4532	0,0	8,51	0,0	8,51
9532	4533	0,0	- 0,29	0,0	- 0,29
9532	0	999999	999999	0,0	14,18

Transformador: Coxipó 230/138kV Tr-2					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9533	4532	0,0	8,60	0,0	8,60
9533	4533	0,0	- 0,30	0,0	- 0,30
9533	0	999999	999999	0,0	14,04

Transformador: Coxipó 230/138kV Tr-3					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9534	4532	0,0	8,58	0,0	8,58
9534	4533	0,0	- 0,31	0,0	- 0,31
9534	0	999999	999999	0,0	14,17

Transformador: Jauru 230/138kV Tr-1					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
9862	4862	0,0	3,36	0,0	3,36
9862	4807	0,0	- 0,69	0,0	- 0,69
9862	0	999999	999999	0,0	20,69

Ligação dos transformadores elevadores – Circuitos tipo gerador.

(Ligação em Delta-Estrela Aterrada).

Transformador: UHE G.B. Munhoz 16/500kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
824	800	0,0	1,68	0,0	1,68
0	824	999999	999999	0,0	1,68

Transformador: UHE Segredo 13,8/500kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
856	810	0,0	1,05	0,0	1,05
0	856	999999	999999	0,0	1,05

Transformador: UHE S.Caxias 13,8/500kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
897	808	0,0	1,02	0,0	1,02
0	897	999999	999999	0,0	1,02

Transformador: UHE Itá 16/500kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
995	904	0,0	1,1538	0,0	1,1538
0	995	999999	999999	0,0	1,1538

Transformador: UHE Machadinho 16/500kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
1030	915	0,0	2,0655	0,0	2,0655
0	1030	999999	999999	0,0	2,0655

Transformador: UHE S.Osório 13,8/230kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
1047	919	0,0	1,7022	0,0	1,7022
0	1047	999999	999999	0,0	1,7022

Transformador: UHE S.Santiago 19/500kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
1060	925	0,0	1,515	0,0	1,515
0	1060	999999	999999	0,0	1,515

Transformador: UHE Marimbondo 13,8/500kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
100	20	0,0	1,264	0,0	1,264
0	100	999999	999999	0,0	1,264

Transformador: UHE M.Moraes 13,8/345kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
131	22	0,0	8,8333	0,0	8,8333
0	131	999999	999999	0,0	8,8333

Transformador: UHE L. C. Barreto 13,8/345kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
134	12	0,0	1,335	0,0	1,335
0	134	999999	999999	0,0	1,335

Transformador: UHE Furnas 13,8/345kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
136	16	0,0	1,536	0,0	1,536
0	136	999999	999999	0,0	1,536

Transformador: UHE Itumbiara 13,8/500kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
210	18	0,0	0,66667	0,0	0,66667
0	210	999999	999999	0,0	0,66667

Transformador: UHE Corumbá 13,8/345kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
220	35	0,0	4,4965	0,0	4,4965
0	220	999999	999999	0,0	4,4965

Transformador: UHE Emborcação 13,8/500kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
320	300	0,0	1,3567	0,0	1,3567
0	320	999999	999999	0,0	1,3567

Transformador: UHE Jaguará 13,8/500kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
325	301	0,0	2,6325	0,0	2,6325
0	325	999999	999999	0,0	2,6325

Transformador: UHE N. Ponte 13,8/500kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
360	302	0,0	1,9367	0,0	1,9367
0	360	999999	999999	0,0	1,9367

Transformador: UHE S. Simão 13,8/500kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
370	303	0,0	1,0575	0,0	1,0575
0	370	999999	999999	0,0	1,0575

Transformador: UHE V. Grande 13,8/345kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
396	305	0,0	2,20	0,0	2,20
0	396	999999	999999	0,0	2,20

Transformador: UHE A. Vermelha 13,8/500kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
535	500	0,0	1,025	0,0	1,025
0	535	999999	999999	0,0	1,025

Transformador: UHE Itiquira 13,8/230kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
4521	4523	0,0	20,71	0,0	20,71
0	4521	999999	999999	0,0	20,71

Transformador: UHE Manso 13,8/230kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
4592	21	0,0	6,40	0,0	6,40
0	4592	999999	999999	0,0	6,40

Transformador: UHE Guaporé 13,8/230kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
4805	4804	0,0	13,333	0,0	13,333
0	4805	999999	999999	0,0	13,333

Transformador: UTE Cuiabá 13,8/138kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
4533	4596	0,0	3,7635	0,0	3,7635
0	4533	999999	999999	0,0	3,7635

Transformador: CS Ibiúna 13,8/345kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
86	48	0,0	0,71475	0,0	0,71475
0	86	999999	999999	0,0	0,71475

Transformador: CE Coxipo 13,8/230kV					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
4532	4530	0,0	14,30	0,0	14,30

Ligação dos geradores à referência (Terra) representada pela barra número 0 (zero).

Gerador: UHE L.C. Barreto					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	12	0,0	3,49	0,0	0,88

Gerador: UHE Furnas					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	16	0,0	3,43	0,0	1,28

Gerador: UHE Itumbiara					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	18	0,0	1,58	0,0	0,67

Gerador: UHE Marimbondo					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	20	0,0	2,27	0,0	0,79

Gerador: UHE Manso					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	21	0,0	57,04	0,0	19,20

Gerador: UHE Mascarenhas de Moraes					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	22	0,0	11,08	0,0	2,36

Gerador: UHE Corumbá					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	35	0,0	8,61	0,0	3,36

Gerador: CS Ibiúna					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	48	0,0	2,58	0,0	1,00

Gerador: UHE Emborcação					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	300	0,0	3,00	0,0	1,08

Gerador: UHE Jaguará					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	301	0,0	6,13	999999	999999

Gerador: UHE Nova Ponte					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	302	0,0	6,61	0,0	1,96

Gerador: UHE São Simão					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	303	0,0	1,81	999999	999999

Gerador: UHE Volta Grande					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	305	0,0	7,73	0,0	2,68

Gerador: UHE Água Vermelha					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	500	0,0	3,13	0,0	0,96

Gerador: UHE Gov. Bento Munhoz					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	800	0,0	1,445	999999	999999

Gerador: UHE Salto Coxias					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	808	0,0	1,7175	999999	999999

Gerador: UHE Salto Segredo					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	810	0,0	1,3525	999999	999999

Gerador: UHE Itá					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	904	0,0	1,572	999999	999999

Gerador: UHE Machadinho					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	915	0,0	1,6733	999999	999999

Gerador: UHE Salto Osório					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	919	0,0	3,0875	999999	999999

Gerador: UHE Salto Santiago					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	925	0,0	1,4275	999999	999999

Gerador: UHE Itiquira					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	4523	0,0	57,69	0,0	20,71

Gerador: UTE Cuiabá					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	4596	0,0	7,74	0,0	999999

Gerador: UHE Guaporé					
De	Para	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
0	4804	0,0	21,74	0,0	7,463

Coluna	Descrição
Nº	Número da barra fictícia para ligação dos transformadores de três enrolamentos no modelo T.
Nome	Nome da barra fictícia.
De	Número de identificação da barra de origem.
Para	Número de identificação da barra de destino.
R ₁	Resistência equivalente de seqüência positiva, em %.
X ₁	Reatância equivalente de seqüência positiva, em %.
R ₀	Resistência equivalente de seqüência zero, em %.
X ₀	Reatância equivalente de seqüência zero, em %.

Observações	
(i)	O valor 999999 corresponde a circuito aberto, ou seja, um valor extremamente alto.
(ii)	Os valores das reatâncias de seqüência positiva e zero estão referenciados para posição do tape igual a 1 pu.

A-5.5. Dados de Carga

Barra	Nome	Tensão	Carga	
			MW	Mvar
234	Samambaia	345	1000	350
217	Itumbiara	345	364	58
326	Jaguara	345	274	104
536	Água Vermelha	440	700	150
213	Marimbondo	345	93	39
123	Campinas	345	450	175
122	Ibiúna	500	200	38
120	Poços de Caldas	345	180	90
1504	Itajubá	138	145	63
104	Cachoeira Paulista	500	910	235
140	Adrianópolis	345	700	250
228	Brasília Sul	230	86	34
86	Ibiúna	345	66	1,2
126	Guarulhos	345	290	95
218	Bandeirantes	345	600	200
216	Porto Colômbia	345	53	25
138	Itutinga	345	72	34
136	Furnas	345	54	23
814	Bateias	230	735,4	191
960	Curitiba	230	844,7	469,1

Barra	Nome	Tensão	Carga	
			MW	Mvar
939	Blumenau	230	1149	53,1
965	Caxias	230	755,6	56,2
1210	Gravataí	230	1228	425
934	Areia	230	237	59
2458	Cascavel do Oeste	230	403	126
840	Cascavel	138	159	36
848	Foz do Chopin	138	94	18
834	São Mateus	230	13,4	4,2
1015	Joinville	230	70	2
231	Rio Verde	230	89,7	31,9
4501	Barra do Peixe	230	31,4	7,1
4623	Rondonópolis	138	128,2	40,8
4533	Coxipó	138	75,4	16,1
4703	Cuiabá	138	182,1	29,8
4807	Jauru	138	128,9	36,3
4552	Nova Mutum	230	12,6	1,2
4572	Lucas do Rio Verde	230	18	6,4
4562	Sorriso	230	23,8	7,4
4582	Sinop	230	65,5	16,7
Total			12 681,7	3 597,5

A-5.6. Dados de Equipamentos de Controle de Tensão

Capacitores Shunt						
Barra	Nome	Tensão	Nº	Potência	Total	Manobrável
1210	Gravataí	230	4	100	400	Sim
939	Blumenau	230	2	125	250	Não
959	Curitiba	500	1	100	100	Não
104	Cachoeira Paulista	500	2	100	200	Sim
122	Ibiúna	500	2	100	200	Sim
1504	Itajubá	138	2	100	200	Sim
123	Campinas	345	2	100	200	Sim
120	Poços de Caldas	345	2	100	200	Sim
234	Samambaia	345	1	150	150	Não
4522	Rondonópolis	230	1	30	30	Sim
4533	Coxipó	138	9	9,6	86,4	Sim
4582	Sinop	230	1	30	30	Sim
231	Rio Verde	230	3	10	30	Sim
Total			32		2 076,4	

Reatores Shunt						
Barra	Nome	Tensão	Nº	Potência	Total	Manobrável
995	Itá	500	1	150	150	Sim
955	Campos Novos	500	1	100	100	Não
976	Gravataí	500	1	150	150	Não
964	Caxias	500	1	150	150	Sim
938	Blumenau	500	1	150	150	Não
959	Curitiba	500	1	150	150	Sim
839	Cascavel	230	2	15	30	Não
123	Campinas	345	2	50	100	Não
895	Bateias	500	1	150	150	Sim
122	Ibiúna	500	1	105	105	Sim

Reatores Shunt						
Barra	Nome	Tensão	Nº	Potência	Total	Manobrável
104	Cachoeira Paulista	500	1	136	136	Sim
102	Poços de Caldas	500	2	50	100	Não
101	Araraquara	500	1	73	73	Não
325	Jaguara	500	1	91	91	Não
210	Itumbiara	500	1	91	91	Não
4501	Barra do Peixe	230	1	45	45	Não
4862	Jauru	230	2	30	60	Sim
4552	Nova Mutum	230	1	20	20	Sim
4522	Rondonópolis	230	1	20	20	Sim
4532	Coxipó	230	1	30	30	Sim
Total			24		1901	

Compensador Síncrono								
Barra	Nome	Tensão	Nº	Absorção (Mvar)		Geração (Mvar)		Barra Controle
				Por Maq.	Total	Por Maq.	Total	
48	Ibiúna	13,8	4	270	1080	300	1200	48

Compensador Estático								
Barra	Nome	Tensão	Nº	Absorção (Mvar)		Geração (Mvar)		Barra Controle
				Por Maq.	Total	Por Maq.	Total	
4530	Coxipó	12	1	50	50	70	70	4530

Coluna	Descrição
Barra	Número de identificação da barra que o equipamento está conectado.
Nome	Nome de identificação da barra que o equipamento está conectado.
Tensão	Tensão nominal do equipamento, em kV
Nº	Quantidade de equipamentos.
Potência	Potência nominal gerada por equipamento, em Mvar.
Total	Potência total gerada, em Mvar.
Manobrável	Indica a existência ou não de disjuntor para chaveamento do equipamento, ou seja, se o equipamento é manobrável através de disjuntor.
Barra Controle	Ou "barra controlada", refere-se a barra que vai ter a tensão controlada pelo equipamento. Pode ser a barra terminal ou uma barra remota.

A-5.7. Dados de Máquinas

Geração de Potência Ativa (MW)				
Barra	Nome	Nº de Máquinas	Geração Máxima por Máquina	Geração Máxima Total
12	Luiz Carlos Barreto	6	184	1 104
16	Furnas	8	164	1 312
18	Itumbiara	6	380	2 280
20	Marimondo	8	186	1 488
21	Manso	4	54	216
22	Mascarenhas de Moraes	6	54	324
35	Corumbá	3	127	381
300	Emborcação	4	298	1 192
301	Jaguara	4	100	400
302	Nova Ponte	3	170	510
303	São Simão	6	280	1 680
305	Volta Grande	4	95	380

Geração de Potência Ativa (MW)				
Barra	Nome	Nº de Máquinas	Geração Máxima por Máquina	Geração Máxima Total
500	Água Vermelha	6	232,7	1 396,2
800	Gov. Bento Munhoz	4	418,5	1 674
808	Salto Caxias	4	310	1 240
810	Salto Segredo	4	315	1 260
904	Itá	5	170	1 450
915	Machadinho	3	260	1 140
919	Salto Osório	4	120	728
925	Salto Santiago	4	220	1 420
4523	Itiquira	2	30,4	60,8
4596	Cuiabá	2	160	320
4804	Guaporé	3	41,4	124,2
	Total			22 080,2

Geração e Absorção de Reativos das Máquinas (Mvar)						
Barra	Nome	Nº de Máquinas	Absorção		Geração	
			Por Máquina	Total	Por Máquina	Total
12	Luiz Carlos Barreto	6	90	540	70	420
16	Furnas	8	90	720	60	480
18	Itumbiara	6	91	546	100	600
20	Marimbondo	8	80	640	80	640
21	Manso	4	20	80	21	84
22	Mascarenhas de Moraes	6	20	120	21	126
35	Corumbá	3	60	180	60	180
300	Emborcação	4	110	440	98	392
301	Jaguara	4	35	140	35	140
302	Nova Ponte	3	50	150	50	150
303	São Simão	6	100	600	100	600
305	Volta Grande	4	30	120	30	120
500	Água Vermelha	6	90	540	90	540
800	Gov. Bento Munhoz	4	200	800	200	800
808	Salto Caxias	4	150	600	150	600
810	Salto Segredo	4	100	400	133	532
904	Itá	5	95	475	95	475
915	Machadinho	3	172	516	155	465
919	Salto Osório	4	37	148	55	220
925	Salto Santiago	4	110	440	105	420
4523	Itiquira	2	21,1	42,2	15,2	30,4
4596	Cuiabá	2	80	160	80	160
4804	Guaporé	3	28,8	86,4	19,8	59,4
	Total			8 483,6		8 233,8

A-5.8. Modelo e Dados de Geradores

Nota-1: O modelo de gerador utilizado foi o MD02 do programa ANATEM [14] para pólos salientes que utiliza um enrolamento de campo e dois enrolamentos amortecedores, sendo um no eixo direto e outro no eixo em quadratura.

Bar	Nome	Nº	Ld	Lq	L'd	L''d	Ll	T'd	T''d	T''q	H	P	Ra	T
12	L.C.Barreto	6	113,8	68,1	35,0	28,8	15,8	5,60	0,08	0,15	4,938	184	0	H
16	Furnas	8	85,94	58,12	29,91	21,14	15,35	5,50	0,085	0,2214	4,988	164	0	H

Bar	Nome	Nº	Ld	Lq	L'd	L''d	Ll	T'd	T''d	T''q	H	P	Ra	T
18	Itumbiara	6	73,0	52,0	26,0	20,0	19,0	8,30	0,06	0,03	4,310	365	0	H
20	Marimbondo	8	106,0	63,0	33,0	25,0	21,0	5,40	0,08	0,12	5,050	190	0	H
21	Manso	4	95,0	57,0	30,0	21,0	14,5	3,0	0,055	0,05	2,700	55,5	0	H
22	M.Moraes	6	94,59	56,60	37,58	30,55	16,41	5,0	0,05	0,10	2,950	54	0	H
35	Corumbá	3	93,0	62,0	28,99	25,01	16,81	4,87	0,090	0,190	3,33	139	0	H
48	Ibiúna	4	170,0	100,0	37,0	22,0	15,4	9,0	0,060	0,20	1,600	300,0	0	-
300	Emborcação	4	92,89	68,99	31,99	25,59	13,99	5,0	0,065	0,085	4,722	313,6	0	H
301	Jaguara	4	97,50	57,99	27,80	14,0	12,4	4,60	0,060	0,107	4,244	112	0	H
302	Nova Ponte	3	100,0	69,0	30,0	20,0	14,0	5,70	0,060	0,160	4,910	179	0	H
303	São Simão	6	94,81	64,50	24,99	18,96	14,01	7,0	0,066	0,140	6,228	283	0	H
305	V.Grande	4	107,0	68,9	32,0	22,7	15,3	3,26	0,03	0,065	5,60	100	0	H
500	A Vermelha	6	91,00	57,0	26,0	21,0	15,0	6,20	0,043	0,074	4,030	250	0	H
800	G.B.M	4	91,89	68,63	30,25	24,22	16,13	7,92	0,06	0,09	4,439	419	0	H
808	S.Caxias	4	87,85	56,61	24,51	19,86	10,35	7,59	0,07	0,17	4,071	333	0	H
810	S.Segredo	4	87,85	56,61	24,51	19,86	10,35	7,59	0,07	0,17	4,071	333	0	H
904	Itá	5	110,0	73,0	31,0	24,0	16,0	6,90	0,043	0,040	4,349	305	0,42	H
915	Machadinho	3	100,0	75,0	32,0	26,0	22,0	6,0	0,09	0,09	4,844	418,5	0	H
919	S.Osório	4	119,9	59,96	30,94	25,48	10,92	8,27	0,050	0,070	3,620	182	0	H
925	S.Santiago	4	91,79	62,25	31,65	23,21	18,86	10,0	0,040	0,130	3,873	369,8	0	H
4523	Itiquira	2	105,0	72,0	34,0	22,0	15,0	6,0	0,24	0,33	2,785	33,8	0	H
4804	Guaporé	3	105,0	71,0	32,0	18,0	13,0	7,71	0,07	0,19	3,619	46	0	H

Nota-2: O modelo de gerador utilizado foi o MD03 do programa ANATEM [14] para pólos lisos.

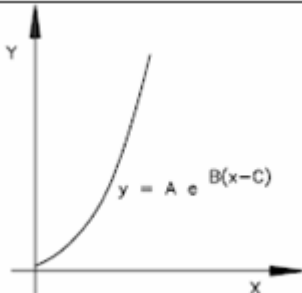
Bar	Nome	Nº	Xd	Xq	X'd	X'q	X''d	Xl	T'd	T'q	T''d	T''q	H	P	Ra	T
4596	Cuiabá	2	160,7	152,7	19,5	37,0	14,4	10,0	9,22	2,5	0,041	0,150	6,910	186	0	T

Coluna	Descrição
Bar	Número de identificação da barra onde está ligada a unidade geradora.
Nome	Número da unidade geradora.
Nº	Número de unidades geradoras da usina.
Xd	Reatância síncrona de eixo direto por máquina, em %.
Xq	Reatância síncrona de eixo em quadratura por máquina, em %.
X'd	Reatância transitória de eixo direto por máquina, em %.
X'q	Reatância transitória de eixo em quadratura por máquina, em %.
X''d	Reatância subtransitória de eixo direto por máquina, em %.
Xl	Reatância de dispersão da armadura por máquina, em %.
T'd	Constante de tempo transitória de eixo direto em circuito aberto, em segundos.
T'q	Constante de tempo transitória de eixo em quadratura em circuito aberto, em segundos.
T''d	Constante de tempo subtransitória de eixo direto em circuito aberto, em segundos.
T''q	Constante de tempo subtransitória de eixo em quadratura em circuito aberto, em segundos.
H	Constante de inércia, em segundos. Representa a relação entre a energia cinética armazenada no grupo turbina-gerador, à velocidade síncrona, e a potência aparente nominal da máquina.
P	Potência aparente nominal da unidade geradora, em MVA, usada como base para os parâmetros.
Ra	Resistência do enrolamento de armadura, em %
T	Tipo de fonte de energia da usina: H= Hidráulica e T=Térmica

Curva de Saturação					
Núm	Máq	Tipo	Y1	Y2	X1
700	G.B.Munhoz	2	0,0220	7,874	0,8
702	S.Caxias	2	0,0147	7,098	0,8
702	S.Segredo	2	0,0147	7,098	0,8
808	Itá	2	0,02707	7,05981	0,8
815	Machadinho	2	0,022924	8,392149	0,8

Curva de Saturação					
Núm	Máq	Tipo	Y1	Y2	X1
805	S.Osório	2	0,0490	6,640	0,8
807	S.Santiago	2	0,0460	6,300	0,8
109	Itumbiara	2	0,017	10,125	0,8
111	Marimbondo	2	0,016	8,068	0,8
300	Emborcação	2	0,020	7,50	0,8
302	Jaguara	2	0,05	5,91	0,8
303	Nova Ponte	2	0,0248	6,6089	0,8
304	São Simão	2	0,024	9,125	0,8
500	Água Vermelha	2	0,0188	7,864	0,8
138	Ibiúna	2	0,018	7,305	0,8
103	L.C. Barreto	2	0,013	7,92	0,8
107	Furnas	2	0,034	7,106	0,8
113	M. Moraes	2	0,056	5,696	0,8
122	Corumbá	2	0,0269	7,1041	0,8
128	Manso	2	0,0639	6,8197	0,8
2200	Itiquira	2	0,0341053	8,317526	0,8
1405	Guaporé	2	0,0391961	5,322121	0,8
1400	Cuiabá	2	0,0260510	7,115469	0,8

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação da curva de saturação da máquina usado no arquivo de dados.
Máq	Nome da unidade geradora.
Tipo	Indica o tipo de equação usada para curva de saturação. Tipo 2 corresponde a uma exponencial (ver figura abaixo).
Y1	Valor do parâmetro A, em pu.
Y2	Valor do parâmetro B, em pu.
X1	Valor do parâmetro C, em pu.

2	exponencial $y = Ae^{B(x-C)}$	
---	----------------------------------	--

Equação e curva de saturação

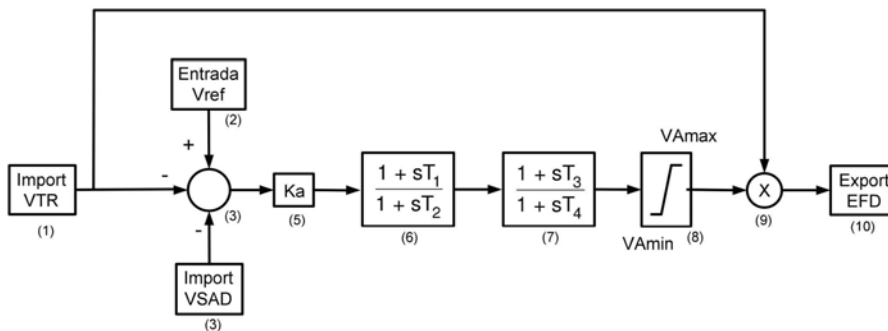
A-5.9. Modelo de Controladores para Estudos Dinâmicos

A seguir, são apresentados os dados dos controladores necessários para modelagem nos programas ANATEM e PACDYN. Estes parâmetros são referentes aos modelos dos controladores do sistema elétrico brasileiro, constante da *base de dados dinâmicos do ONS referente a maio de 2006*, utilizados nos sistema-teste de 33, 65 e 107 barras composto de:

- Regulador de Tensão, Excitatriz e limitadores associados (sub e sobre-excitação, limitador Volt/Hertz, limitador de corrente de armadura, etc.);
- Regulador de velocidade, Turbina e limites associados;
- PSS e limites associados;
- Diagramas de blocos, no domínio da frequência, através de suas funções de transferência das malhas de controle correspondentes;
- Parâmetros associados, valores e faixas de ajuste.

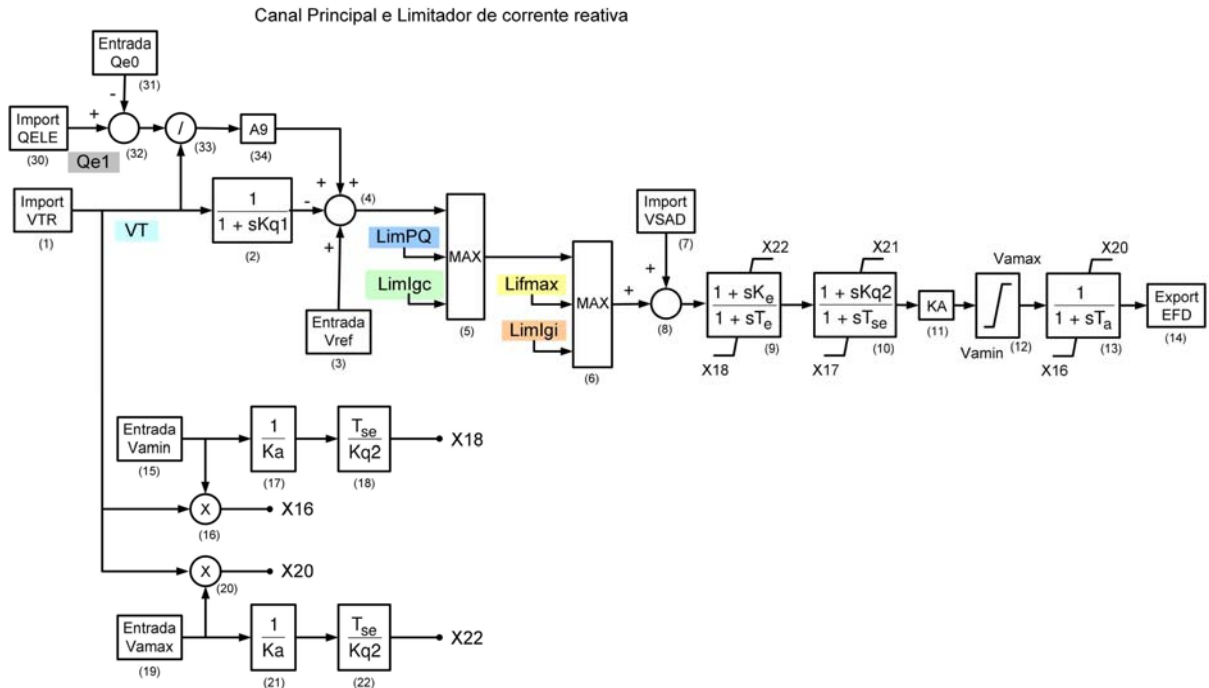
A-5.9.1 Reguladores de Tensão

Usina: UHE Água Vermelha

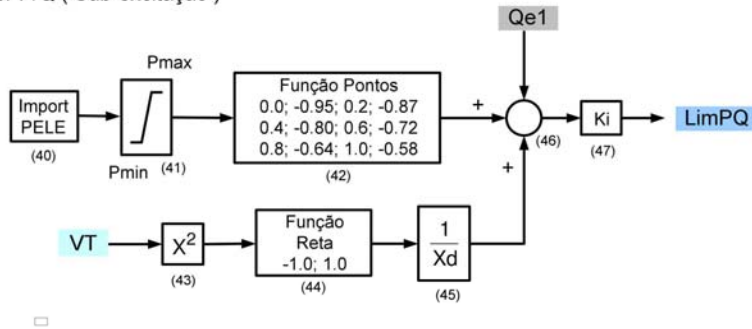


Parâmetros	Valor
Ka	400.0
T1	2.42
T2	23.13
T3	1.0
T4	1.0
VAmáx	5.74
VAmín	-5.3

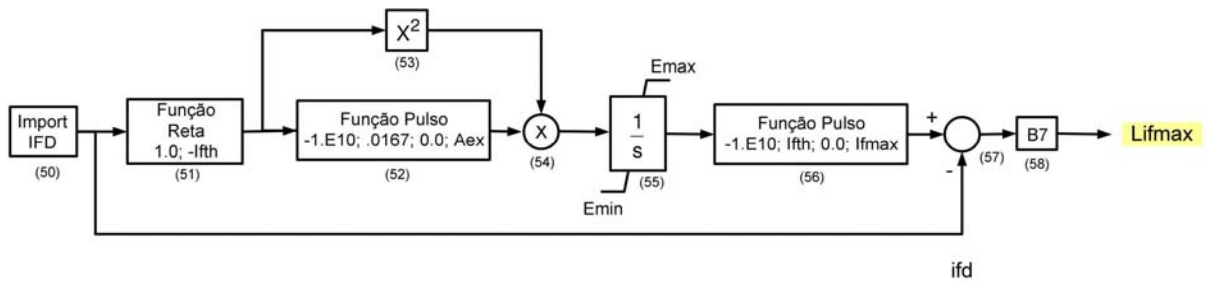
Usina: UHE Corumbá

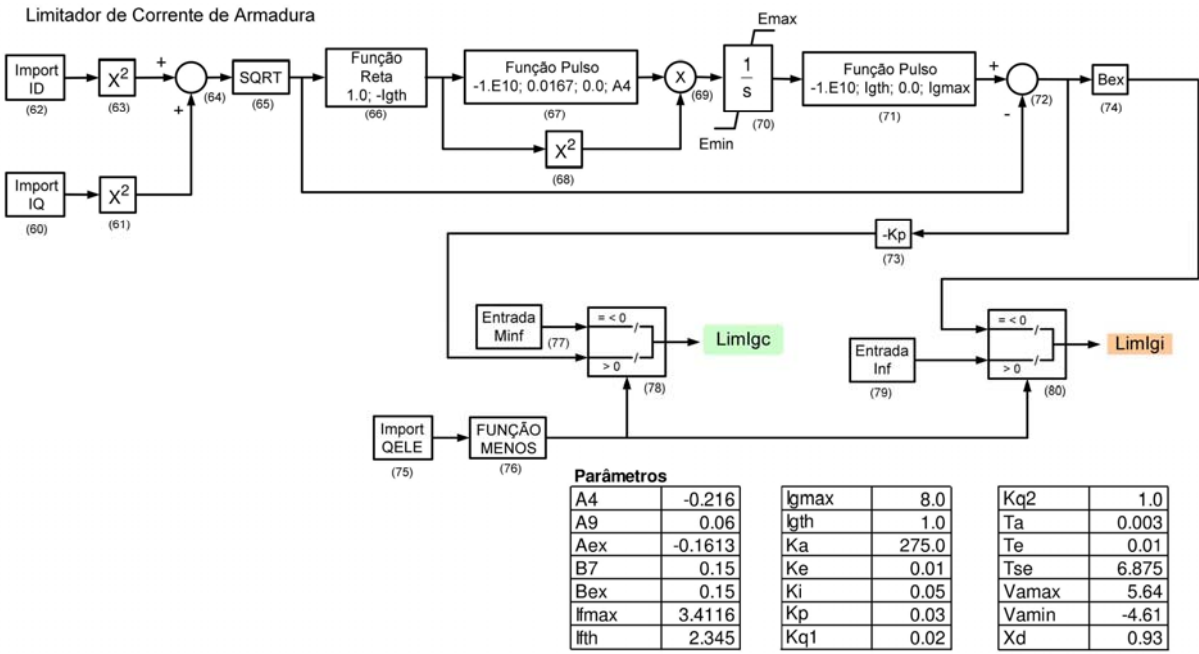


Limitador P/Q (Sub-excitação)

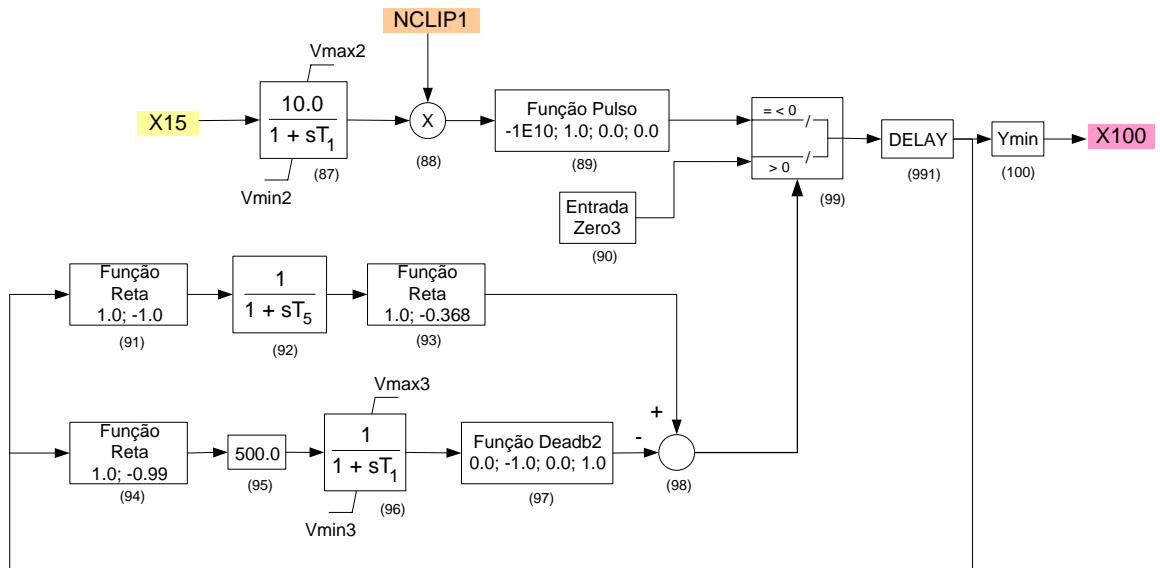


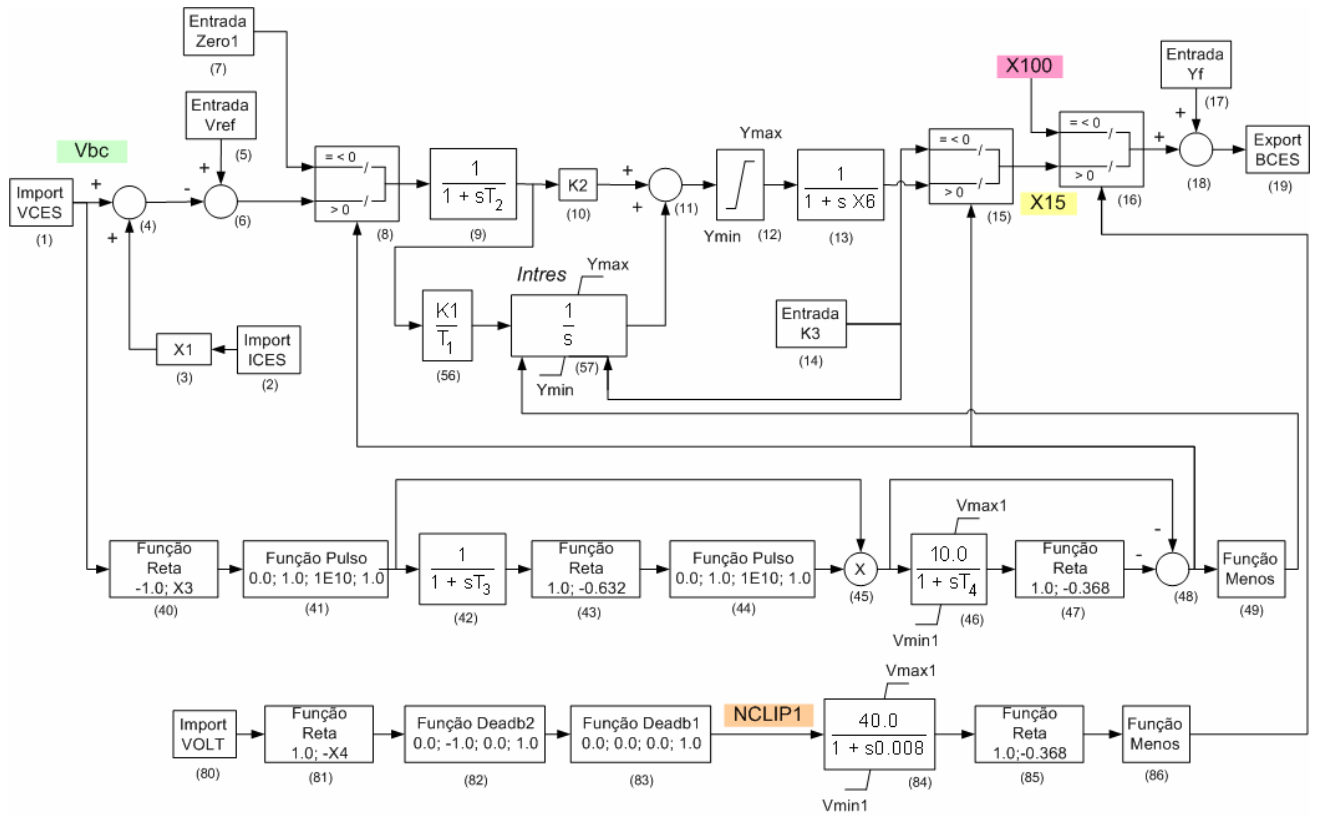
Limitador de corrente de campo máxima (Sobre-excitação)





CE Coxipó

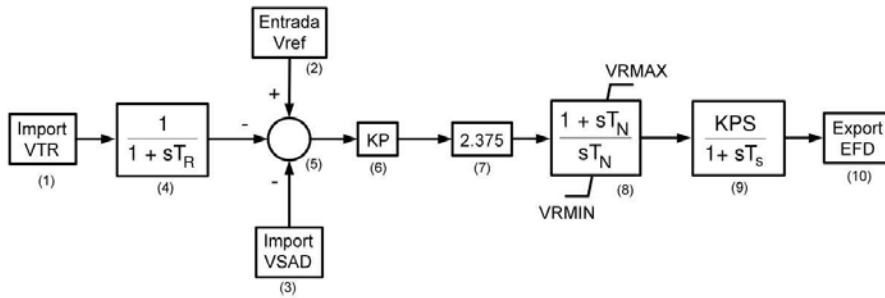




Parâmetros

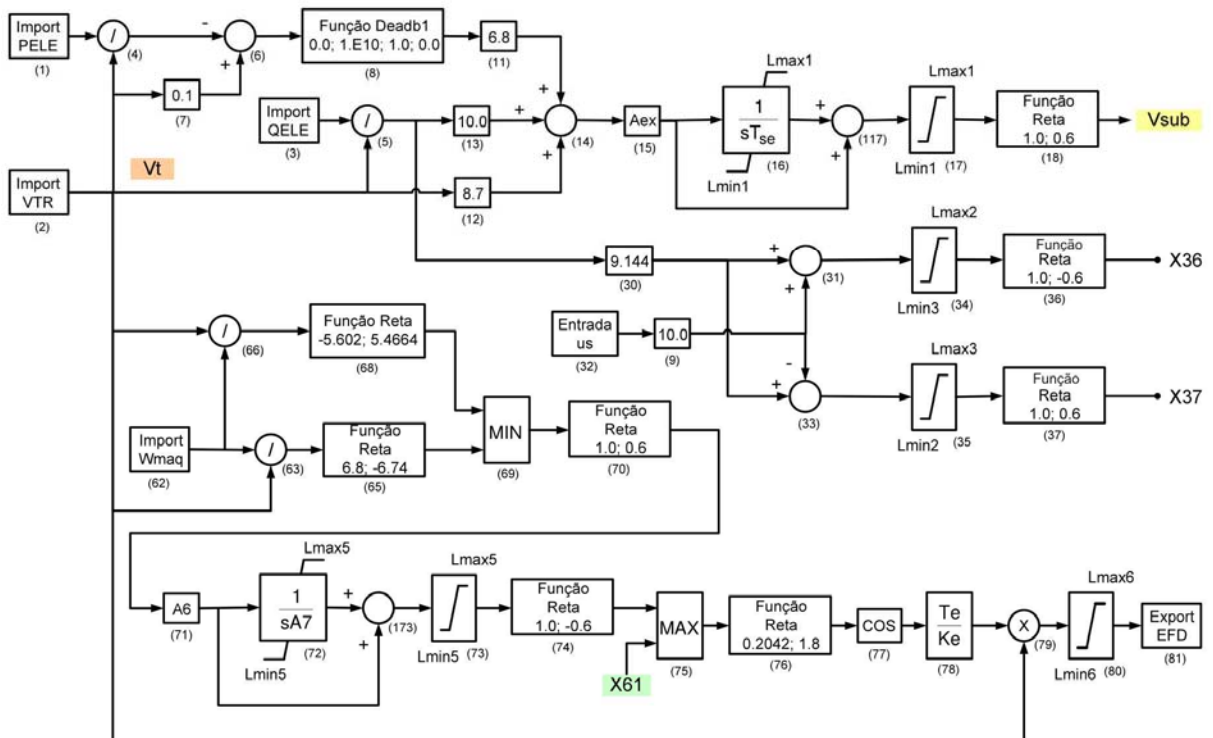
K1	2.23
K2	1.752
K3	-0.02
T1	0.01
T2	0.003
T3	0.02
T4	0.02
T5	0.016
Vmax1	1.0
Vmax2	0.01
Vmax3	0.001
Vmin1	0.0
Vmin2	-0.01
Vmin3	-0.01
X1	0.0
X3	0.50
X4	1.94
X6	0.007
Yf	0.0987
Ymax	0.5408
Ymin	-0.6438

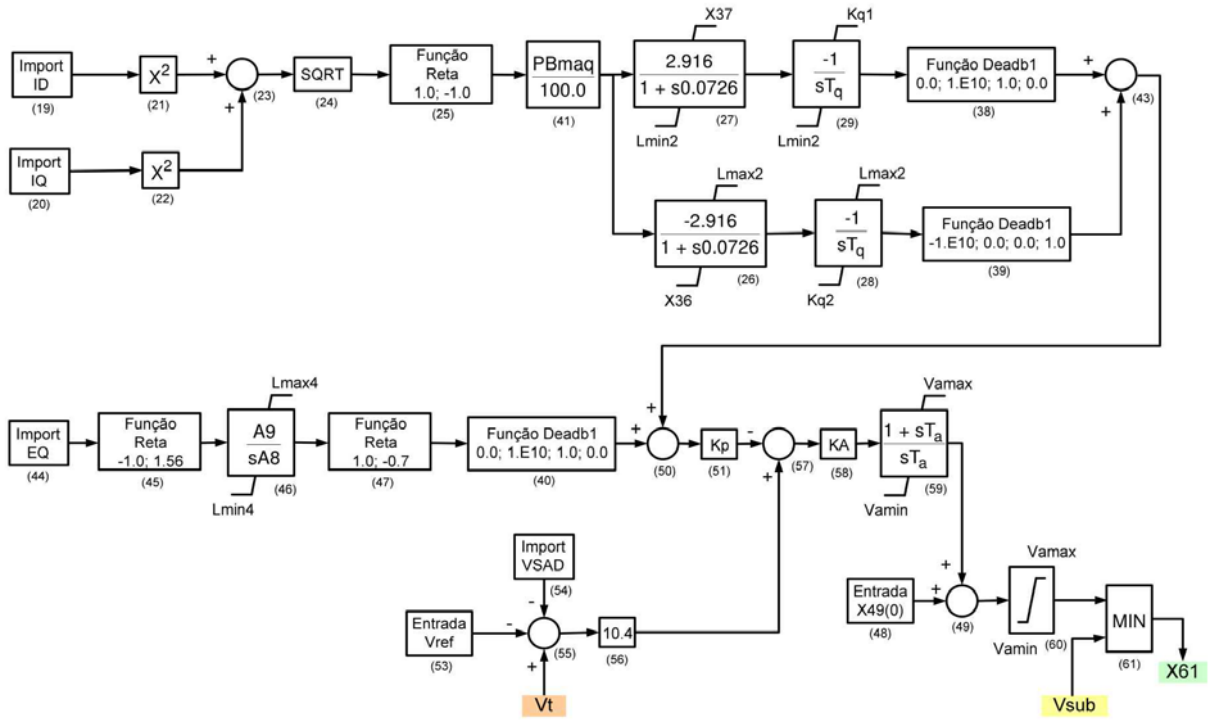
Usina: UTE Cuiabá



Parâmetros	Valor
TR	0.005
KP	6.0
TN	2.0
KPS	5.3
TS	0.0018
VRMAX	0.955
VRMIN	-0.830

Usina: UHE Emborcação



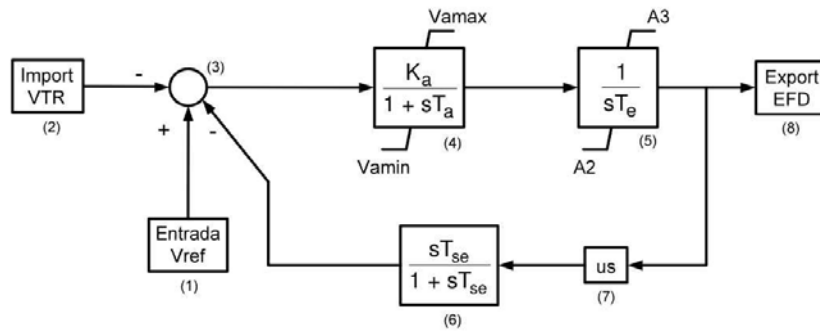


Parâmetros	Valor
A6	-4.2
A7	0.35
A8	1.4
A9	7.5
Aex	0.22
Ka	4.7
Ke	235.0
Kp	1.0
Kq1	5.01
Kq2	-5.0
PBmaq	313.6
Ta	1.0
Te	1890.0
Tq	1.71
Tse	0.64
us	0.1
Vamax	3.994
Vamin	-7.1171

DEFVAL	Valor
Kq1	Kq1
Kq2	Kq2
Lmax1	3.37
Lmax2	15.0
Lmax3	4.03
Lmax4	7.52
Lmax5	11.69
Lmax6	7.5575
Lmin1	-9.81
Lmin2	-15.0
Lmin3	-4.0
Lmin4	-10.0
Lmin5	-11.69
Lmin6	-6.965
us	us
Vamax	Vamax
Vamin	Vamin
X16	Lmax1

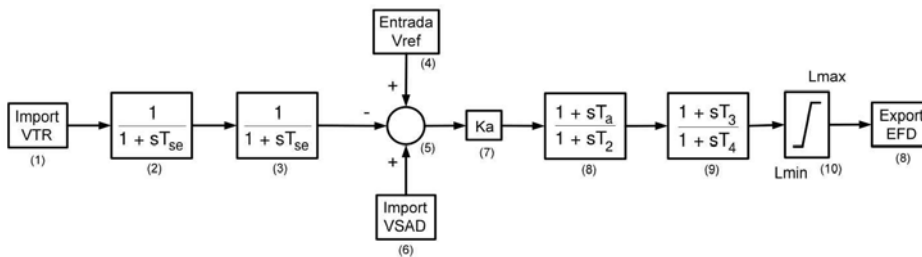
DEFVAL	Valor
X28	Kq2
X29	Kq1
X46	Lmax4
X49(0)	X49
X72	Lmin5

Usina: UHE Furnas



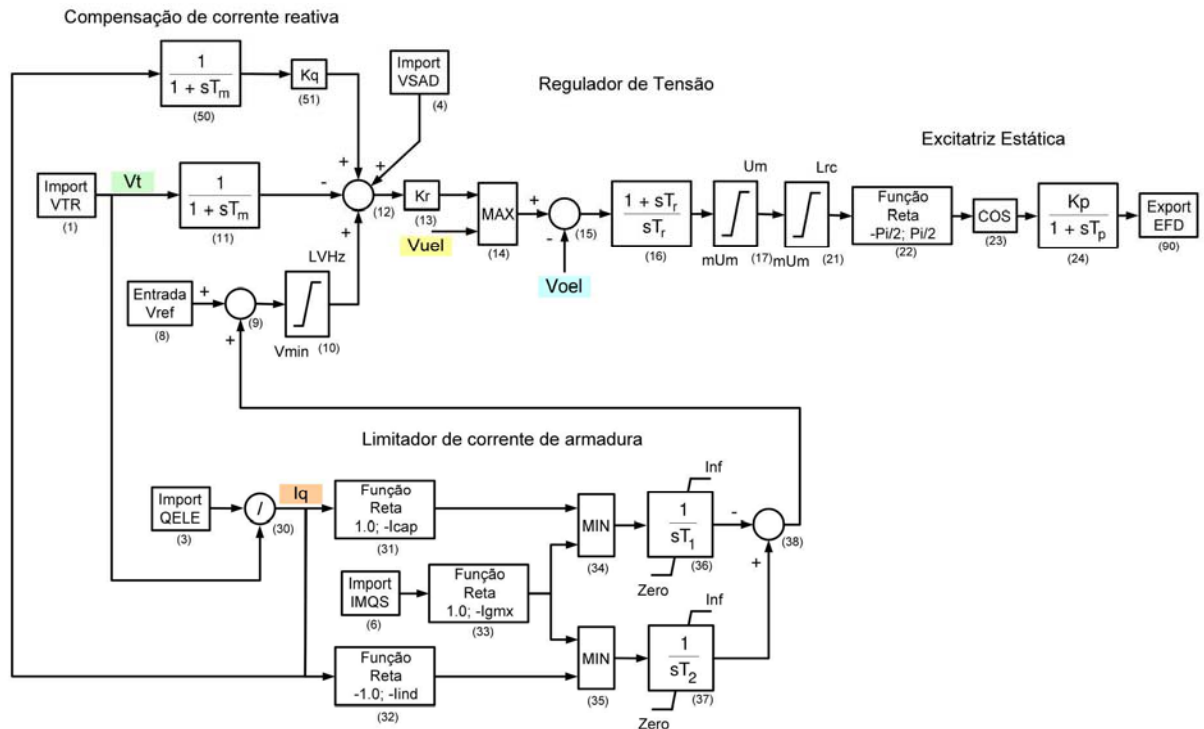
Parâmetros	
A2	-1000
A3	1000
Ka	20.0
Ta	0.08
Te	0.50
Tse	1.07
us	0.10
Vamax	1.80
Vamin	-1.80

Usina: UHE Governador Bento Munhoz

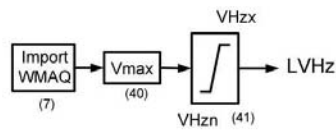


Parâmetros	Valor
Ka	190.8
Lmax	3.87
Lmin	-3.87
T2	12.0
T3	0.07
T4	0.013356
Ta	3.00
Tse	0.02

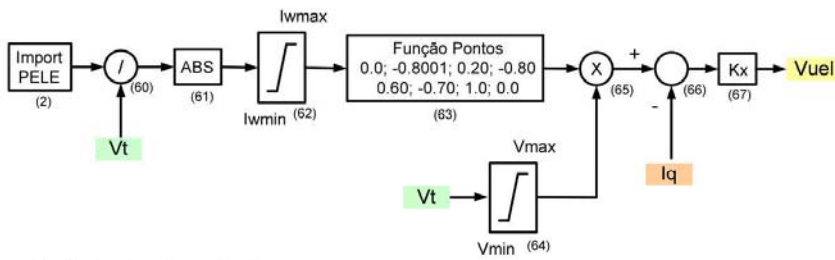
Usina: UHE Guaporé



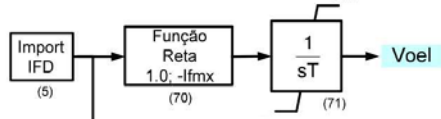
Limitador de enlace de fluxo



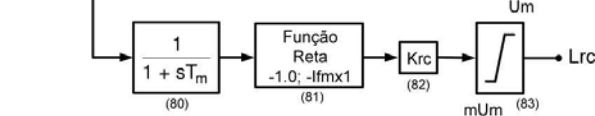
Limitador de subexcitação



Limitador de sobreexcitação



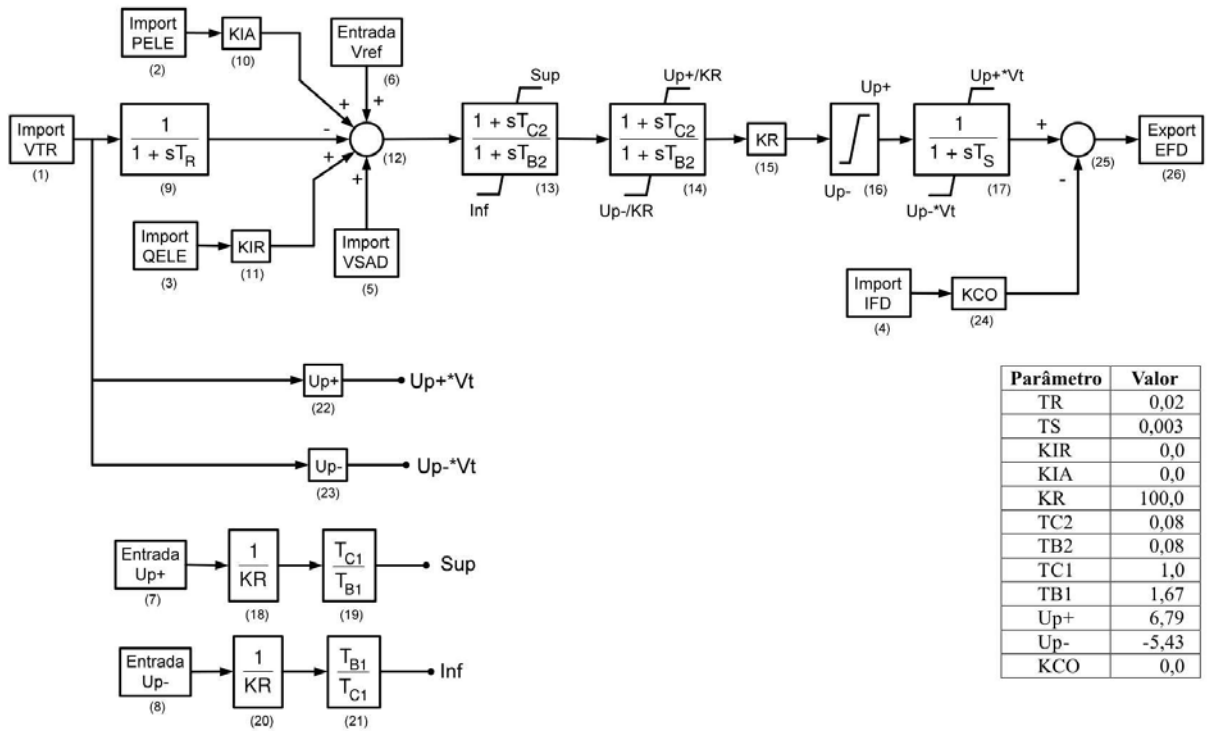
Limitador rápido de corrente de campo



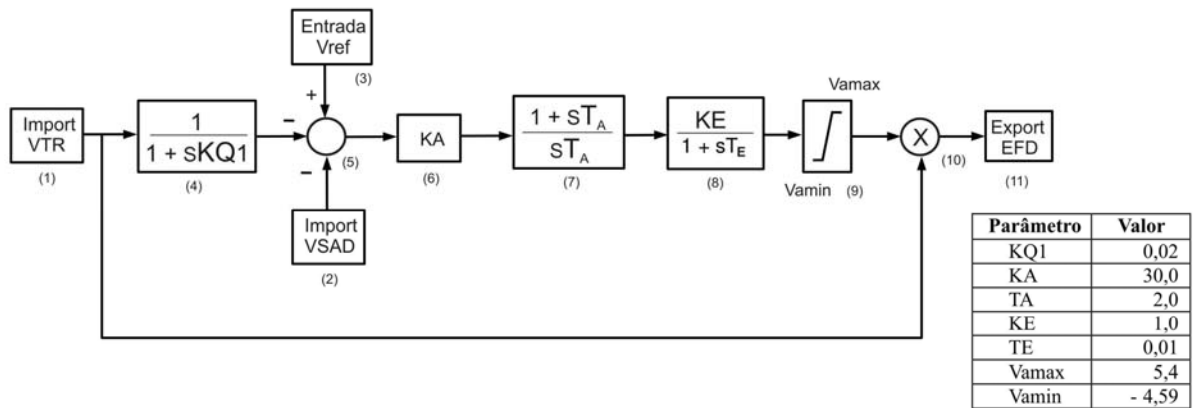
Parâmetros	Valor
Tm	0.02
Kr	10.0
Tr	0.4
Kp	5.08
Tp	0.0014
lfx	2.02213
T	5.0
Kx	1.0
T1	33.0
T2	33.0
lfx1	1.10
lcap	0.10
lind	0.10
lfx1	2.57362
Krc	100.0
Kq	0.0
Vmin	0.9
Vmax	1.1
VHzn	0.9
VHxz	1.08
Pi/2	1.5707963268

DEFVAL	Valor
Inf	9999
Voel	0.0
X36	0.0
X37	0.0
Iwmin	0.20
Iwmax	1.0

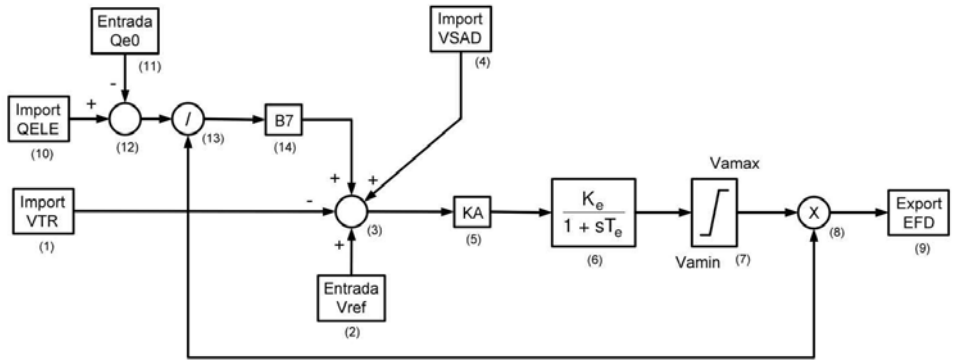
Usina: UHE Itá



Usina: UHE Itiquira

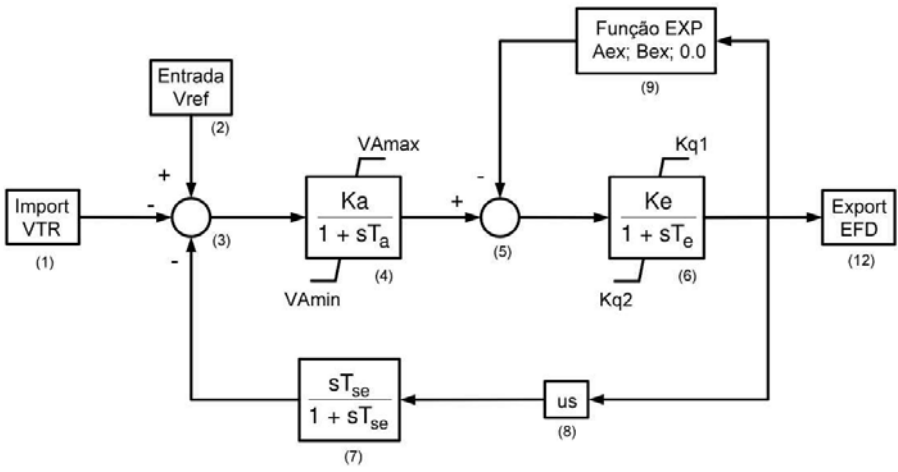


Usina: UHE Itumbiara



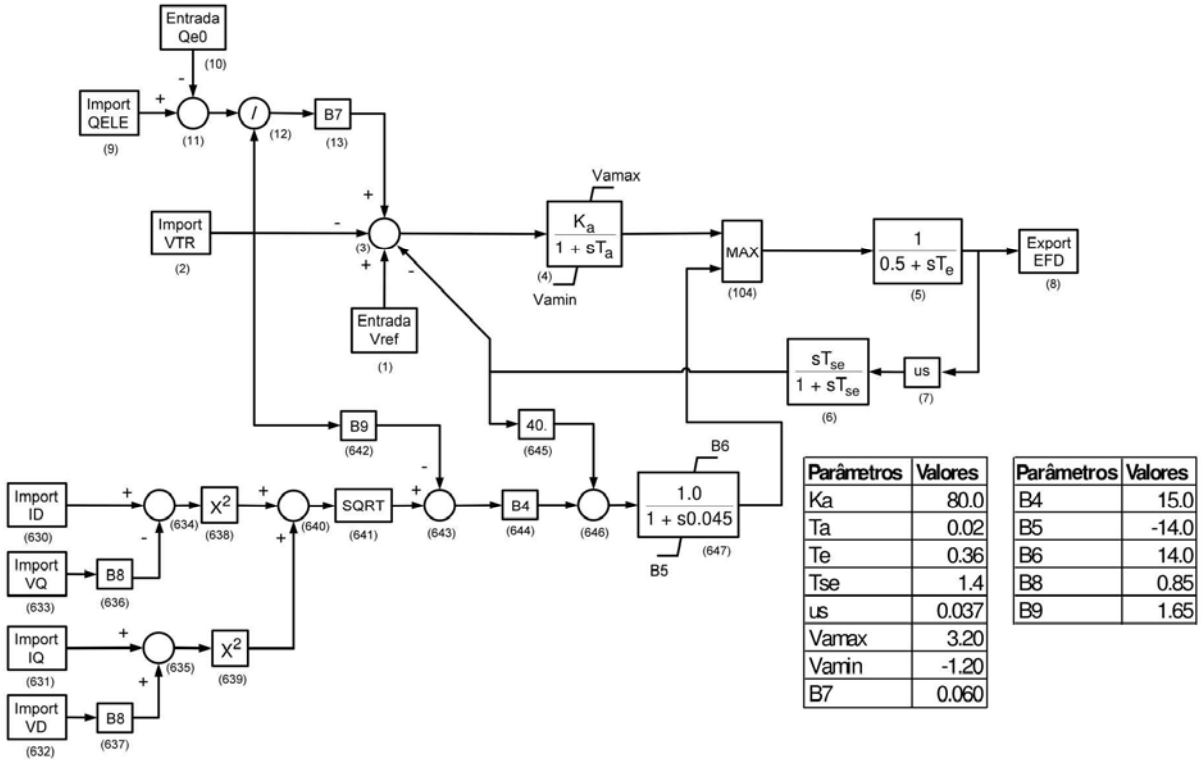
Parâmetros	
B7	0.05
Ka	50.0
Ke	1.0
Te	0.01
Vamax	4.0
Vamin	-4.0

Usina: UHE Jaguará

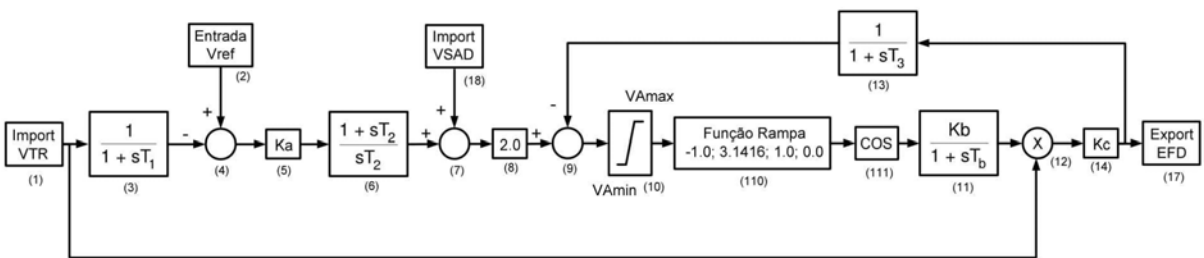


Parâmetros	Valores
Aex	0.00011
Bex	4.1467
Ka	50.29
Ke	1.72
Kq1	3.2
Kq2	-3.2
Ta	0.183
Te	0.33
Tse	0.47
us	0.049
VAmáx	4.83
VAmín	-0.667

Usina: UHE Luiz Carlos Barreto



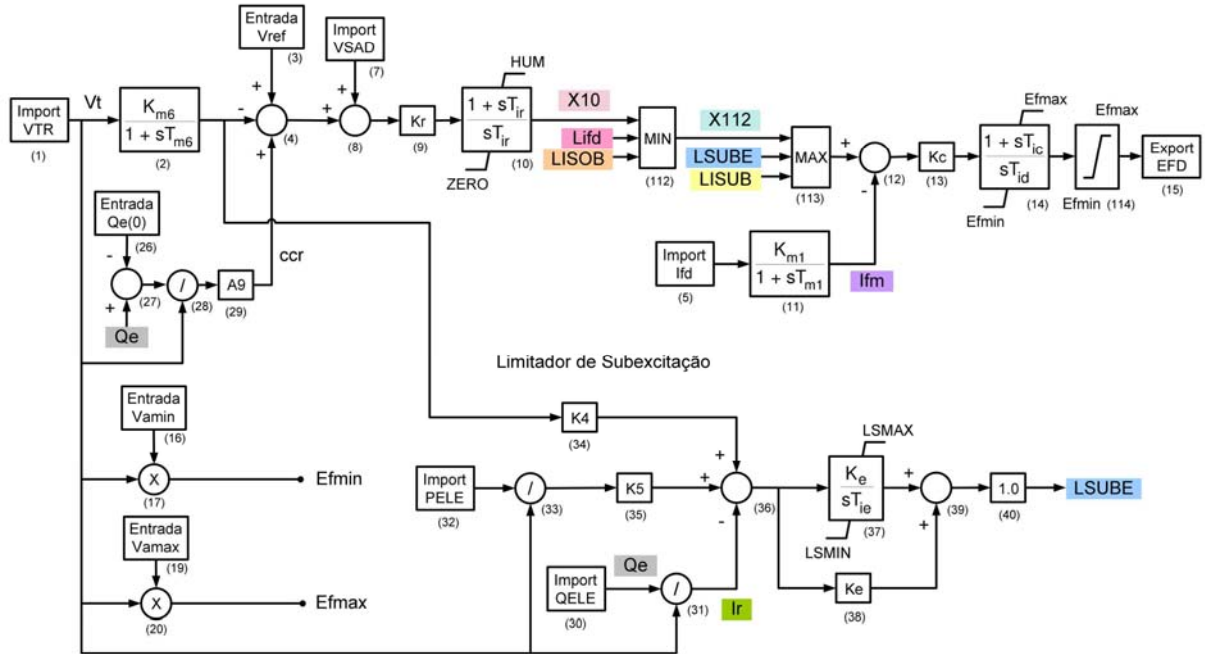
Usina: UHE Machadinho



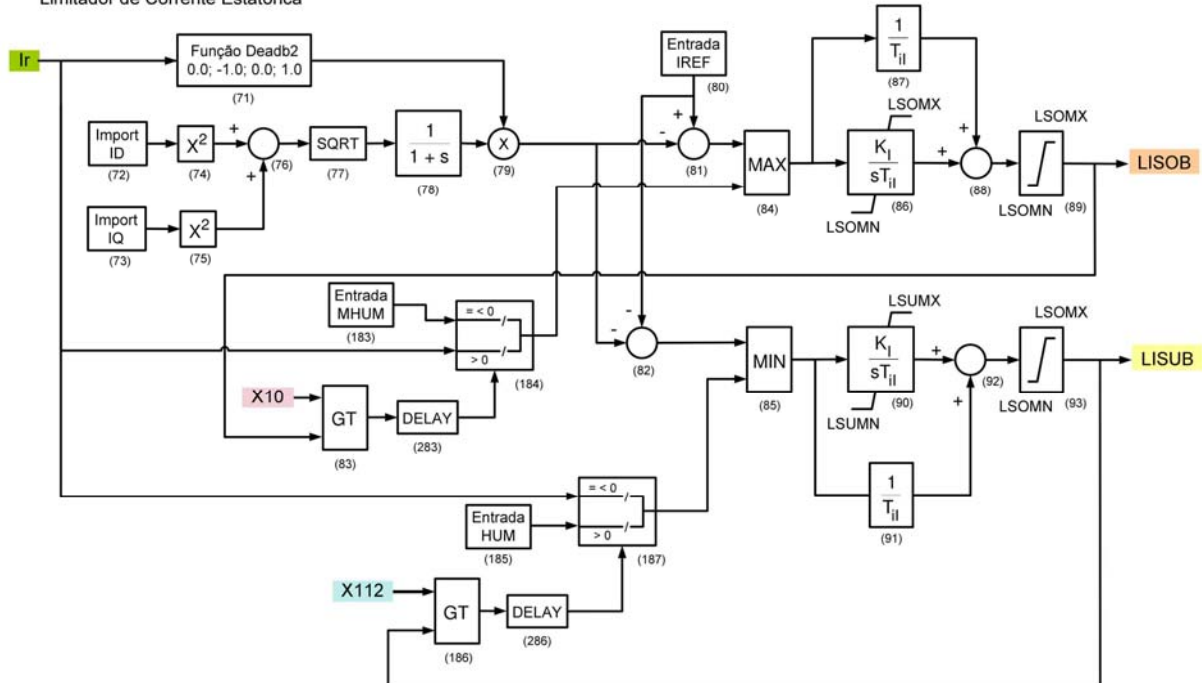
Parâmetros	Valores
K_a	10.0
K_b	3.0
K_c	1.0
T_1	0.02
T_2	0.50
T_3	0.02
T_b	0.0014
V_{Amax}	1.00
V_{Amin}	-1.00

Usina: UHE Manso

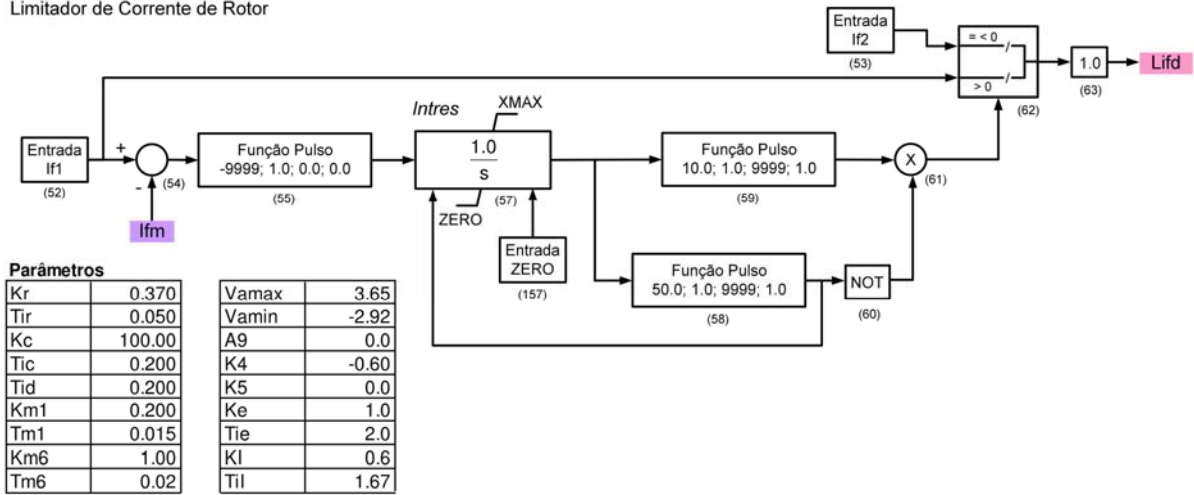
Canal Principal e Compensação de corrente reativa



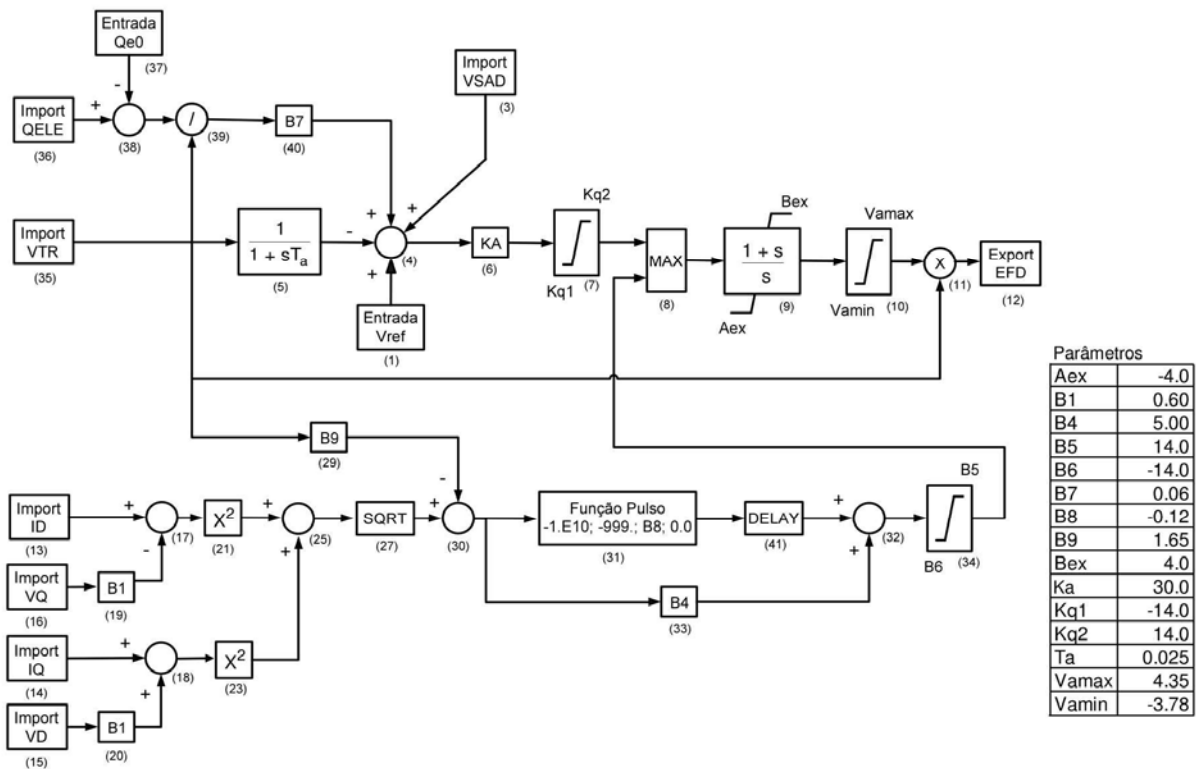
Limitador de Corrente Estática

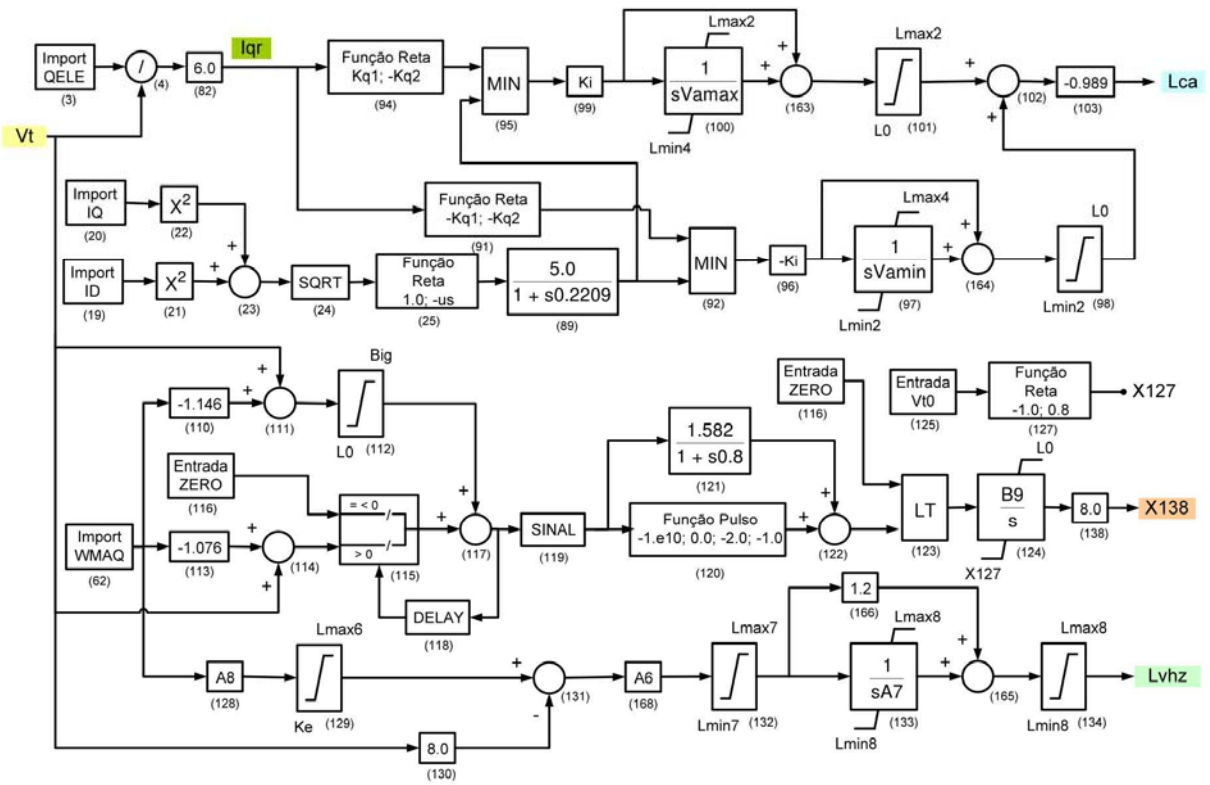


Limitador de Corrente de Rotor



Usina: UHE Marimbondo



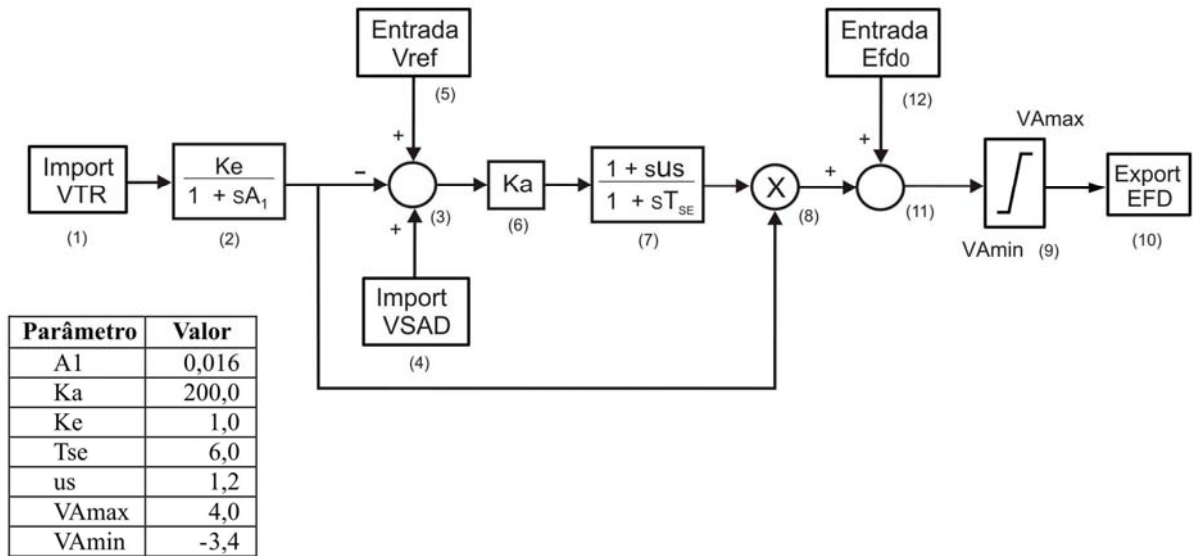


Parâmetros	Valor
A6	-10.0558
A7	1.3942
A8	8.8
A9	-5.0
Aex	7.04
B8	1.9613
B9	-0.007
Bex	4.097
Ka	-9.45
Ke	7.92
Ki	0.25
Kp	0.7981
Kq1	0.5152
Kq2	0.47
Ta	1.41
Te	0.025
Tq	3.0773
Tse	0.006
us	1.1
Vamax	1.731
Vamin	1.789

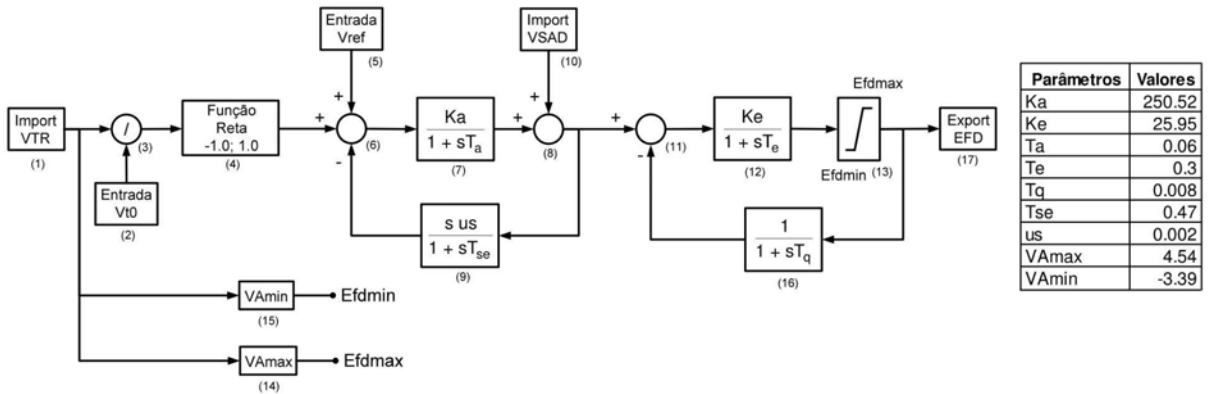
DEFVAL	Valor
A9	A9
Big	1.e10
Efdmax	4.16
Efdmin	-4.16
Ke	Ke
L0	0.0
Lma12	12.0
Lmax1	0.0
Lmax2	12.0
Lmax3	0.6
Lmax4	1.0
Lmax5	2.025
Lmax6	8.8
Lmax7	10.1
Lmax8	9.91
Lmax9	5.0
Lmi12	-12.0
Lmin1	-15.0
Lmin2	-12.0
Lmin4	-1.0
Lmin5	-6.75

DEFVAL	Valor
Lmin7	-10.1
Lmin8	-9.85
Lmin9	-7.0
Rvhz	0.0
Vref	Vt
Vt0	Vt
X100	Lmin4
X108	A9
X115	0.0
X133	Lmin8
X88	Lmax3
X97	Lmax4
Zero	0.0

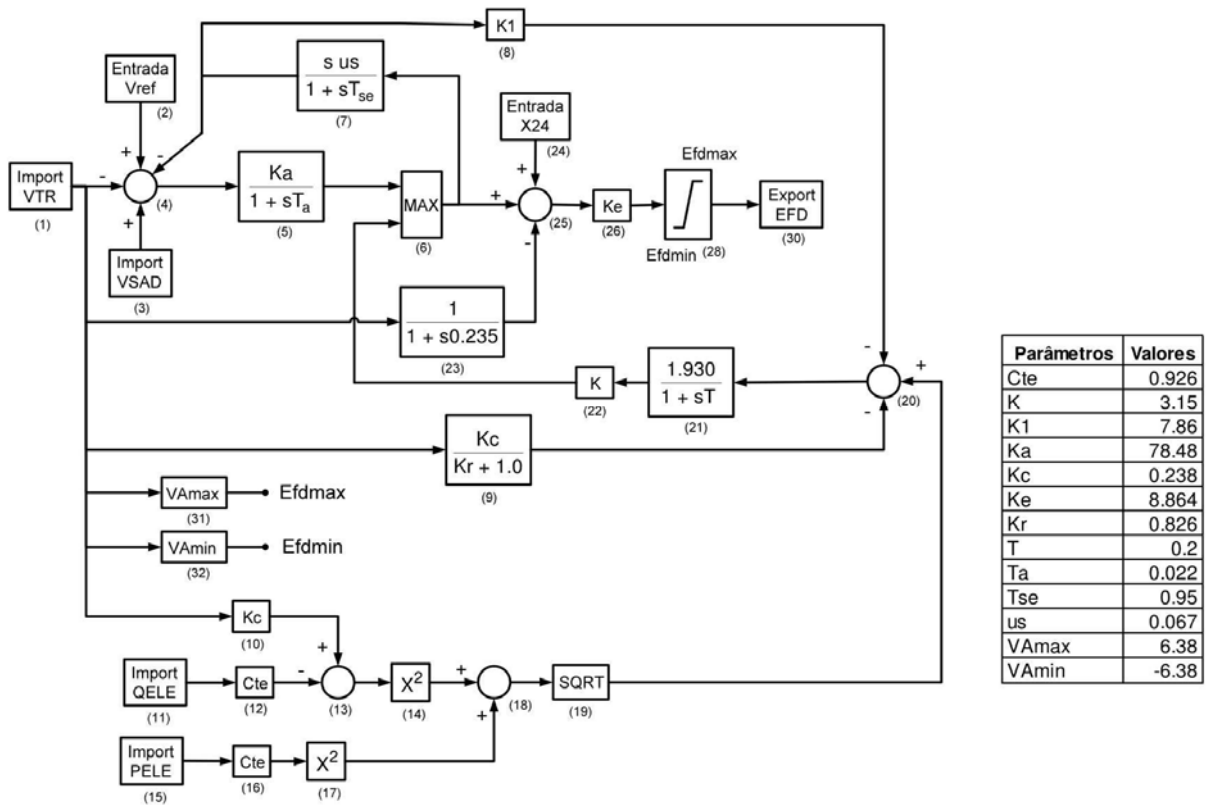
Usina: UHE Salto Caxias



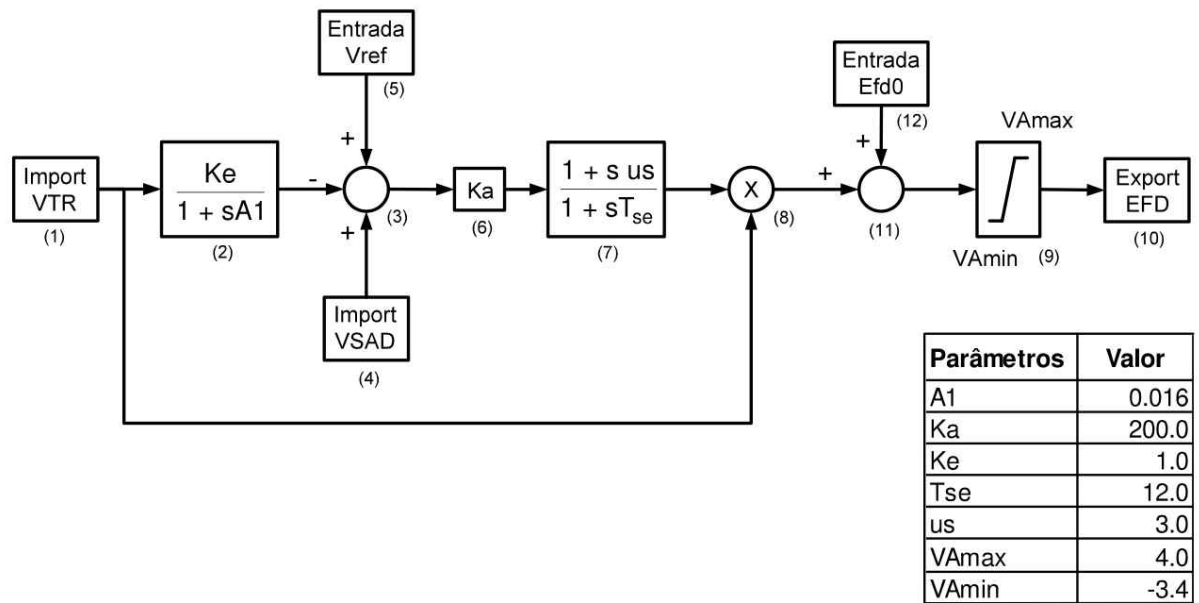
Usina: UHE Salto Osório



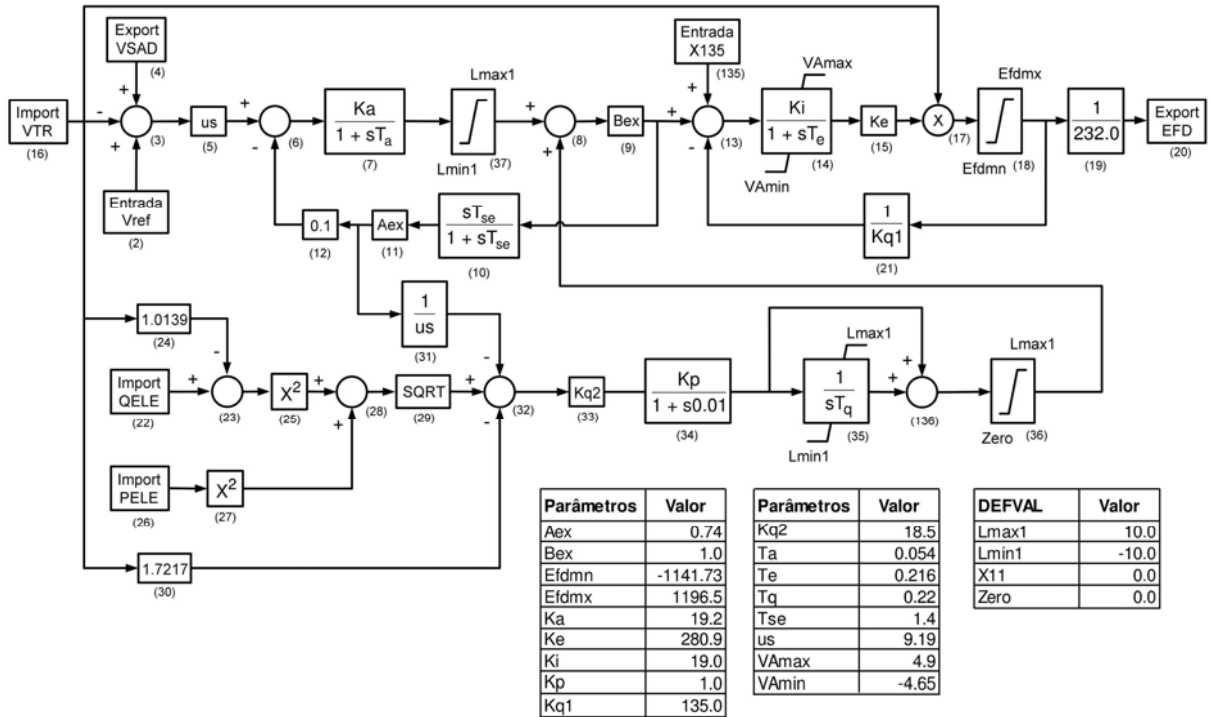
Usina: UHE Salto Santiago



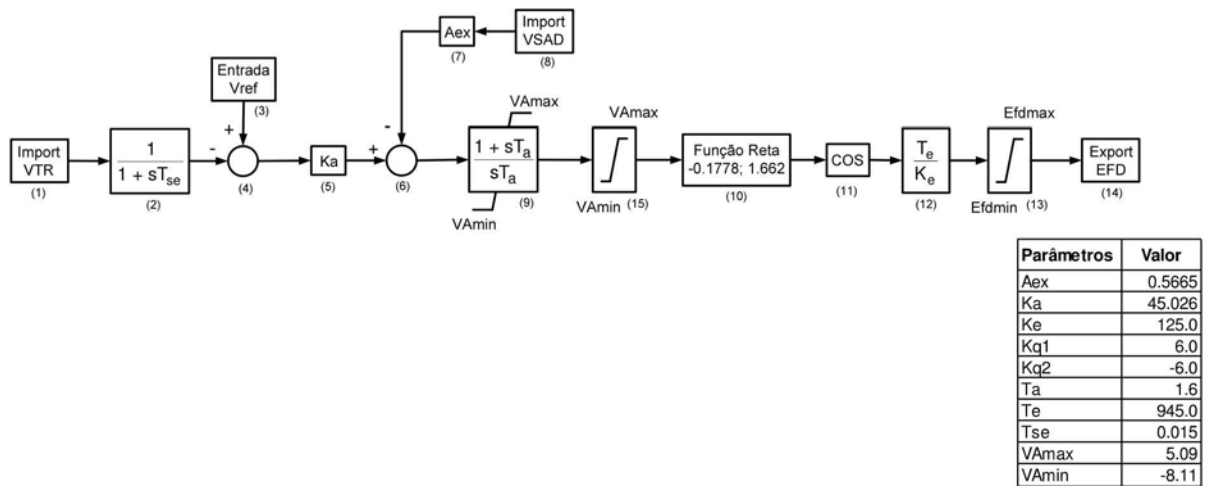
Usina: UHE Salto Segredo



Usina: UHE São Simão

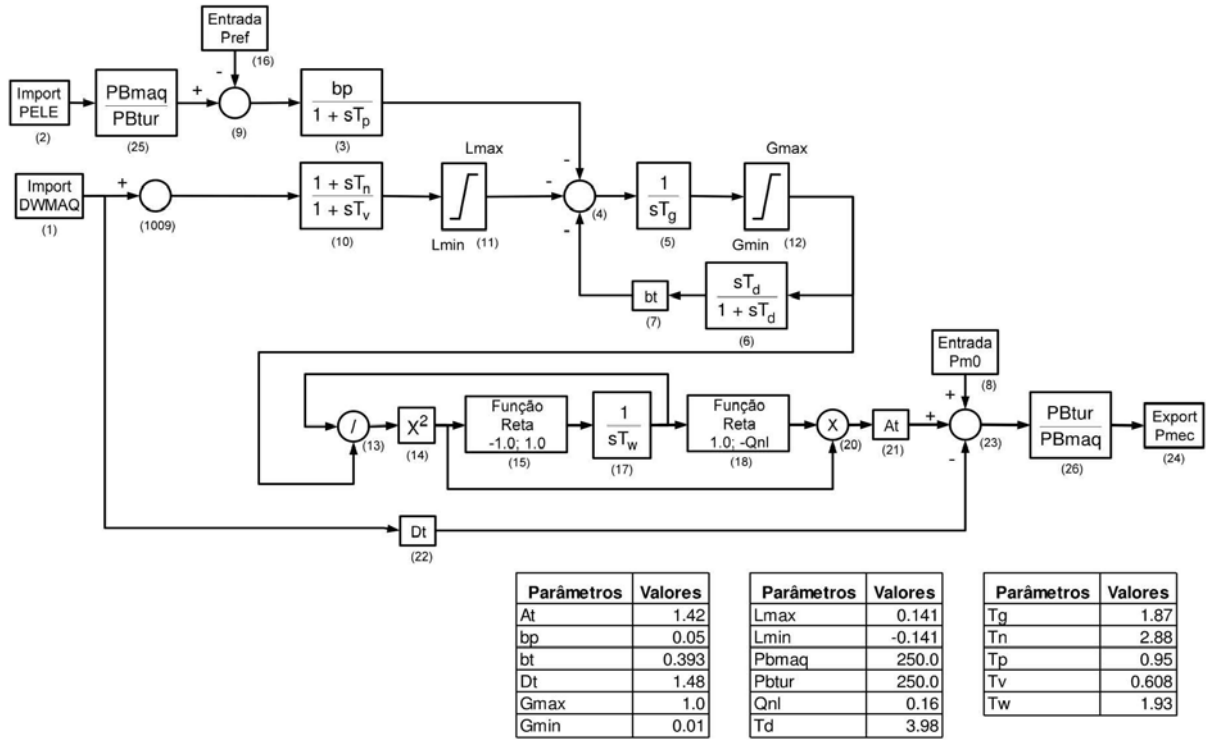


Usina: UHE Volta Grande

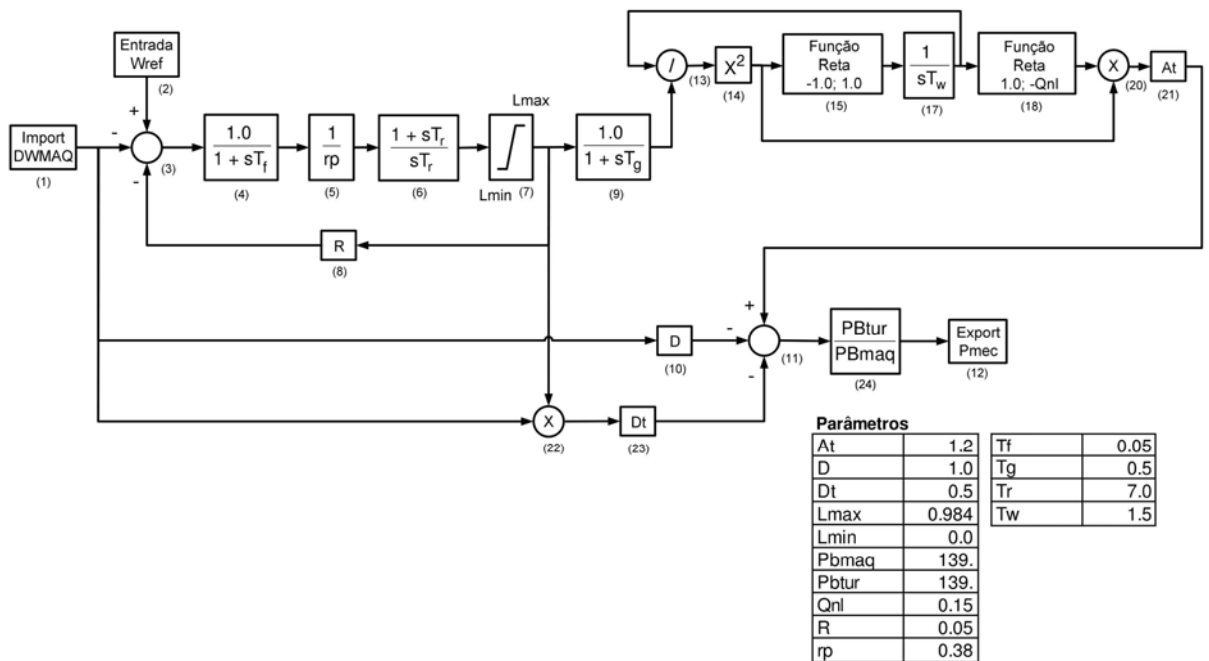


A-5.9.2 Reguladores de Velocidade

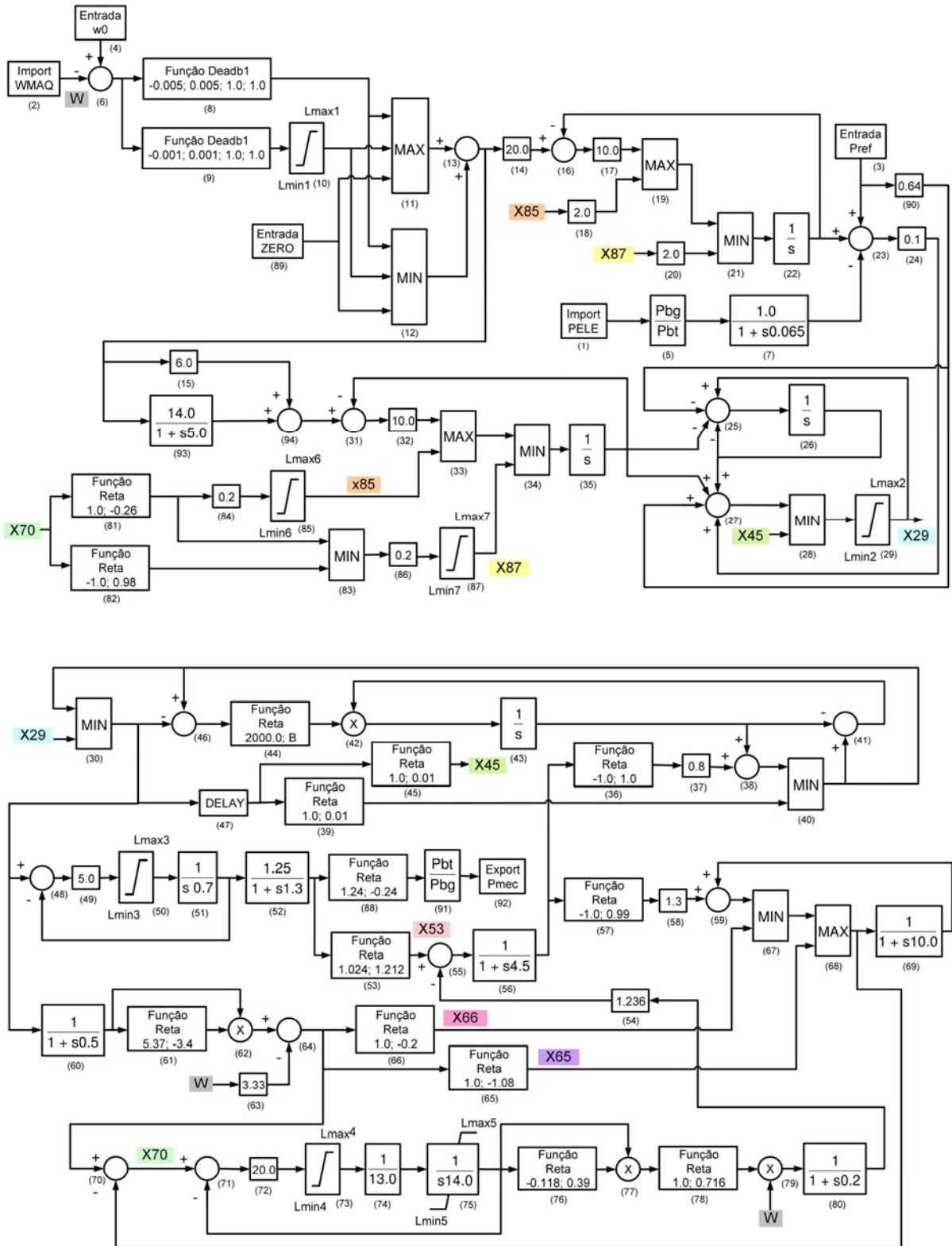
Usina: UHE Água Vermelha

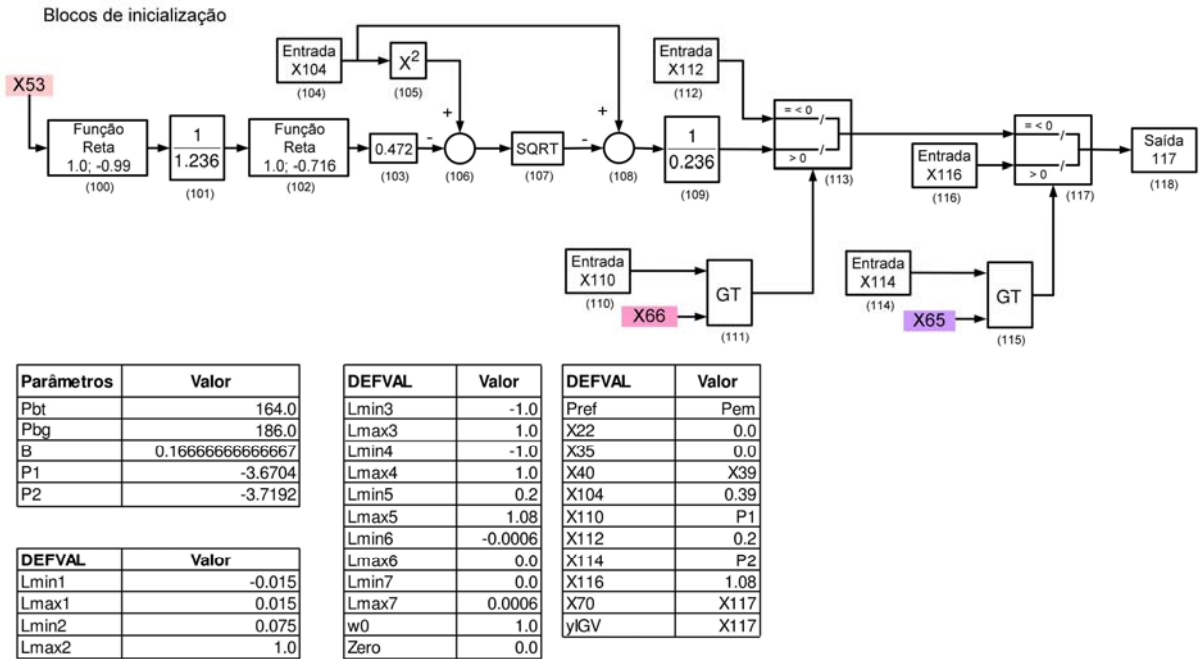


Usina: UHE Corumbá

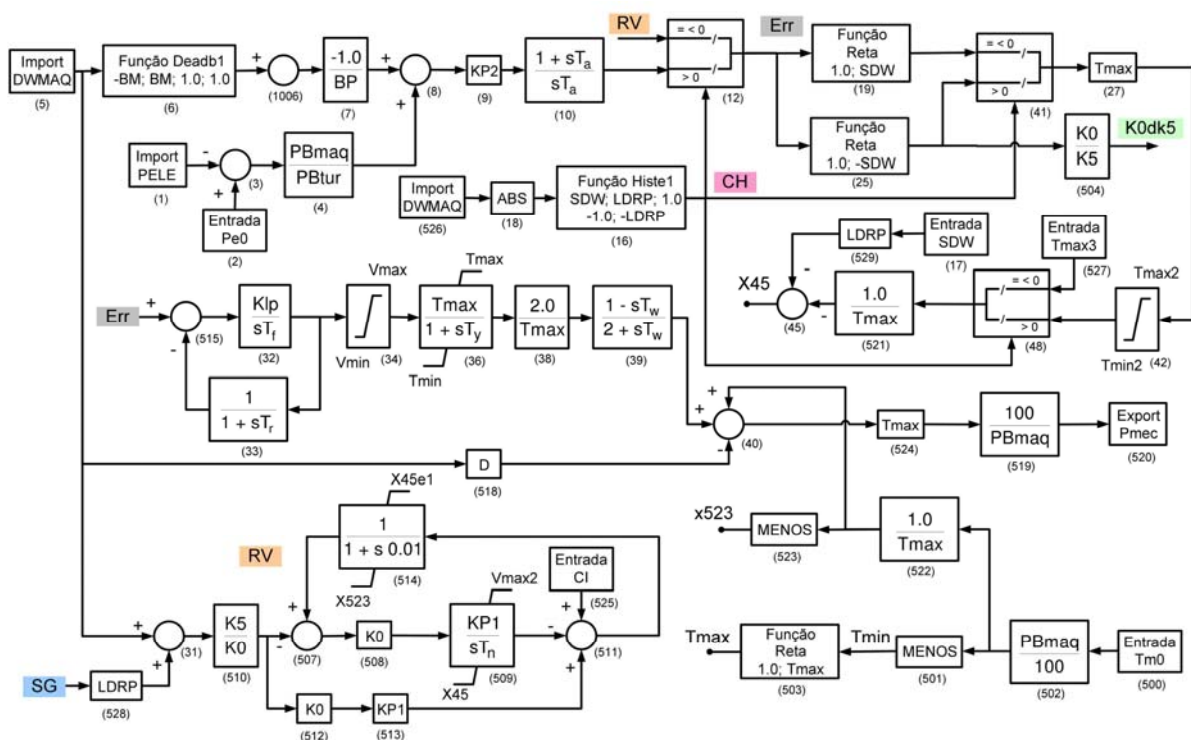


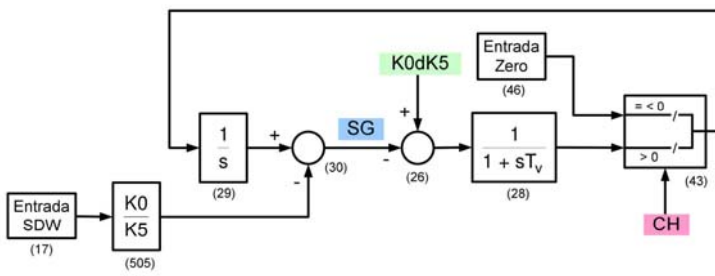
Usina: UTE Cuiabá





Usina: UHE Emborcação

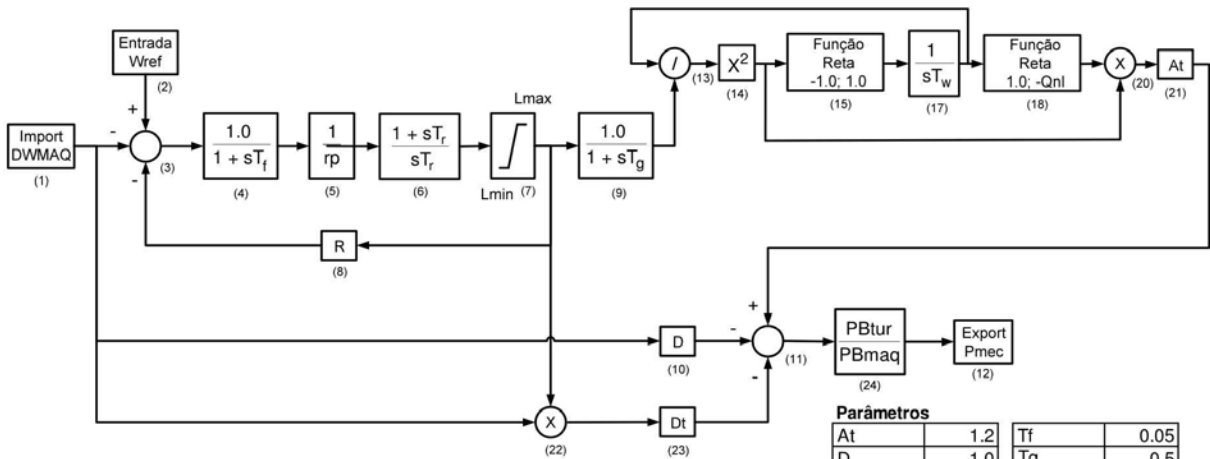




Parâmetros	Valores
BM	0.0008
BP	0.05
D	0.5
K0	0.25
K5	5.0
Klp	4.1
KP1	0.4046
KP2	0.2
LDRP	1.0
PBmaq	313.6
PBtur	270.0
SDW	0.02
Ta	1.1
Tf	0.7
Tmax	2.98
Tn	3.8
Tr	0.09
Tv	4.7

Parâmetros	Valores
Tw	1.55
Ty	0.25
Vmax	1.0
Vmin	-1.0

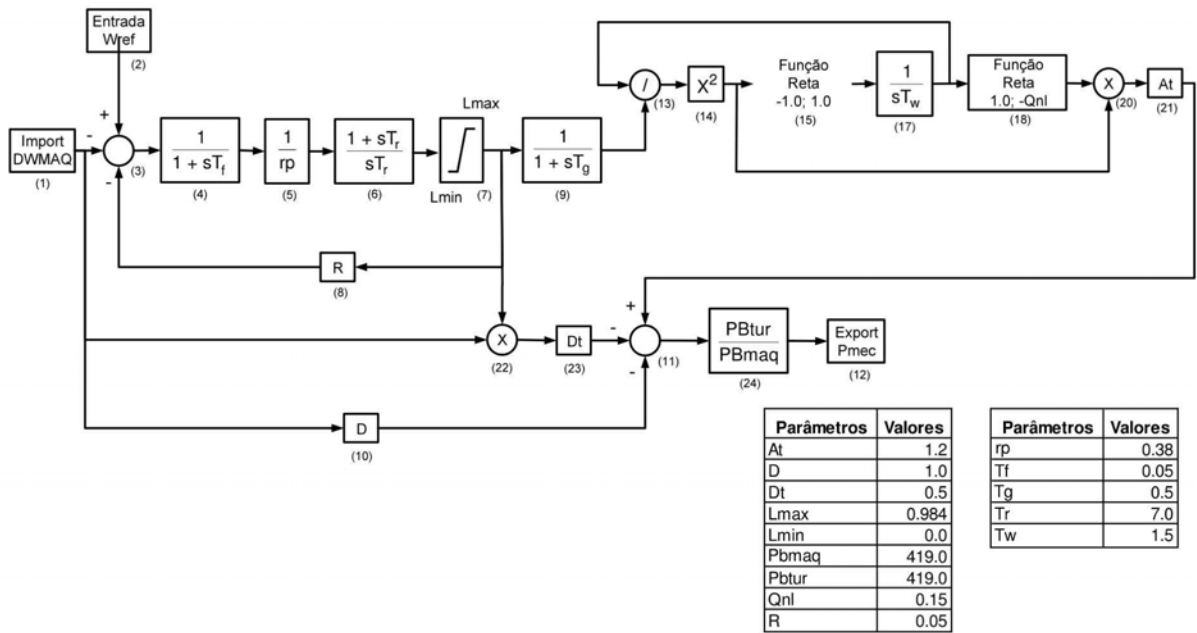
Usina: UHE Furnas



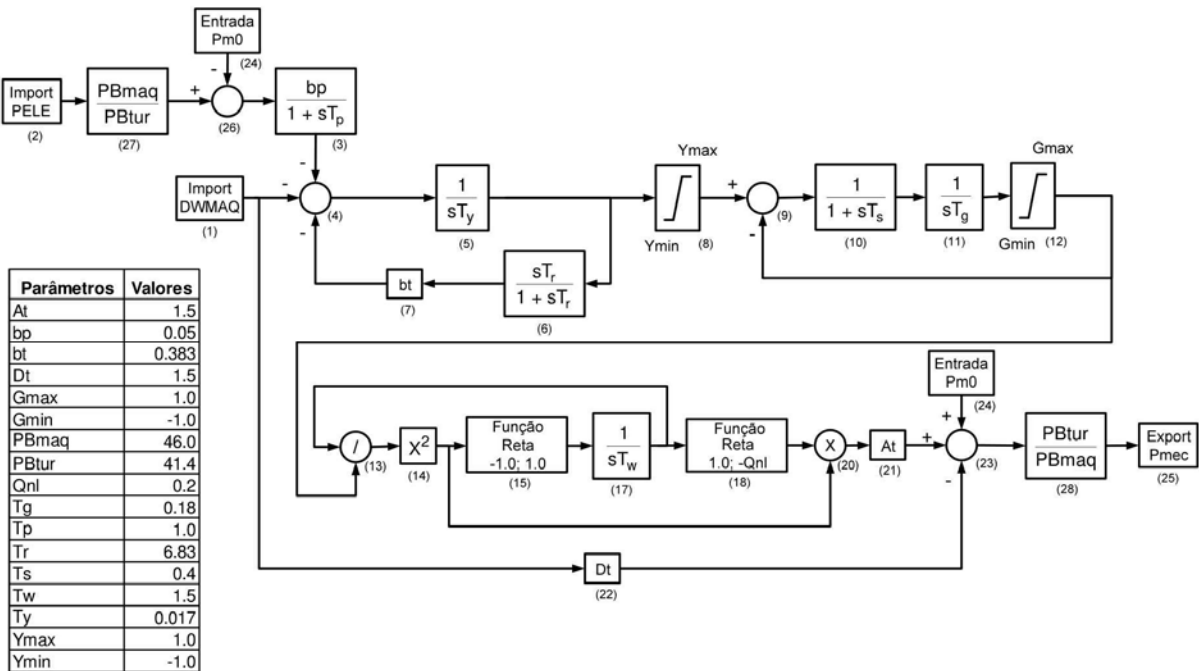
Parâmetros	
At	1.2
D	1.0
Dt	0.5
Lmax	0.984
Lmin	0.0
Pbmaq	164
Pbtur	164
Qnl	0.15
R	0.05
rp	0.38

Tf	0.05
Tg	0.5
Tr	7.0
Tw	1.5

Usina: UHE Governador Bento Munhoz



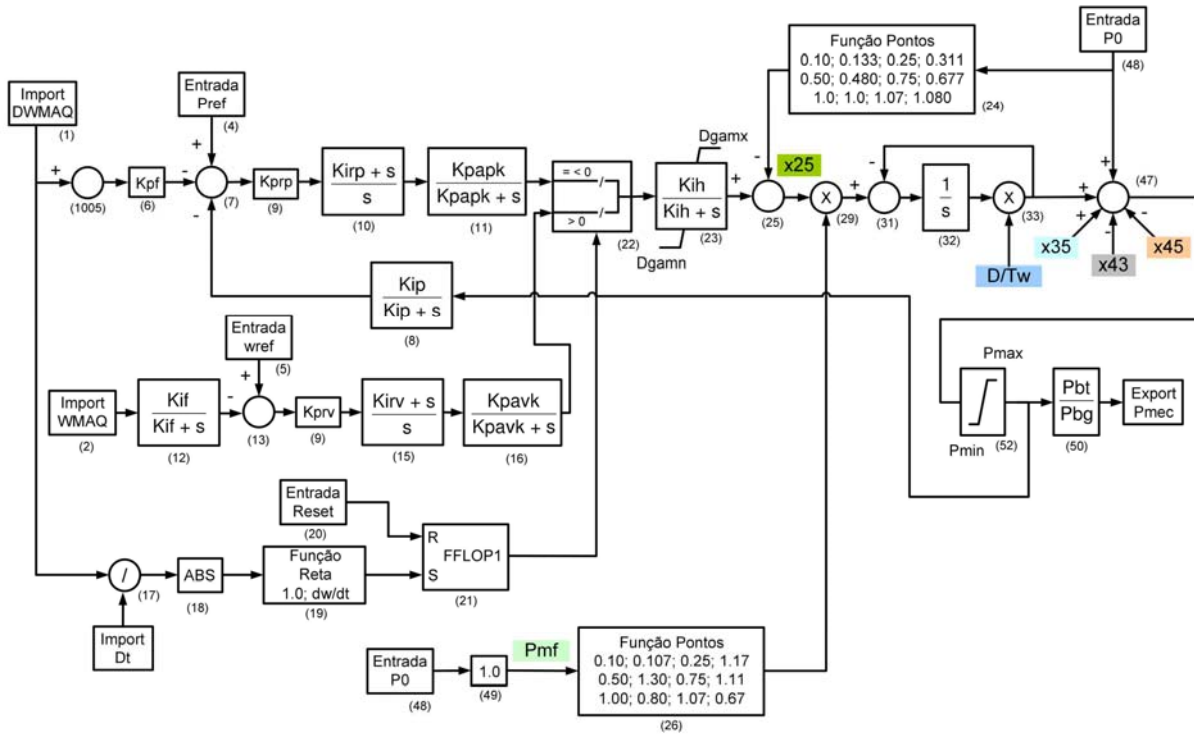
Usina: UHE Guaporé

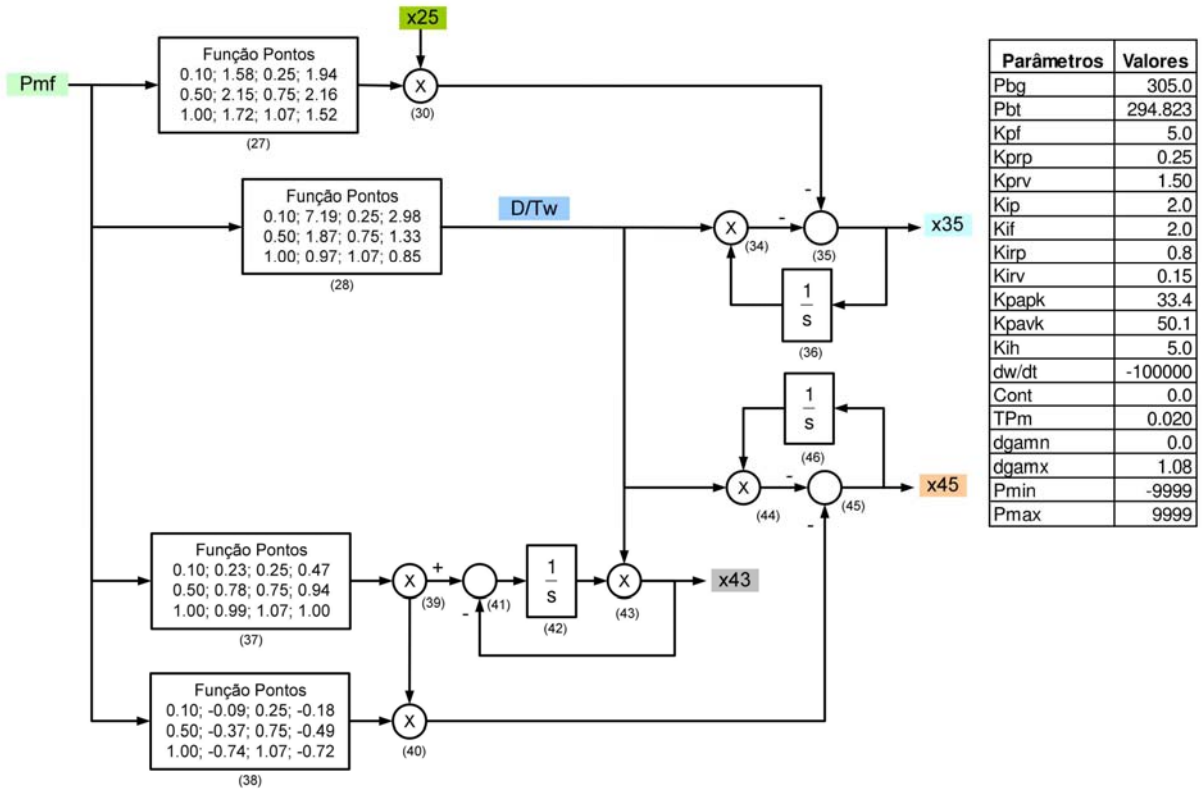


Usina: CS Ibiúna

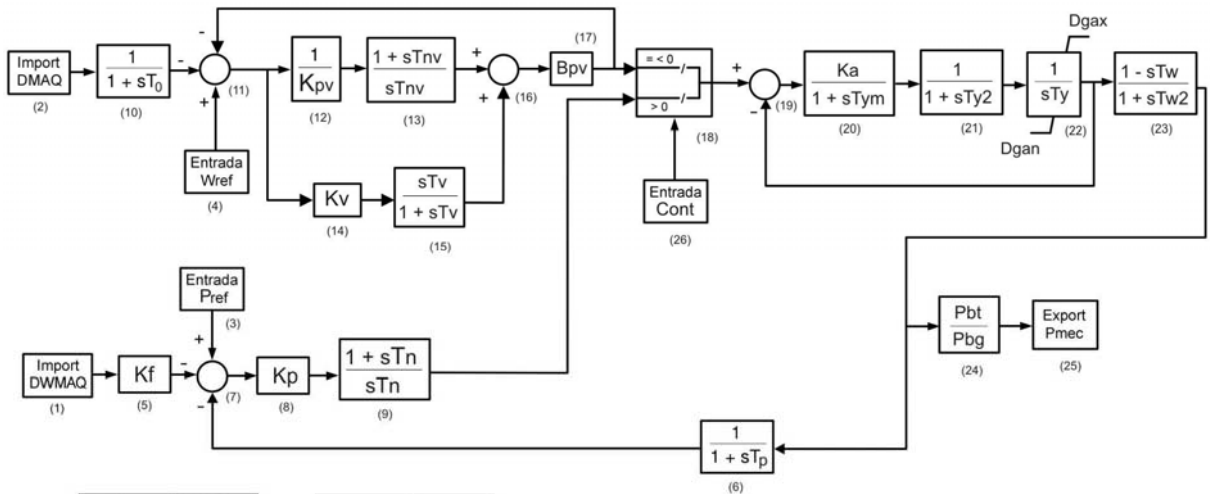
Nota: Este equipamento não possui regulador de velocidade.

Usina: UHE Itá





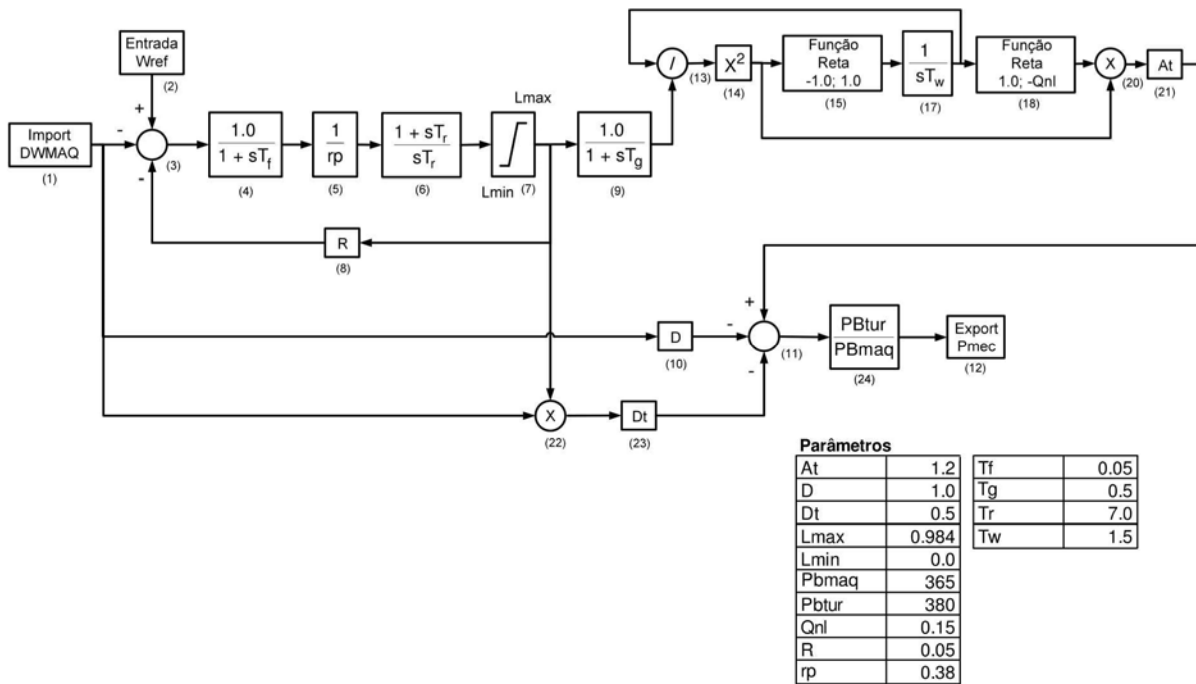
Usina: UHE Itiquira



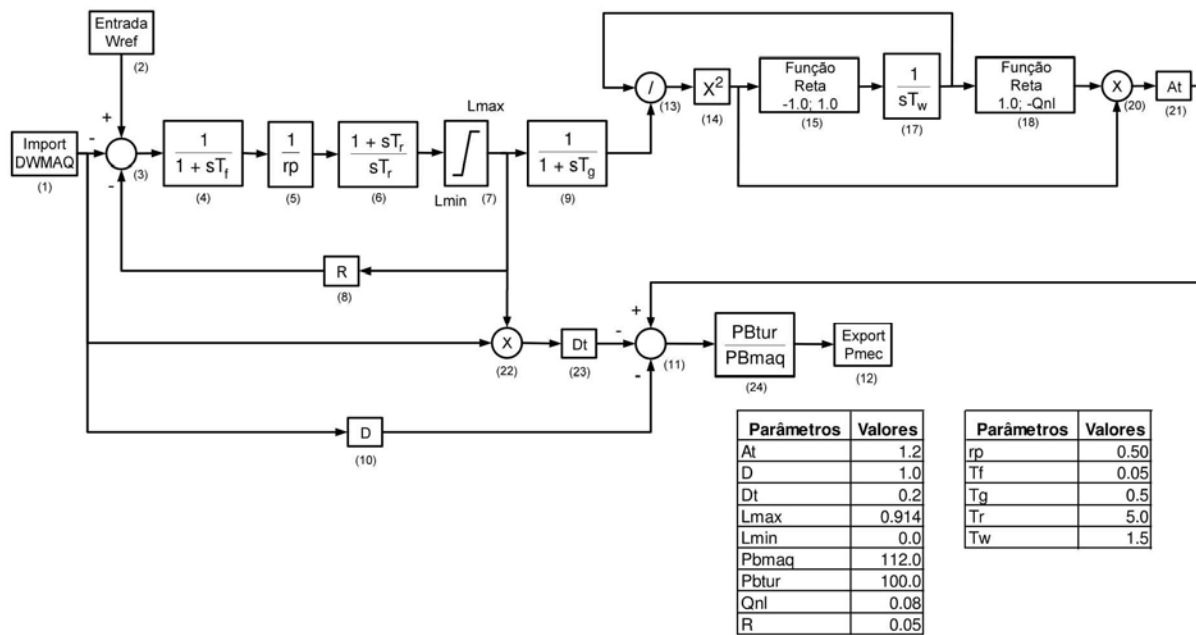
Parâmetro	Valor
K_f	20,0
bp_v	0,05
K_p	0,22
K_{pv}	0,95
T_0	0,05
T_p	0,05
T_n	5,0
T_v	1,0
T_{nv}	15,0
K_a	1,0

Parâmetro	Valor
T_{ym}	0,05
T_y	0,2
T_{y2}	0,10
K_v	0,0
Cont	1,0
P_{bq}	33,8
P_{bt}	31,2
T_w	1,71
T_{w2}	0,855

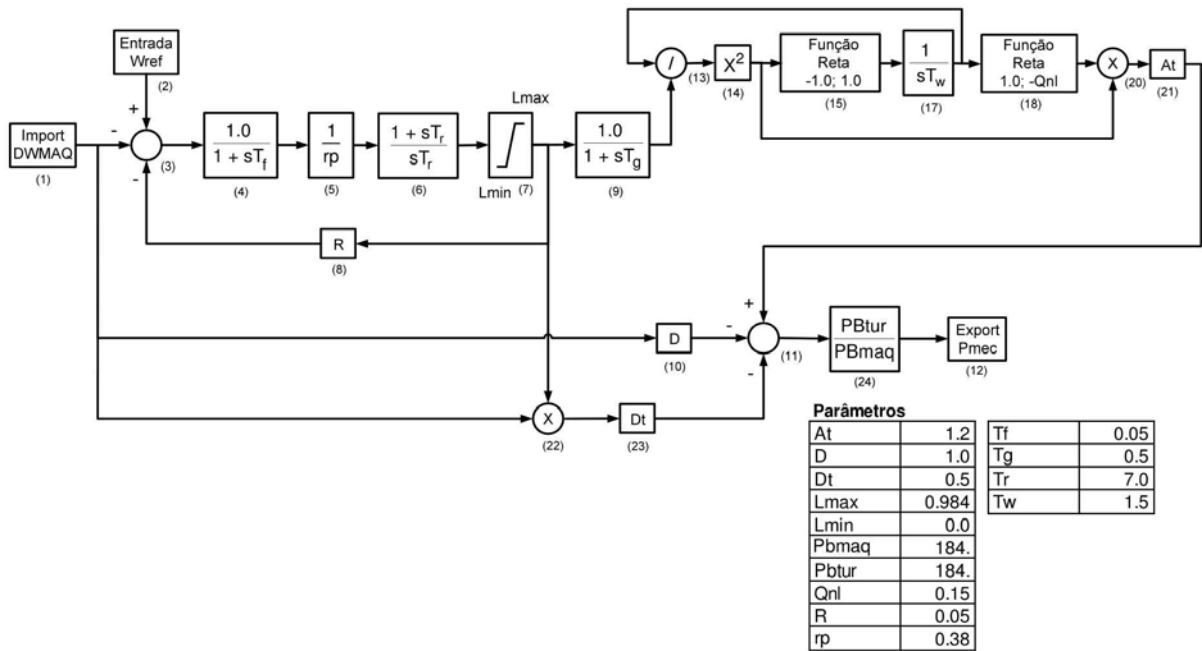
Usina: UHE Itumbiara



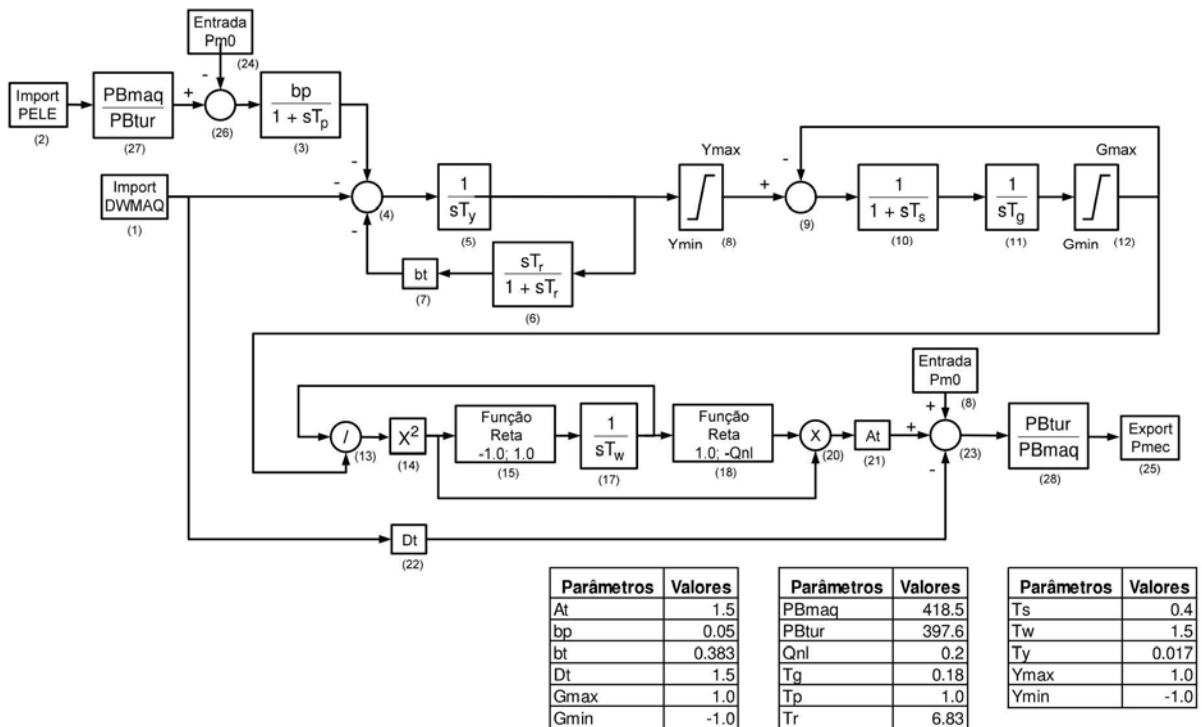
Usina: UHE Jaguará



Usina: UHE Luiz Carlos Barreto

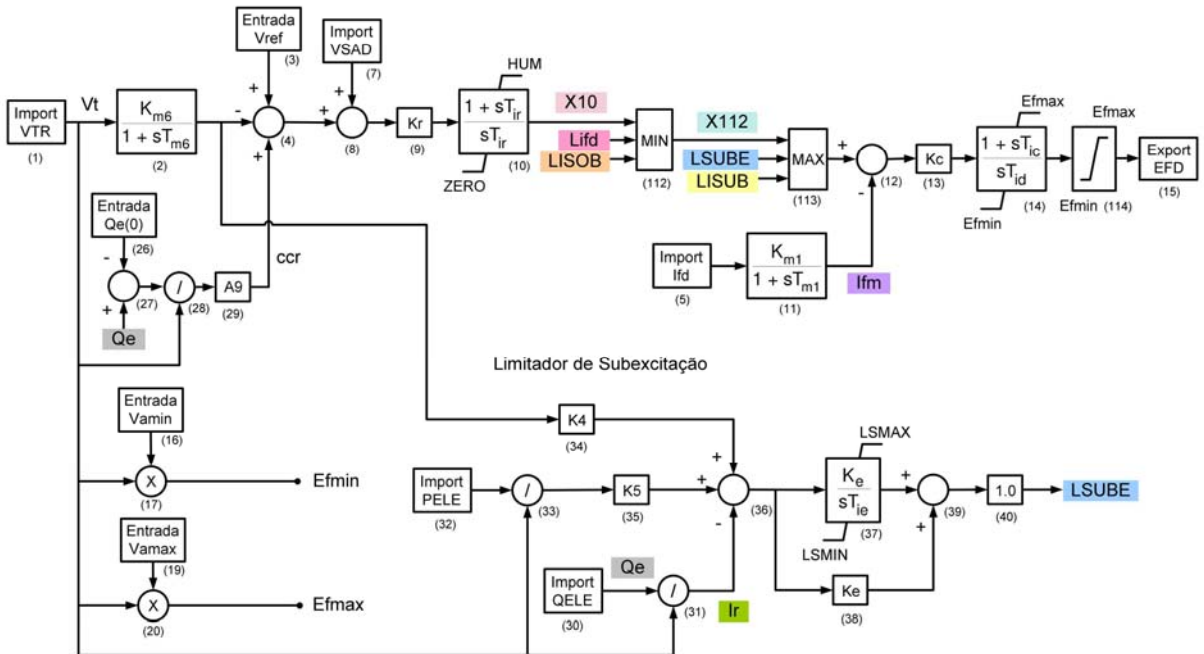


Usina: UHE Machadinho

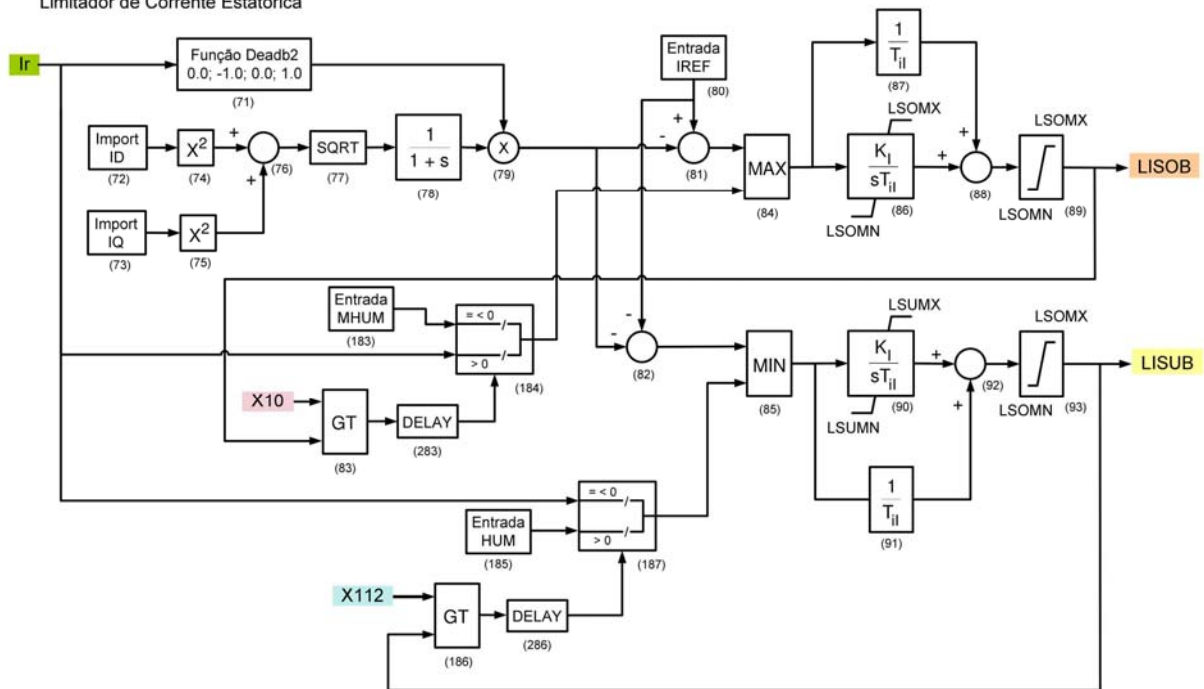


Usina: UHE Manso

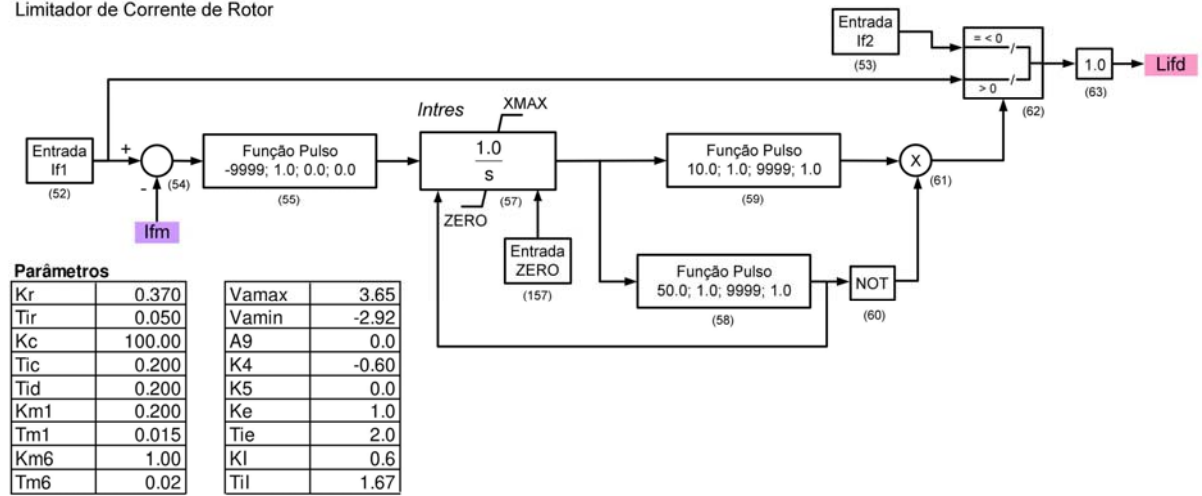
Canal Principal e Compensação de corrente reativa



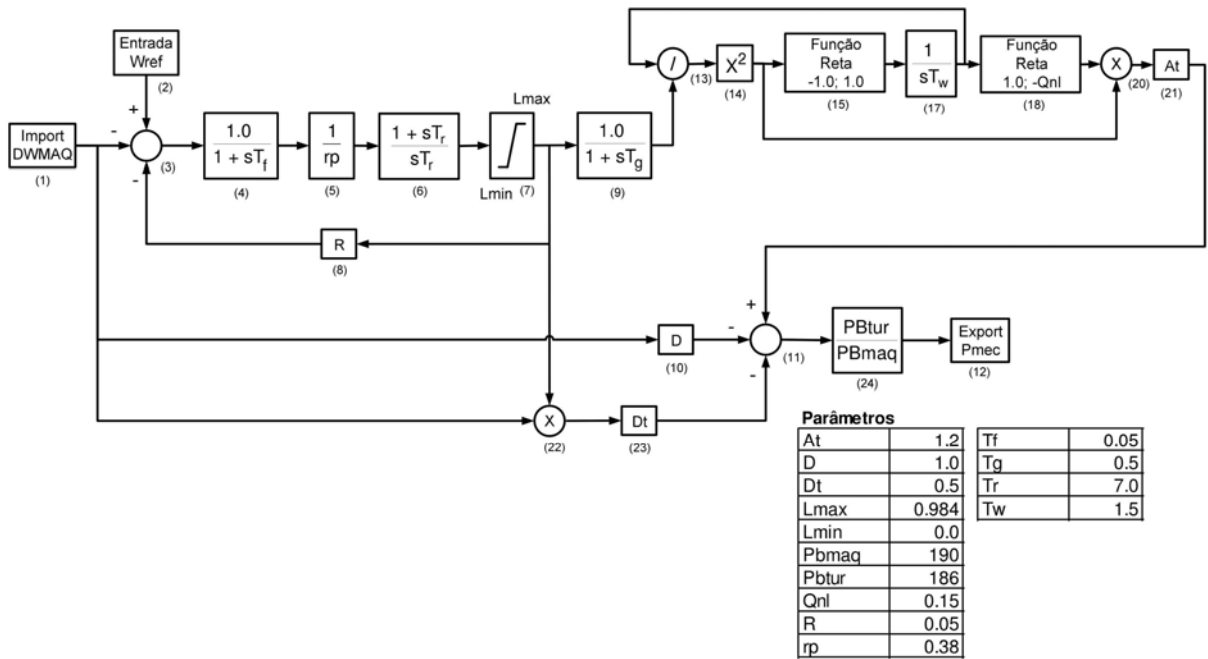
Limitador de Corrente Estática

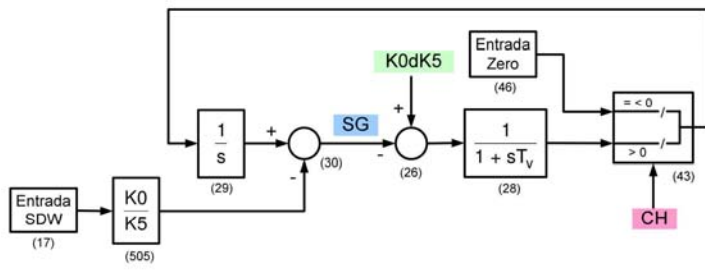


Limitador de Corrente de Rotor



Usina: UHE Marimbondo

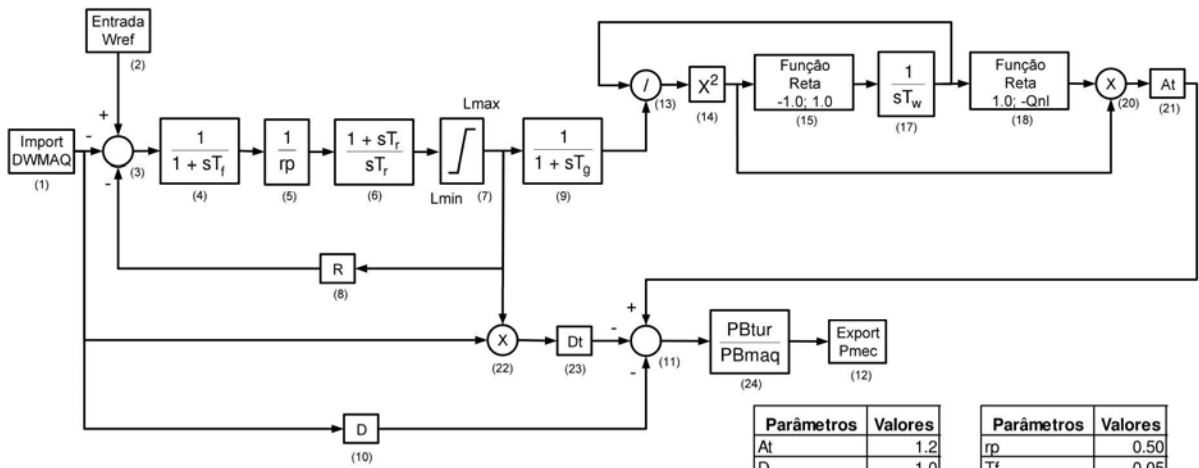




Parâmetros	Valores
BM	0.0008
BP	0.05
D	0.5
K0	0.25
K5	5.0
Klp	4.1
KP1	0.4046
KP2	0.2
LDRP	1.0
PBmaq	179.0
PBtur	170.0
SDW	0.02
Ta	1.1
Tf	0.7
Tmax	1.733
Tn	3.8
Tr	0.09
Tv	4.7

Parâmetros	Valores
Tw	2.40
Ty	0.25
Vmax	1.0
Vmin	-1.0

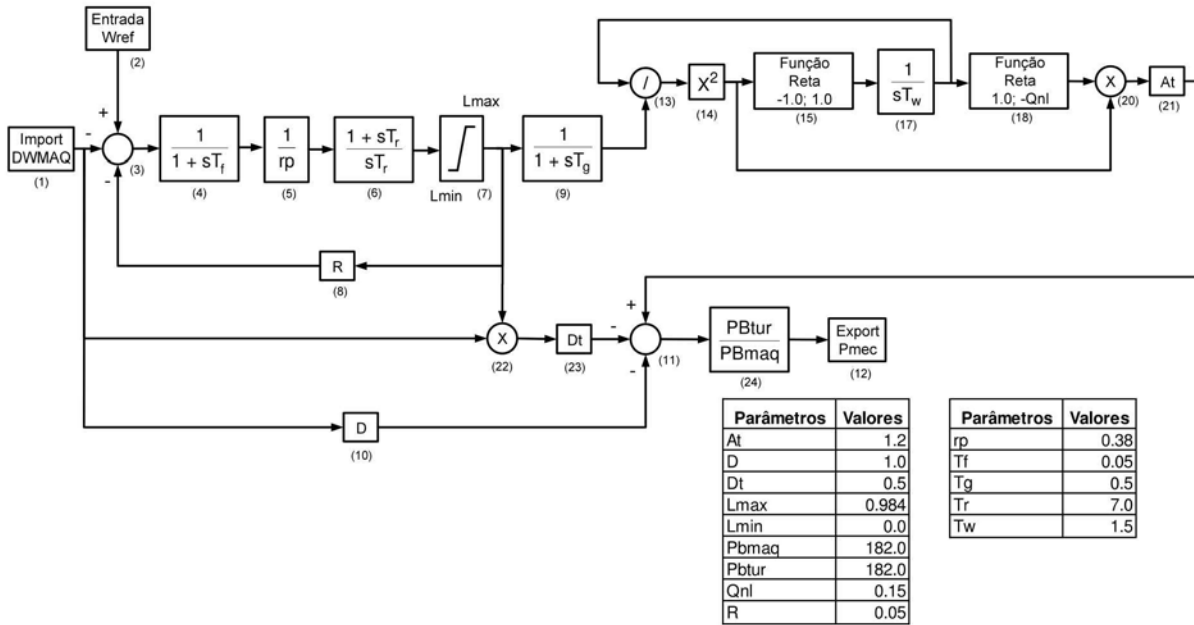
Usina: UHE Salto Casias



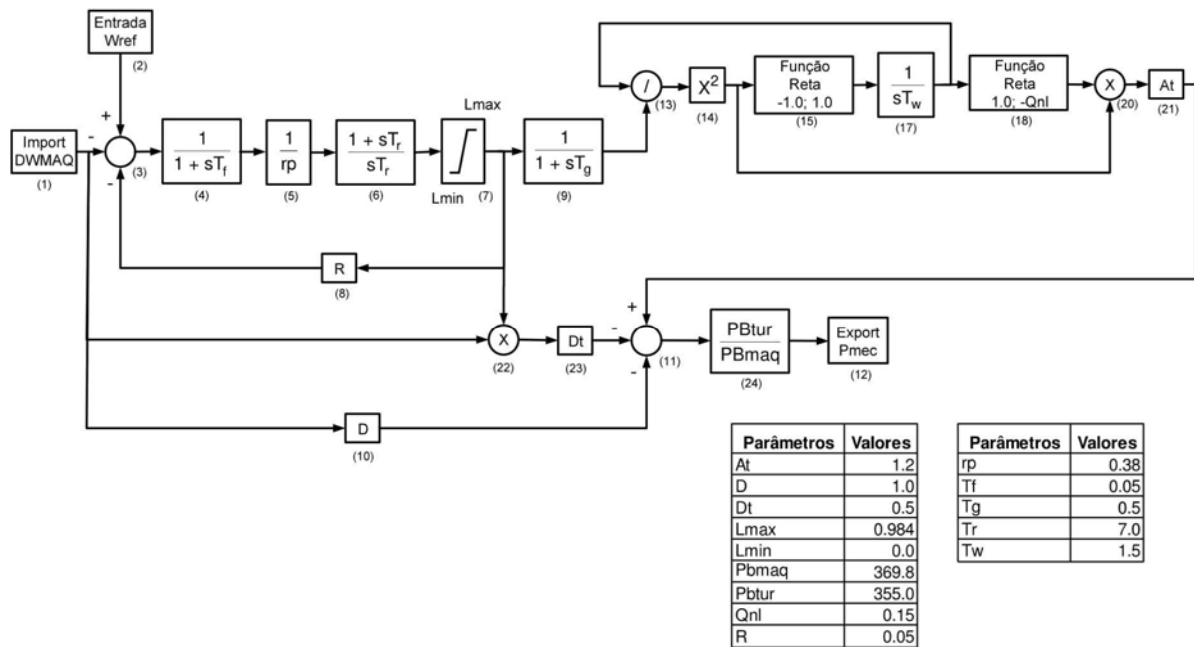
Parâmetros	Valores
At	1.2
D	1.0
Dt	0.5
Lmax	0.986
Lmin	0.0
Pbmaq	345.0
Pbtur	310.0
Qnl	0.15
R	0.05

Parâmetros	Valores
rp	0.50
Tf	0.05
Tg	0.5
Tr	7.0
Tw	1.5

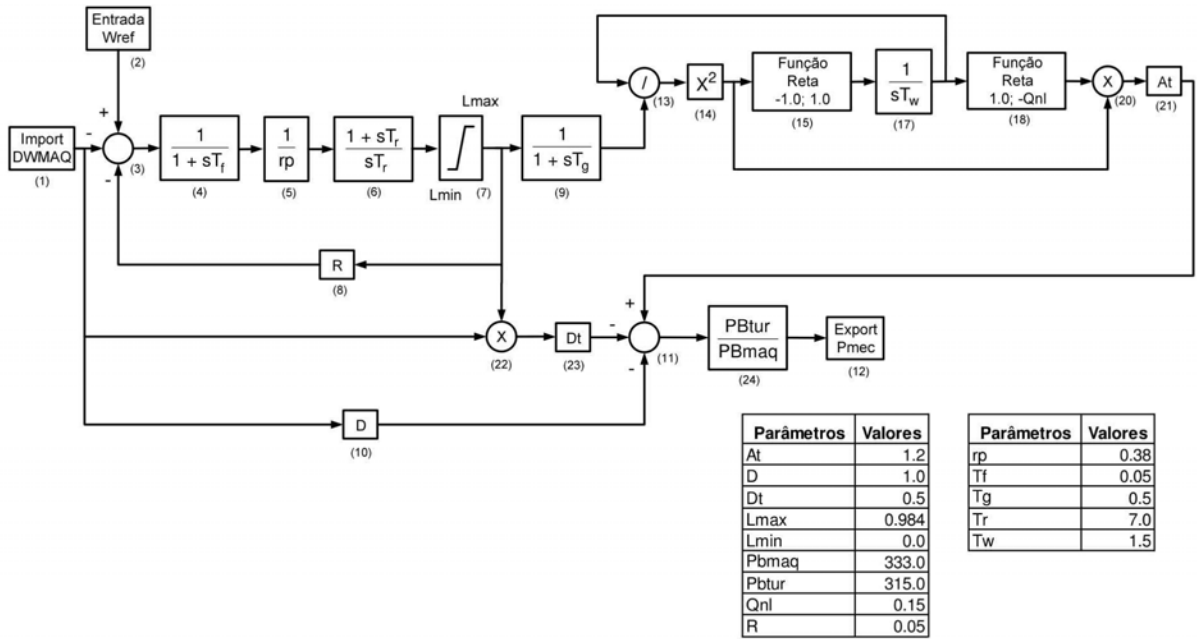
Usina: UHE Salto Osório



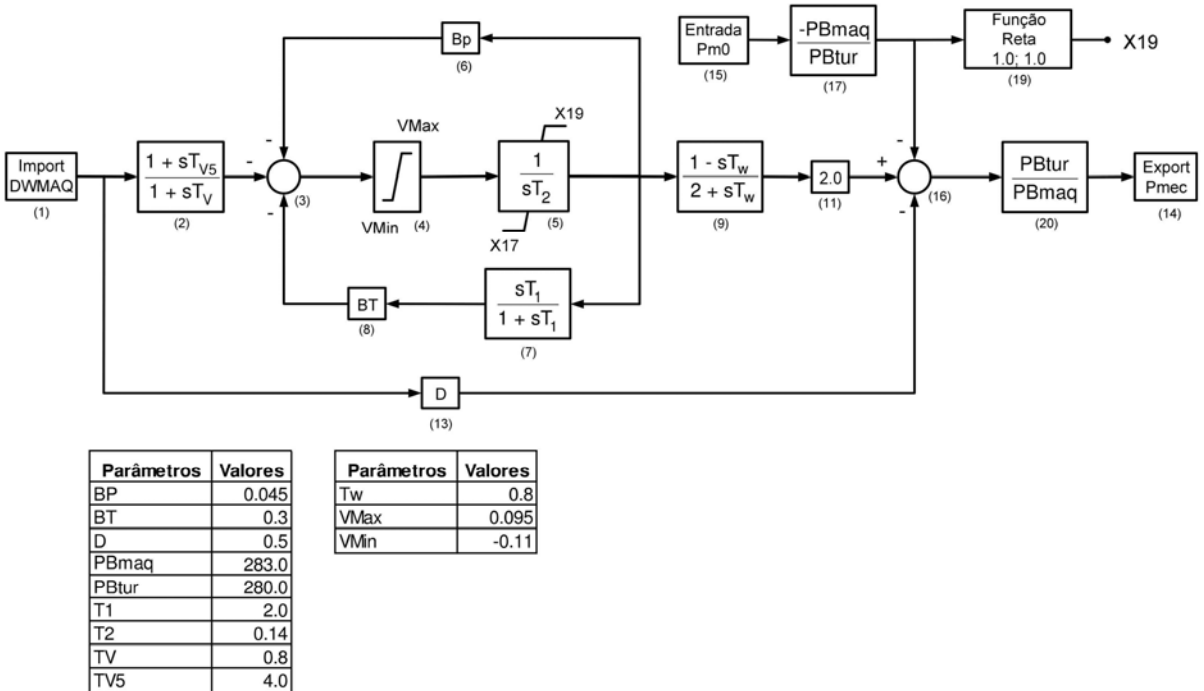
Usina: UHE Salto Santiago



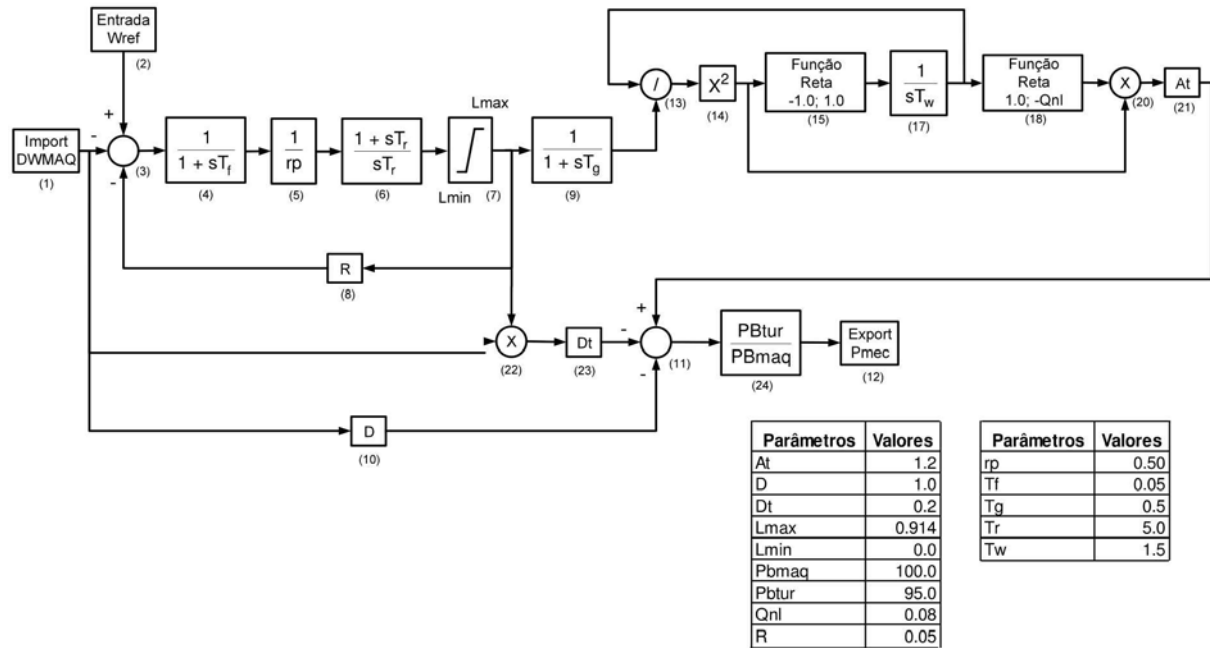
Usina: UHE Salto Segredo



Usina: UHE São Simão

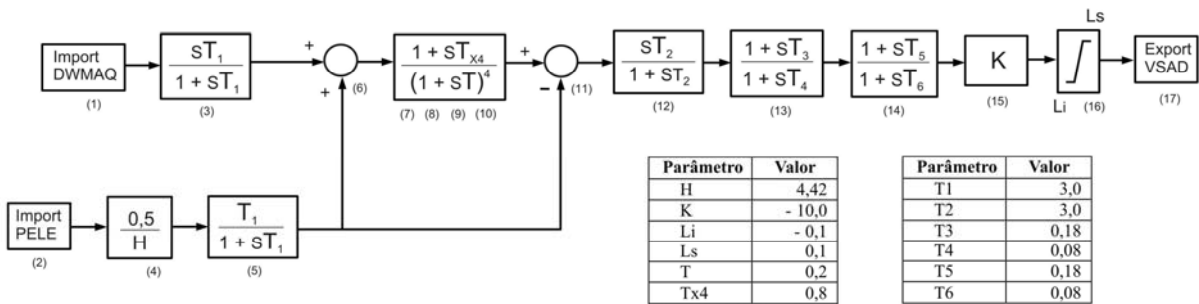


Usina: UHE Volta Grande

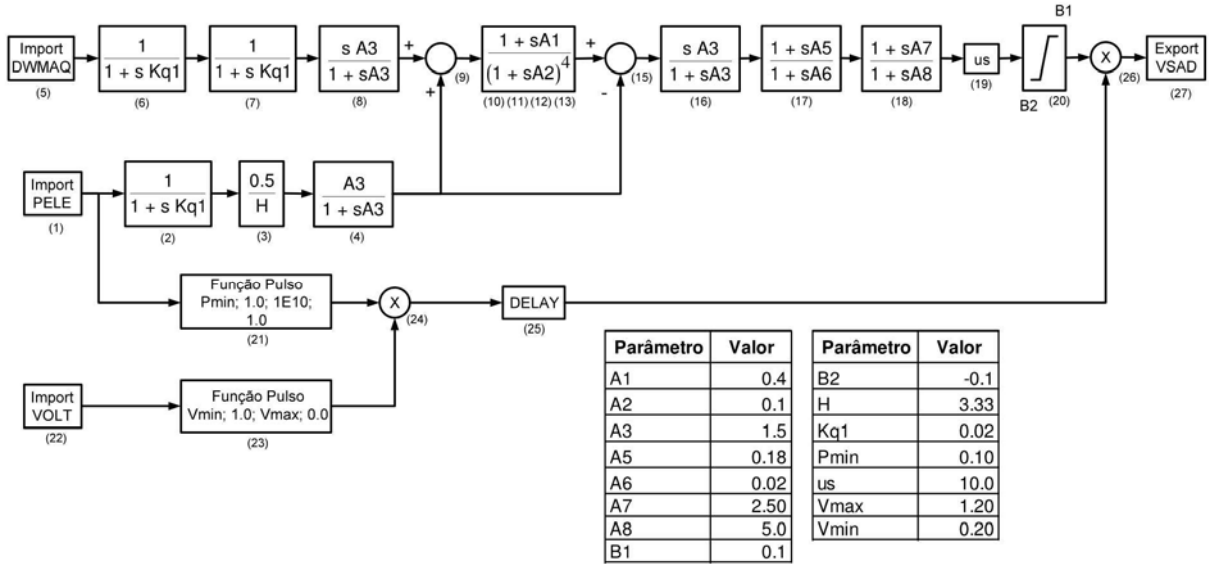


A-5.9.3 Estabilizadores

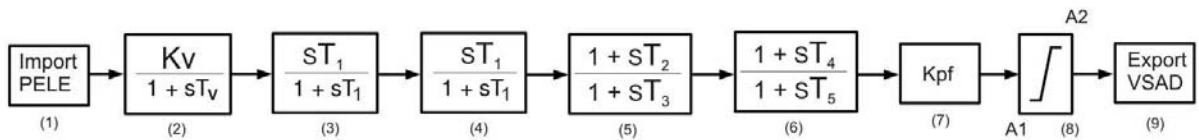
Usina: UHE Água Vermelha



Usina: UHE Corumbá

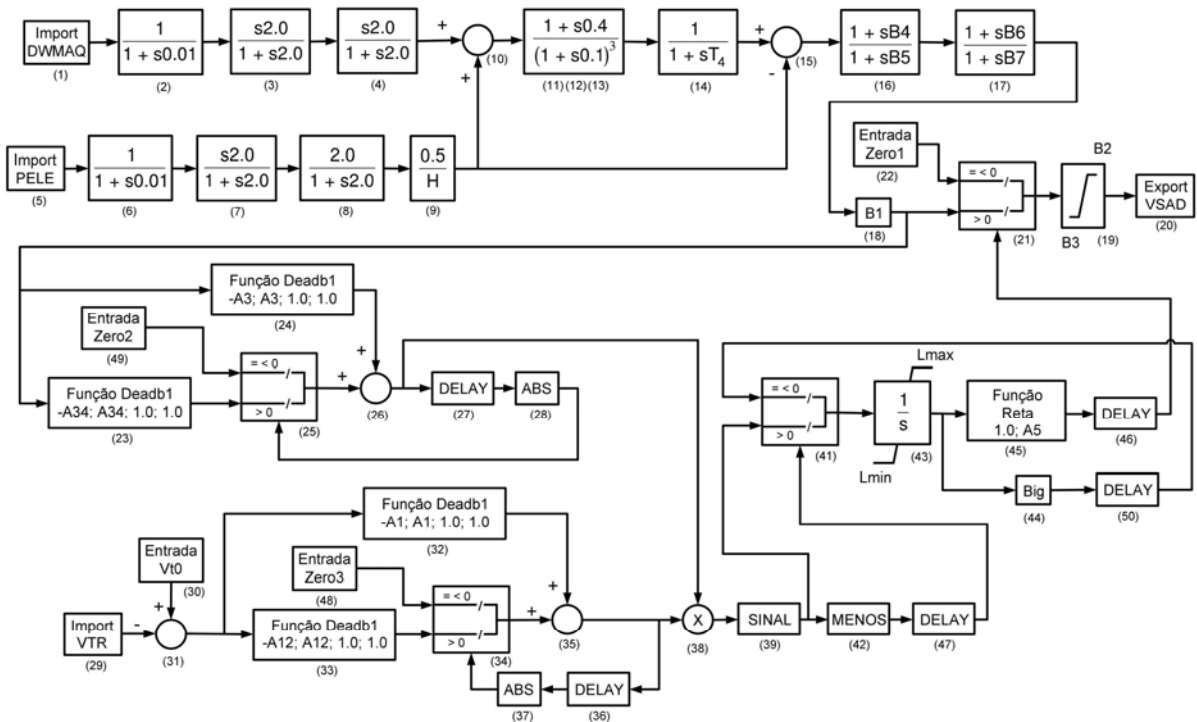


Usina: UTE Cuiabá



Parâmetro	Valor
Kv	0,980
Tv	0,028
T1	3,0
T2	0,08
T3	1,620
T4	0,15
T5	0,05
A1	- 0,050
A2	0,050
Kpf	6,0

Usina: UHE Emborcação



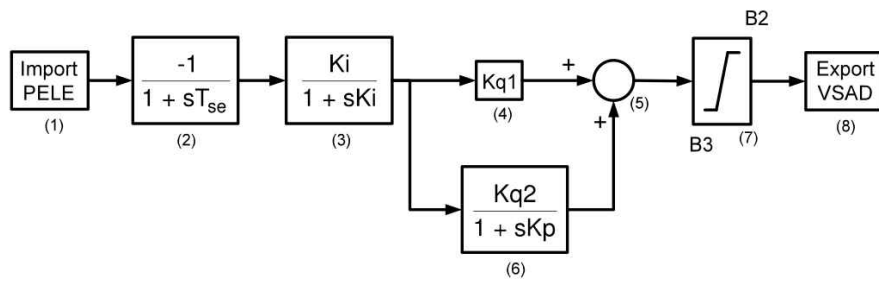
Parâmetros	Valor
A1	0.1
A12	0.09
A3	0.04
A34	0.02
A5	2.0
B1	18.0
B2	0.1
B3	-0.1
B4	0.056
B5	0.0043
B6	0.056
B7	0.0043
Big	-1.0E+10
H	4.722
T4	0.106

DEFVAL	Valor
Lmax	0.0
Lmin	-3.0
X25	0.0
X34	0.0
Zero1	0.0
Zero2	0.0
Zero3	0.0

Usina: UHE Furnas

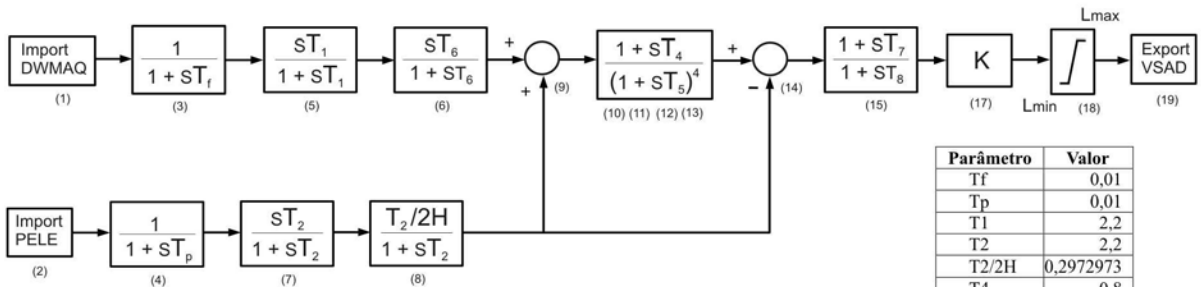
Nota: Este equipamento não possui estabilizador.

Usina: UHE Governador Bento Munhoz



Parâmetros	Valor
B2	0.05
B3	-0.05
Ki	1.50
Kp	12.0
Kq1	0.5
Kq2	20.0
Tse	0.02

Usina: UHE Guaporé

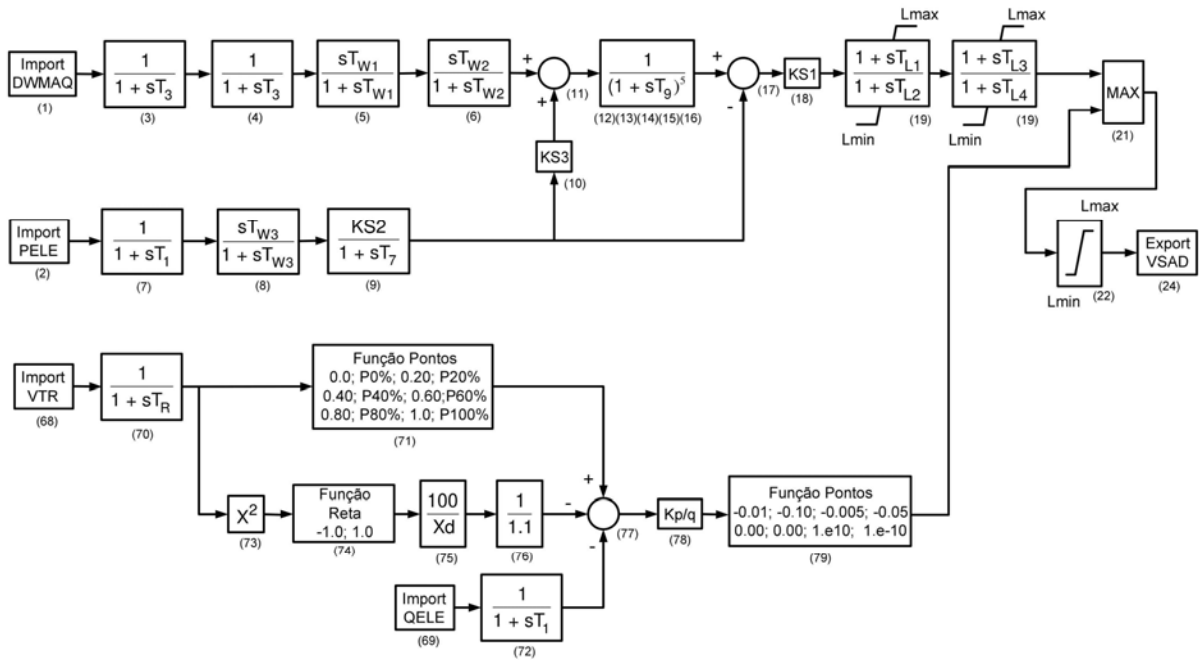


Parâmetro	Valor
Tf	0,01
Tp	0,01
T1	2,2
T2	2,2
T2/2H	0,2972973
T4	0,8
T5	0,2
T6	2,2
T7	0,3
T8	0,02
K1	8,0
Lmin	- 0,1
Lmax	0,1

Usina: CS Ibiúna

Nota: Este equipamento não possui estabilizador.

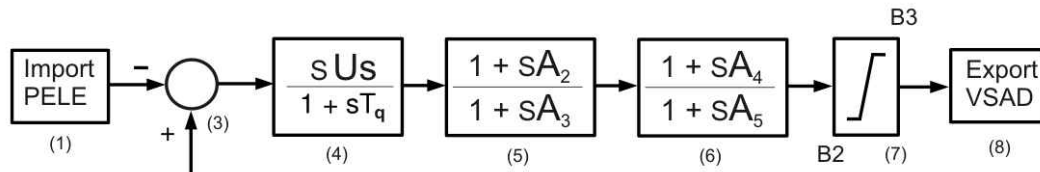
Usina: UHE Itá



Parâmetro	Valor
TR	0.02
T1	0.02
T3	0.02
T7	2.0
T9	0.1
TW1	2.0
TW2	2.0
TW3	2.0
TL1	0.20
TL2	0.04
TL3	0.36
TL4	0.12
KS1	4.0

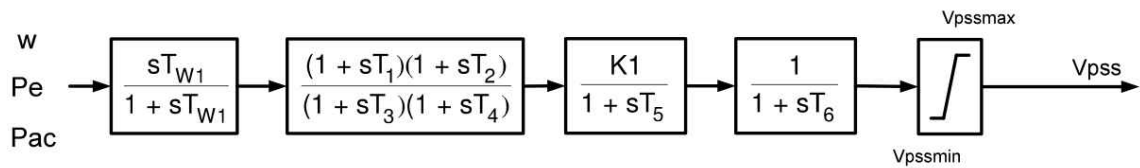
Parâmetro	Valor
KS2	0.2
KS3	1.0
Lmin	-0.1
Lmax	0.1
P0%	-0.85
P20%	-0.75
P40%	-0.65
P60%	-0.55
P80%	-0.46
P100%	-0.35
Kp/q	0.05
Xd	110.0

Usina: UHE Itiquira



Parâmetro	Valor
Us	8,0
Tq	1,5
A2	0,15
A3	0,5
A4	0,22
A5	0,39
B2	- 0,1
B3	0,1

Usina: UHE Itumbiara



Parâmetro	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tw	K1	Vpssmin	Vpssmax	Type
Valor	0.15	0.22	0.015	0.36	0.5	0.011	1.5	5.33	-0.1	0.1	2.0

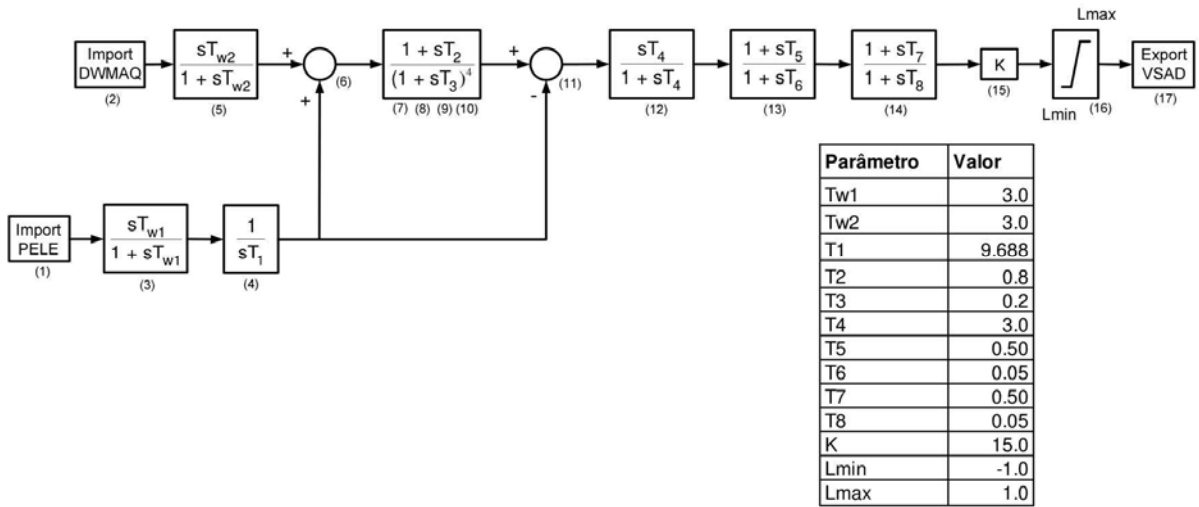
Usina: UHE Jaguará

Nota: Este equipamento não possui estabilizador.

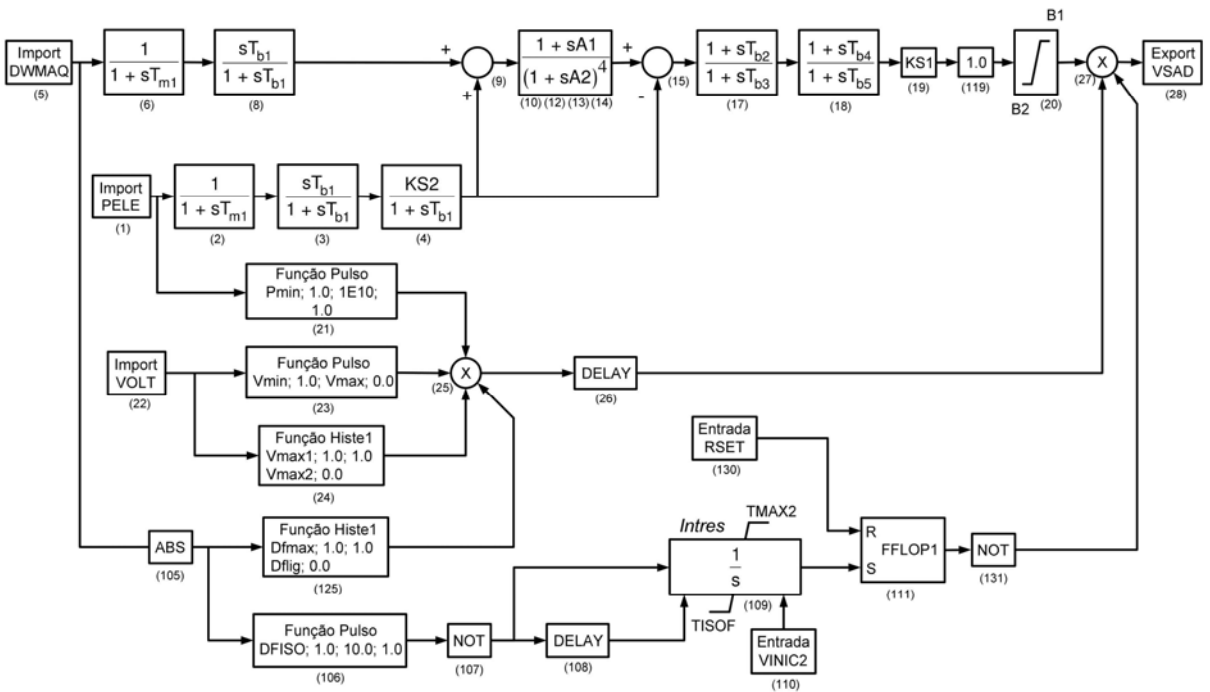
Usina: UHE Luiz Carlos Barreto

Nota: Este equipamento não possui estabilizador.

Usina: UHE Machadinho



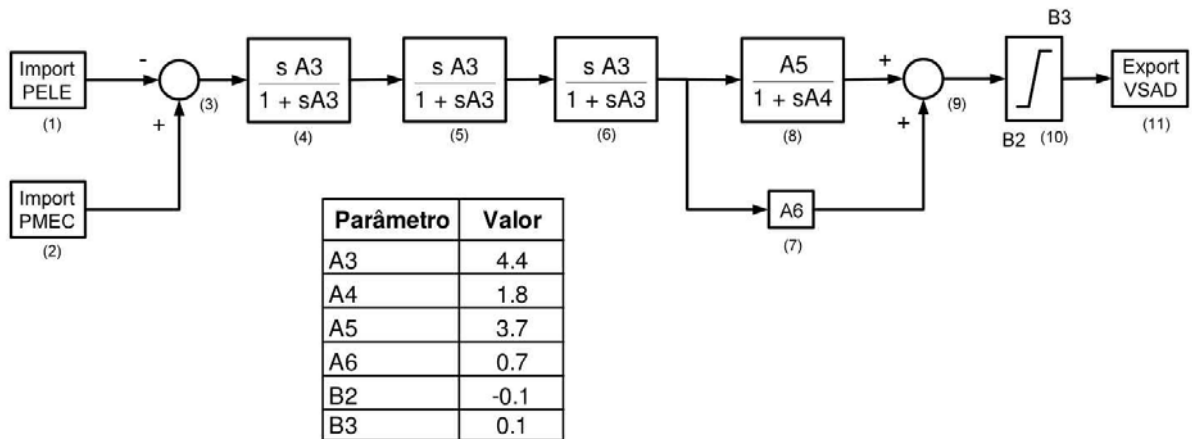
Usina: UHE Manso



Parâmetro	Valor
A1	0.4
A2	0.1
Tb1	2.0
Tb2	0.162
Tb3	0.054
Tb4	0.200
Tb5	0.066
B1	0.1
B2	-0.1
Tm1	0.02
Pmin	0.46

Parâmetro	Valor
KS1	10.0
KS2	0.370
Vmax	2.20
Vmax1	1.14
Vmax2	1.10
Vmin	0.02
Dfmax	0.010
Dflig	0.005
DFISO	0.0166
TISOF	-5.0

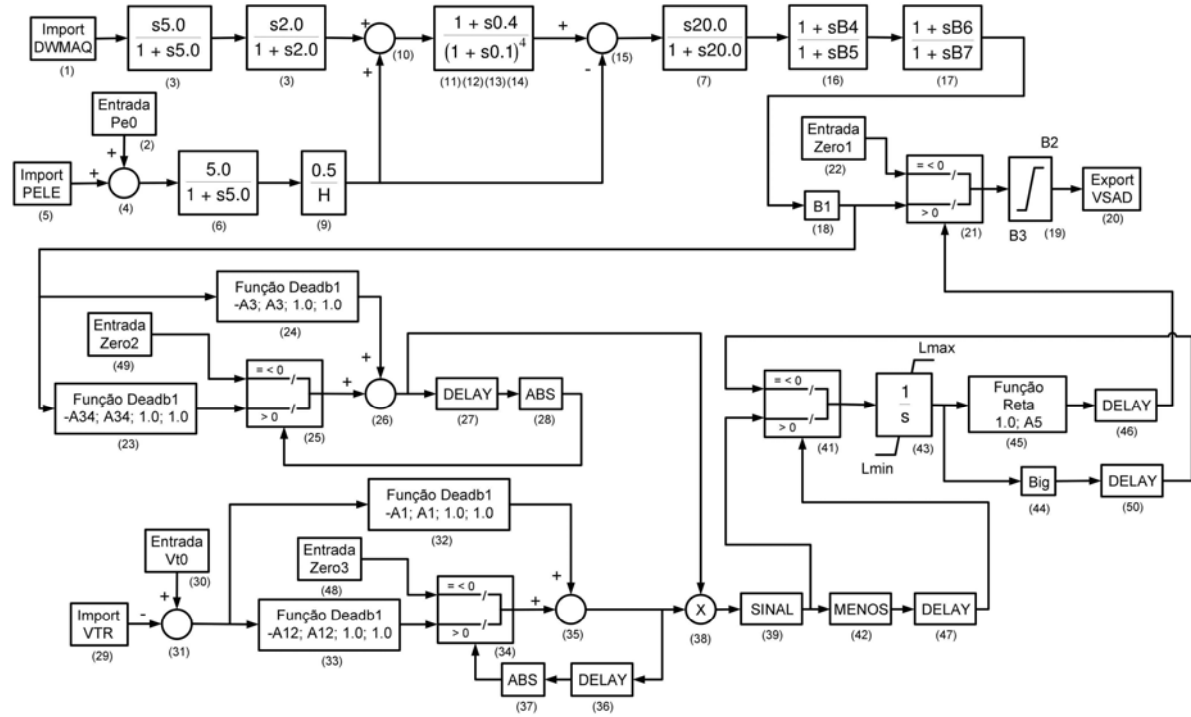
Usina: UHE Marimbondo



Usina: UHE Mascarenhas de Moraes

Nota: Este equipamento não possui estabilizador.

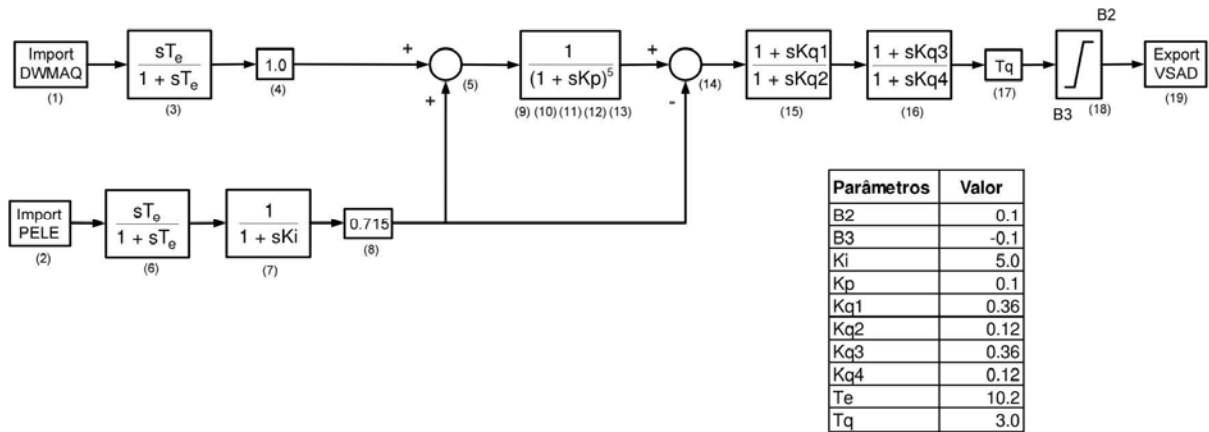
Usina: UHE Nova Ponte



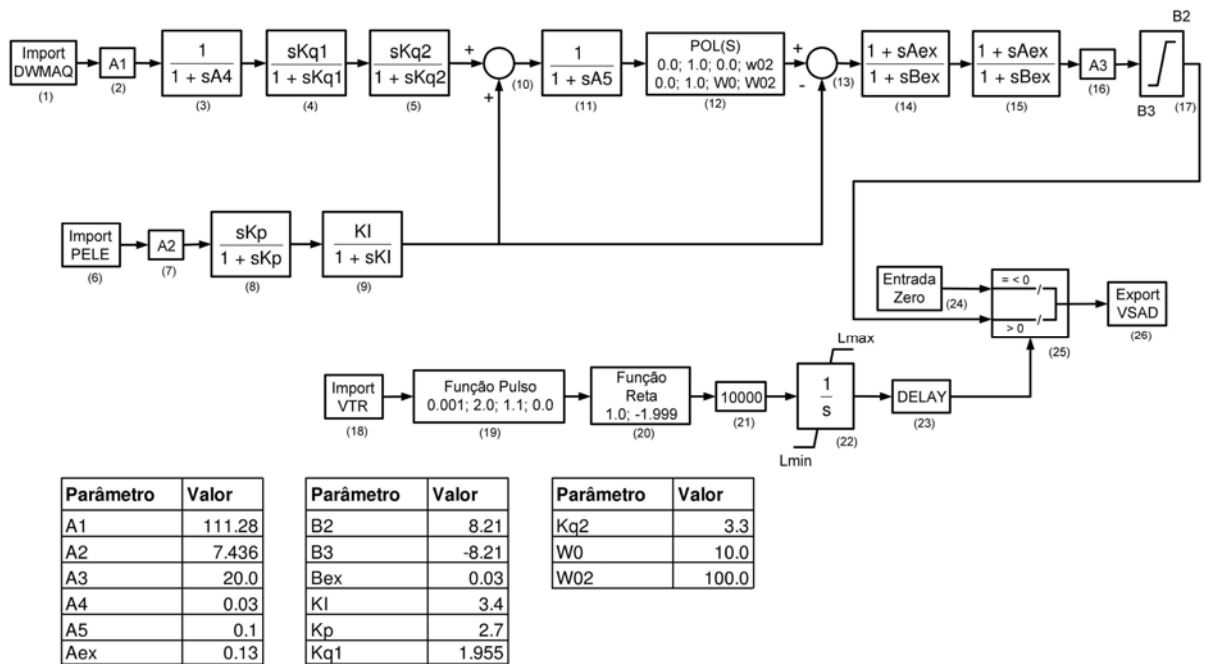
Parâmetros	Valor
A1	0.1
A12	0.09
A3	0.04
A34	0.02
A5	2.0
B1	-12.0
B2	0.1
B3	-0.1
B4	0.09
B5	0.03
B6	0.09
B7	0.03
Big	-1.0E+10
H	4.91

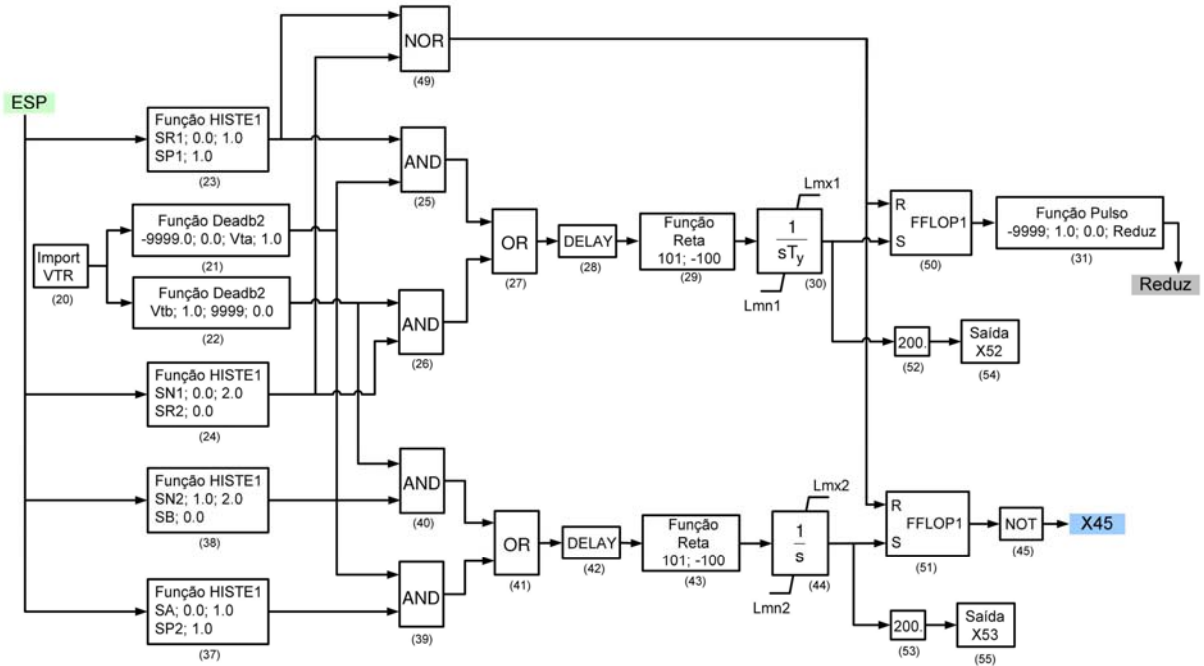
DEFVAL	
Lmax	0.0
Lmin	-3.0
X25	0.0
X34	0.0
Zero1	0.0
Zero2	0.0
Zero3	0.0

Usina: UHE Salto Casias

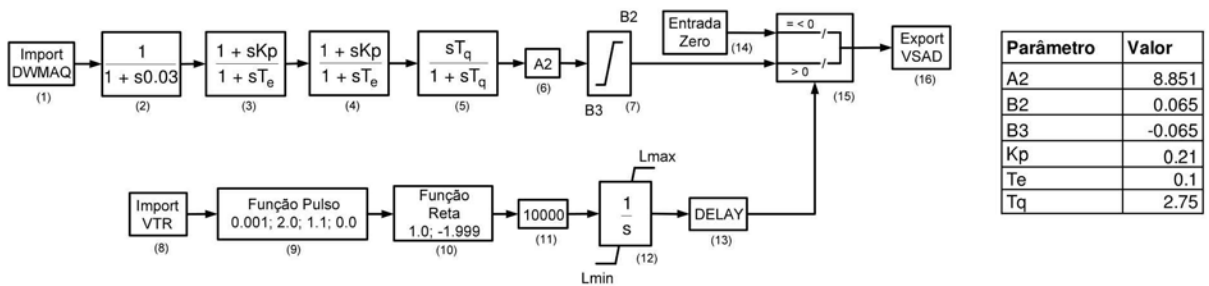


Usina: UHE Salto Osório

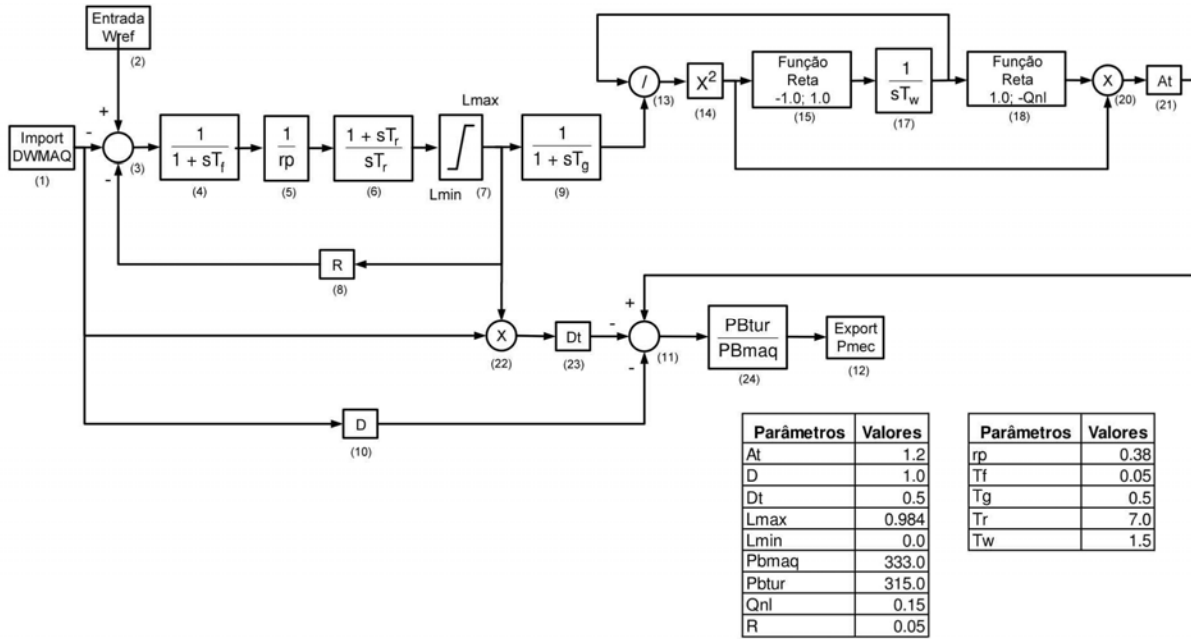




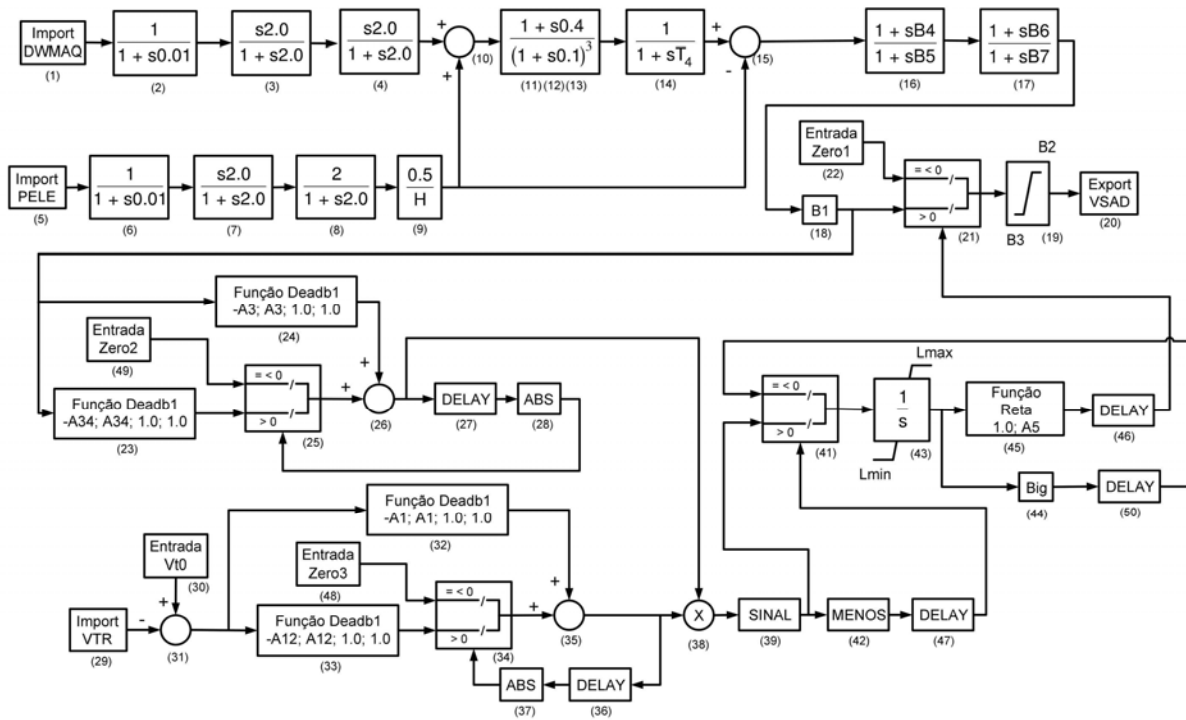
Usina: UHE Salto Santiago



Usina: UHE Salto Segredo



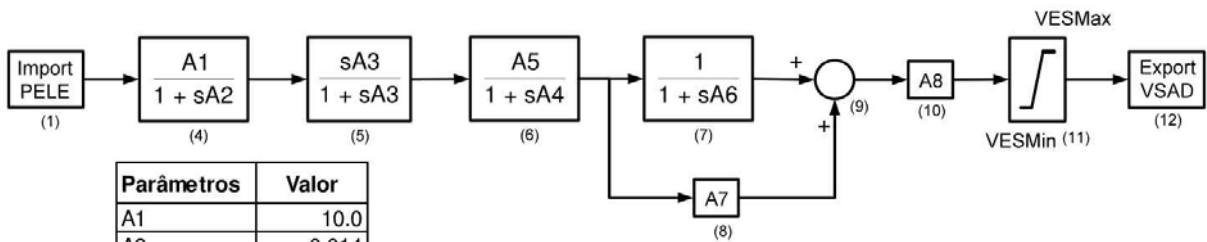
Usina: UHE São Simão



Parâmetros	Valor
A1	0.1
A12	0.09
A3	0.04
A34	0.02
A5	2.0
B1	21.2
B2	0.1
B3	-0.1
B4	0.086
B5	0.005
B6	0.086
B7	0.005
Big	-1.0E+10
H	6.228
T4	0.1

DEFVAL	
Lmax	0.0
Lmin	-3.0
X25	0.0
X34	0.0
Zero1	0.0
Zero2	0.0
Zero3	0.0

Usina: UHE Volta Grande



Parâmetros	Valor
A1	10.0
A2	0.014
A3	2.0
A4	0.01
A5	1.0
A6	0.57
A7	0.2
A8	5.0
B2	5.0
B3	-5.0

* * *

ADENDO VI

A-6. DADOS DO SISTEMA-TESTE DE 107 BARRAS – HÍBRIDO (STB-107H)

Neste adendo são apresentados apenas os dados correspondentes ao elo de corrente contínua que foi introduzido ao sistema-teste de 107 barras, conforme proposto no item 3.8 desta Dissertação.

A-6.1. Configuração do Elo

Na Figura 3.7 são mostrados os principais componentes e a configuração do elo implementado neste sistema [15 e 16]. Neste arranjo a área Sul está ligada no lado retificador do elo, transmitindo potência para a área Sudeste que está ligada no lado inversor do elo. A transmissão no sentido oposto é conseguida através da inversão do elo, ou seja, ligando a barra 9085 no sistema Sudeste e a barra 9086 no sistema Sul.

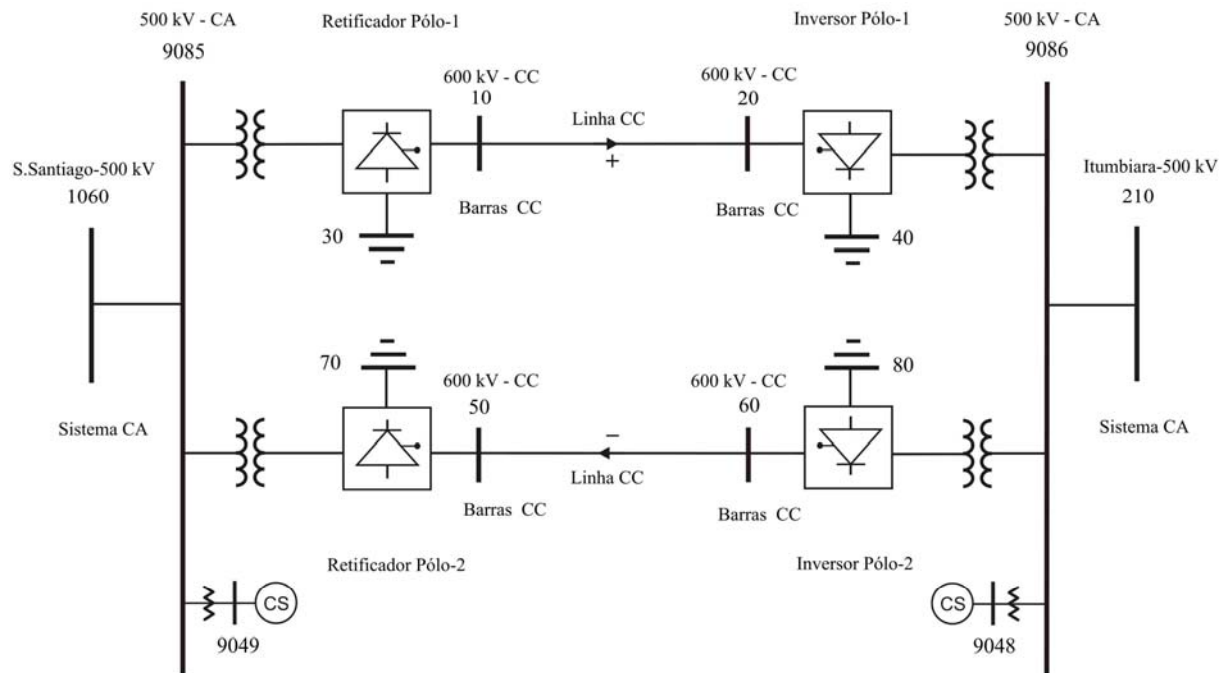


Figura 3.7 – Diagrama unifilar da configuração do elo cc

A-6.2. Características do Elo

O modelo de elo CC utilizado é composto por dois pólos formando um bipolo, com dois condutores sendo um positivo e outro negativo. As correntes nos dois pólos são iguais, e não tem corrente circulando pela terra (operação bipolar). Os dois pólos podem operar de forma independente (operação monopolar), caso um deles esteja isolado devido a uma falha no seu condutor ou necessidade de manutenção. Desta forma, o outro pólo pode operar com a terra e assim transmitir metade da potência.

A-6.3. Parâmetros Alfa e Gama

A condução dos tiristores é controlada através de um pulso no terminal de controle de disparo (*gate*). Ela é iniciada pela aplicação de um pulso de corrente, de polaridade apropriada. Uma vez iniciada a condução, a corrente continua a passar pelo tiristor até que caia a zero e então seja aplicada uma tensão reversa no tiristor, que é uma chave eletrônica que pode iniciar a condução, mas não pode interromper.

Alfa é denominado como ângulo de disparo. Ele corresponde a um atraso no tempo para o tiristor começar a conduzir depois que ele se encontra polarizado diretamente. O ângulo de disparo é limitado a 180° . Se alfa excede esse valor, o tiristor, mesmo sendo ativado pelo pulso, não conduz. Isso porque passa a ser aplicada uma tensão reversa nos seus terminais, fazendo com que o catodo fique com potencial positivo com relação ao anodo, impossibilitando a condução de corrente.

O efeito deste atraso no início da condução é o de reduzir o valor da tensão média pelo fator $\cos \alpha$. Como o alfa pode variar de 0° até 180° , o $\cos \alpha$ pode variar de 1 até -1. Portanto, o valor médio da tensão pode assumir um valor positivo ou negativo, dependendo do ângulo de disparo alfa. O valor negativo representa o efeito da inversão, oposto ao da retificação.

Quando alfa é igual a 0° a componente fundamental da corrente está em fase com a tensão na fase a. A potência ativa é positiva e a potência reativa é igual a zero. Conforme alfa aumenta de 0° até 90° a potência ativa decresce e a potência reativa aumenta. Com

alfa igual a 90° a potência ativa é zero e a potência reativa é máxima. Conforme alfa varia de 90° até 180° a potência ativa aumenta em módulo e passa a ter um valor negativo, enquanto a potência reativa se mantém positiva, porém começa a diminuir em módulo. Quando alfa é igual a 180° a potência ativa é máxima negativa e a potência reativa é zero.

Gama é definido como o ângulo de extinção. A prática comum é usar o ângulo gama definido pelo avanço em relação à 180° , ou seja, igual a 180° menos o ângulo de disparo.

A-6.4. Dados e Parâmetros do Elo

Os elos CC são representados através dos seguintes elementos: barra CC, linha CC e conversor CA-CC. A conexão do elo é definida pelos dados de entrada de acordo com a conexão de seus elementos. As barras do sistema CA, onde estão conectados os conversores CA-CC, são conhecidas como barras de interface dos conversores. O transformador de cada conversor tem como função compatibilizar a tensão do sistema CA com a tensão de entrada do conversor, além de permitir o controle da tensão CC do lado do inversor e o ângulo de disparo no lado do retificador, através da variação dos seus tapes.

A-6.4.1. Dados de Barra CA

Nº	Nome	Tipo	Tensão	Faixa		Área
				Max	Min	
9048	CA_INVER-4CS	1	13,8	1,07	0,950	4
9049	CA_RETIF-4CS	1	13,8	1,07	0,950	4
9085	CA_RETIF-500	0	500	1,10	0,950	4
9086	CA_INVER-500	0	500	1,10	0,950	4

Coluna	Descrição
Nº	Número de identificação da barra CC.
Nome	Nome de identificação da barra CC.
Tipo	Tipo de barra CA a ser representado nos dados de fluxo de potência, onde: 0 - barra de carga. 1 - barra de tensão regulada. 2 - barra de referência.
Tensão	Tensão nominal de operação da barra CC, em kV.
Faixa	Faixa de tensão correspondente aos níveis máximos e mínimos de tensão que a barra pode operar em regime permanente, em pu.
Área	Número da área à qual a barra pertence.

A-6.4.2. Dados de Barra CC

Nº	Nome	Tipo	Polaridade	Tensão	Elo
10	RET+ELO01	1	+	600	1
20	INV+ELO01	0	+	600	1
30	NEU0ELO01R	0	0	0	1
40	NEU0ELO01I	0	0	0	1
50	RET+ELO02	1	+	600	2
60	INV+ELO02	0	+	600	2
70	NEU0ELO02R	0	0	0	2
80	NEU0ELO02I	0	0	0	2

Coluna	Descrição
Nº	Número de identificação da barra CC.
Nome	Nome de identificação da barra CC.
Tipo	Tipo de barra CC representado nos dados de fluxo de potência, onde: 1 = Barra de tensão especificada 0 = Barra sem tensão especificada
Polaridade	+ indica que a barra pertence ao pólo positivo. - indica que a barra pertence ao pólo negativo. 0 indica barra neutra, sem polaridade.
Tensão	Tensão nominal de operação da barra CC, em kV.
Elo	Número de identificação do elo CC ao qual a barra pertence.

A-6.4.3. Dados de Linha CC

De	Para	Nome	Circuito	Tensão	R
10	20	RET+ELO01 - INV+ELO01	1	600	10,47
50	60	RET+ELO02 - INV+ELO02	1	600	10,47

Coluna	Descrição
De	Número de identificação da barra CC de origem.
Para	Número de identificação da barra CC de destino.
Nome	Nome de identificação do circuito.
Circuito	Número de identificação do circuito CC.
Tensão	Tensão nominal de operação do circuito CC, em kV.
R	Resistência do circuito CC, em Ohm.

A-6.4.4. Dados de Linha CA

As ligações elétricas entre as barras 1060-9085 e 210-9086 mostradas na Figura 3.7, que conecta o sistema CA ao conversor CA-CC, foram feitas através de uma reatância muito pequena, 0,01 % pois fisicamente ela é feita através de um barramento com impedância quase nula ou por um trecho muito curto de linha.

A-6.4.5. Dados do Conversor CA-CC

Nc	Nb-CA	Nb-CC	Nb-Neu	Modo	Ponte	I	XC	Vfs	Snt
1	9085	10	30	R	4	2610	17,8	127,4	471
2	9086	20	40	I	4	2610	17,2	122,0	450
3	9085	50	70	R	4	2610	17,8	127,4	471
4	9086	60	80	I	4	2610	17,2	122,0	450

Coluna	Descrição
Nc	Número de identificação do conversor.
Nb-CA	Número da barra CA à qual está ligado o conversor.
Nb-CC	Número da barra CC à qual está ligado o conversor.
Nb-Neu	Número da barra neutra à qual está ligado o conversor.
Modo	Modo de operação do conversor: R - se o conversor opera como um retificador. I - se o conversor opera como um inversor.
Ponte	Número de pontes conversoras de seis pulsos.
I	Corrente nominal do conversor, em A.
XC	Reatância de comutação por ponte de seis pulsos na base de potência do transformador conversor, em %.
Vfs	Tensão base fase-fase do secundário do transformador conversor de ponte de seis pulsos, em kV.
Snt	Potência base do transformador conversor de ponte de seis pulsos, em MVA.

A-6.4.6. Dados de Controle do Conversor CA-CC

Nc	Folga	Tipo	Valor Esp.	Ângulo	Âng Min	Âng Max	Tmn	Tmx
1	N	P	750	30	5	84,99	0,925	1,25
2	F	P	900	5	5	72,74	0,925	1,25
3	N	P	750	30	5	84,99	0,925	1,25
4	F	P	900	5	5	72,74	0,925	1,25

Coluna	Descrição
Nc	Número de identificação do conversor.
Folga	Para cada pólo do elo deve ser especificado um conversor de folga. É semelhante à barra swing do fluxo de potência, uma vez que não são conhecidas as perdas, então um deles o valor é determinado pelo programa. F – conversor de folga N – conversor normal
Tipo	Tipo de controle do conversor: C = controle de corrente constante. P = controle de potência constante.
Valor Esp.	Valor especificado para o controle do conversor, em MW ou A conforme definido no campo Tipo.
Ângulo	Ângulo de disparo desejado do conversor, quando retificador ou de extinção quando inversor, em graus.
Âng Min	Ângulo mínimo de disparo do conversor, quando retificador ou de extinção quando inversor, em graus.
Âng Max	Ângulo máximo de disparo do conversor, quando retificador ou de extinção quando inversor, em graus.
Tmn	Tape mínimo do transformador conversor.
Tmx	Tape máximo do transformador conversor.

A-6.4.7. Dados de Equipamentos de Controle de Tensão e Filtros

Capacitores Shunt						
Barra	Nome	Tensão	Nº	Potência	Total	Disjuntor
9085	CA_RETIF-500	500	3	255	765	Sim
9086	CA_INVER-500	500	3	215	645	Sim
Total			6		1410	

Compensador Síncrono								
Barra	Nome	Tensão	Nº	Absorção (Mvar)		Geração (Mvar)		BC
				Por Maq.	Total	Por Maq.	Total	
9048	CA_INVER	13,8	4	270	1080	300	1200	9085
9049	CA_RETIF	13,8	4	270	1080	300	1200	9086

Coluna	Descrição
Barra	Número de identificação da barra que o equipamento está conectado.
Nome	Nome de identificação da barra que o equipamento está conectado.
Tensão	Tensão nominal do equipamento, em kV
Nº	Quantidade de equipamentos.
Potência	Potência nominal gerada por equipamento, em Mvar.
Total	Potência total gerada, em Mvar.
Disjuntor	Indica a existência ou não de disjuntor para chaveamento do equipamento, ou seja, se o equipamento é manobrável através de disjuntor.
BC	Barra cuja tensão se deseja controlar (barra controlada).

A-6.4.8. Dados dos Transformadores Elevadores dos Compensadores Síncronos

SEQÜÊNCIA POSITIVA E NEGATIVA													
De	Para	Nome	Nº	RT	Pot	R ₊	X ₊	Tap min	Tap max	Pos	Tp	Cn	Ce
9048	9086	CA INVER-4CS	1	13,8/500	350	0,000	2,8590	0,90	1,10	19	V	350	350
9048	9086	CA INVER-4CS	2	13,8/500	350	0,000	2,8590	0,90	1,10	19	V	350	350
9048	9086	CA INVER-4CS	3	13,8/500	350	0,000	2,8590	0,90	1,10	19	V	350	350
9048	9086	CA INVER-4CS	4	13,8/500	350	0,000	2,8590	0,90	1,10	19	V	350	350
9049	9085	CA_RETIF-4CS	1	13,8/500	350	0,000	2,8590	0,90	1,10	19	V	350	350
9049	9085	CA_RETIF-4CS	2	13,8/500	350	0,000	2,8590	0,90	1,10	19	V	350	350
9049	9085	CA_RETIF-4CS	3	13,8/500	350	0,000	2,8590	0,90	1,10	19	V	350	350
9049	9085	CA_RETIF-4CS	4	13,8/500	350	0,000	2,8590	0,90	1,10	19	V	350	350

Tapes dos transformadores	
Posição	Tape
1	1,1000
2	1,0889
3	1,0778
4	1,0667
5	1,0555
6	1,0444
7	1,0333
8	1,0222
9	1,0111

Tapes dos transformadores	
Posição	Tape
10	1,0000
11	0,9889
12	0,9778
13	0,9667
14	0,9556
15	0,9444
16	0,9333
17	0,9222
18	0,9111
19	0,9000

Coluna	Descrição
De	Número de identificação da barra de origem.
Para	Número de identificação da barra de destino.
Nome	Nome de identificação da unidade transformadora.
Nº	Número de identificação da unidade transformadora.
RT	Relação de transformação da unidade transformadora, em kV.
Pot	Potência nominal da unidade transformadora, em MVA.
R ₊	Resistência equivalente de seqüência positiva da unidade transformadora, em %.
X ₊	Reatância equivalente de seqüência positiva da unidade transformadora, em %.
Tap Min	Valor mínimo que o tape da unidade transformadora pode assumir para transformadores com variação automática de tape, em pu.
Tap Max	Valor máximo que o tape da unidade transformadora pode assumir para transformadores com variação automática de tape, em pu.
Pos	Número de posições entre tape mínimo e tape máximo.
Tp	Tipo de transformador, onde: F = tape fixo e V = tape variável em carga.
Cn	Capacidade máxima de transformação em condições normais de operação, em MVA.
Ce	Capacidade máxima de transformação em condições de emergência, em MVA.
Posição	Número da posição do tape.
Tape	Valor do tape, em pu.

* * *

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.

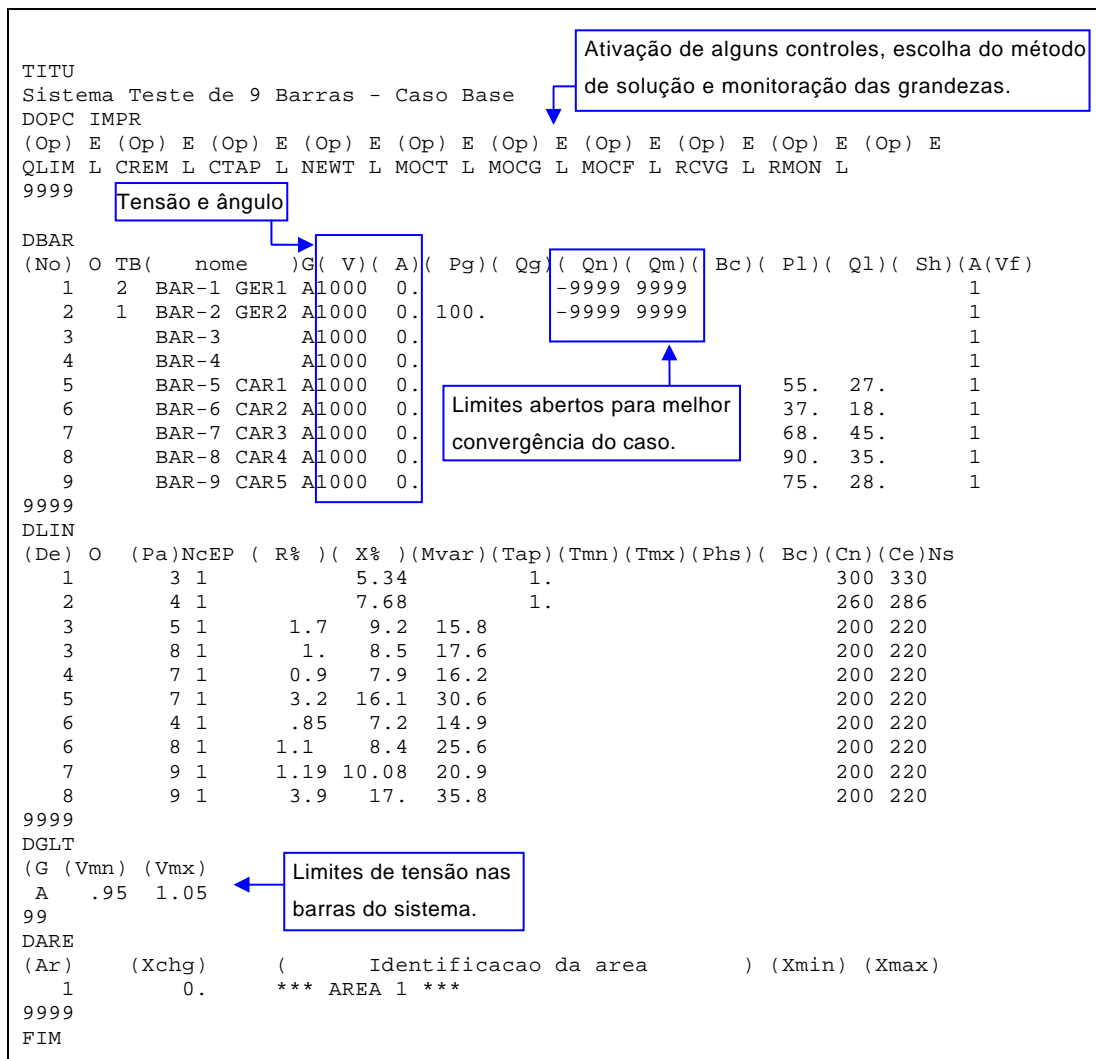


Figura 4.1 – Dados do caso base

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

X----- 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

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/	MW/	Mvar/	MW/		PARA BARRA									
NOME	ANG	Mvar	Mvar	Mvar	Mvar	Mvar	EQUIV	Mvar		NUM.	NOME	NC	MW	Mvar	MVA/V_d	TAP	DEFAS	TIE	
						FLUXO %	SHUNT L												
1	1 2	1.000	230.2	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											
						77.6%				3	BAR-3	1	230.2	35.4	232.9	1.000F			
2	1 1	1.000	100.0	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											
						44.7%				4	BAR-4	1	100.0	24.5	102.9	1.000F			
3	1 0	0.989	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		1	BAR-1 GER1	1	-230.2	-6.4	232.9				
						77.6%				5	BAR-5 CAR1	1	93.7	3.9	94.8				
						47.4%				8	BAR-8 CAR4	1	136.3	2.6	137.9				
						69.0%													
4	1 0	0.984	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											
						44.7%				2	BAR-2 GER2	1	-100.0	-16.3	102.9				
						16.7%				6	BAR-6 CAR2	1	32.9	-1.3	33.4				
						35.2%				7	BAR-7 CAR3	1	67.0	17.7	70.4				
5	1 0	0.966	0.0	0.0	55.0	0.0	0.0	0.0											
BAR-5	CAR1	-12.2	0.0	0.0	27.0	0.0	0.0	0.0											
						48.0%				3	BAR-3	1	-92.1	-10.6	96.0				
						21.0%				7	BAR-7 CAR3	1	37.2	-16.4	42.1				
6	1 0	0.977	0.0	0.0	37.0	0.0	0.0	0.0											
BAR-6	CAR2	-14.3	0.0	0.0	18.0	0.0	0.0	0.0											
						17.9%				4	BAR-4	1	-32.8	-12.2	35.8				
						3.7%				8	BAR-8 CAR4	1	-4.2	-5.8	7.3				
7	1 0	0.959	0.0	0.0	68.0	0.0	0.0	0.0											
BAR-7	CAR3	-15.9	0.0	0.0	45.0	0.0	0.0	0.0											
						37.8%				4	BAR-4	1	-66.5	-28.8	75.6				
						19.8%				5	BAR-5 CAR1	1	-36.7	-9.5	39.5				
						18.7%				9	BAR-9 CAR5	1	35.3	-6.7	37.5				

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

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	PARA BARRA	FLUXOS										
							FLUXO %	SHUNT L	NUM.	NOME	NC	MW	Mvar	MVA/V_d	TAP	DEFAS	TIE		
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																			
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												
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

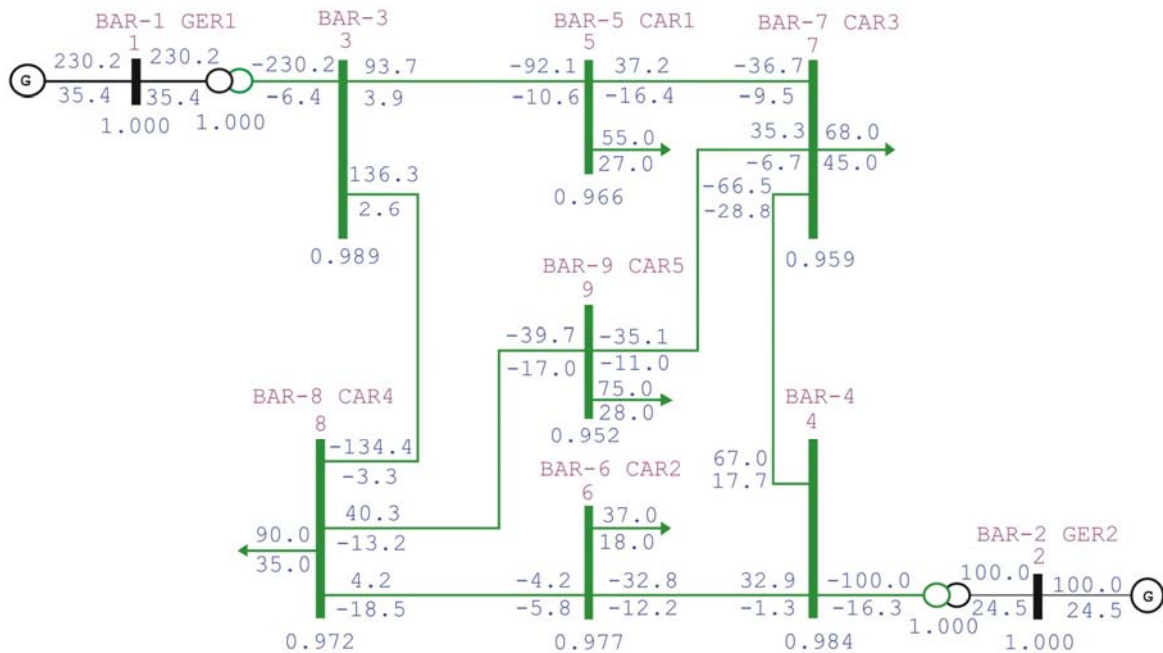


Figura 4.3 - Diagrama unifilar do sistema com as informações do caso base

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.

Analisando 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.

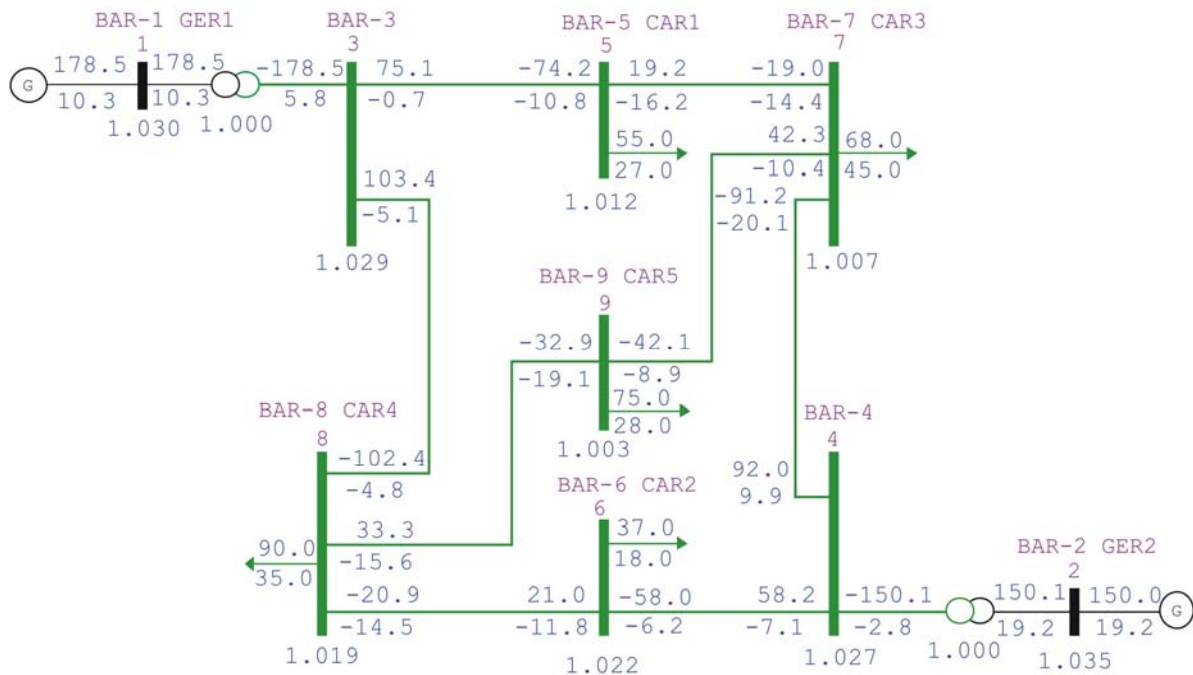


Figura 4.4 – Diagrama unifilar do sistema com as informações após ajuste

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.

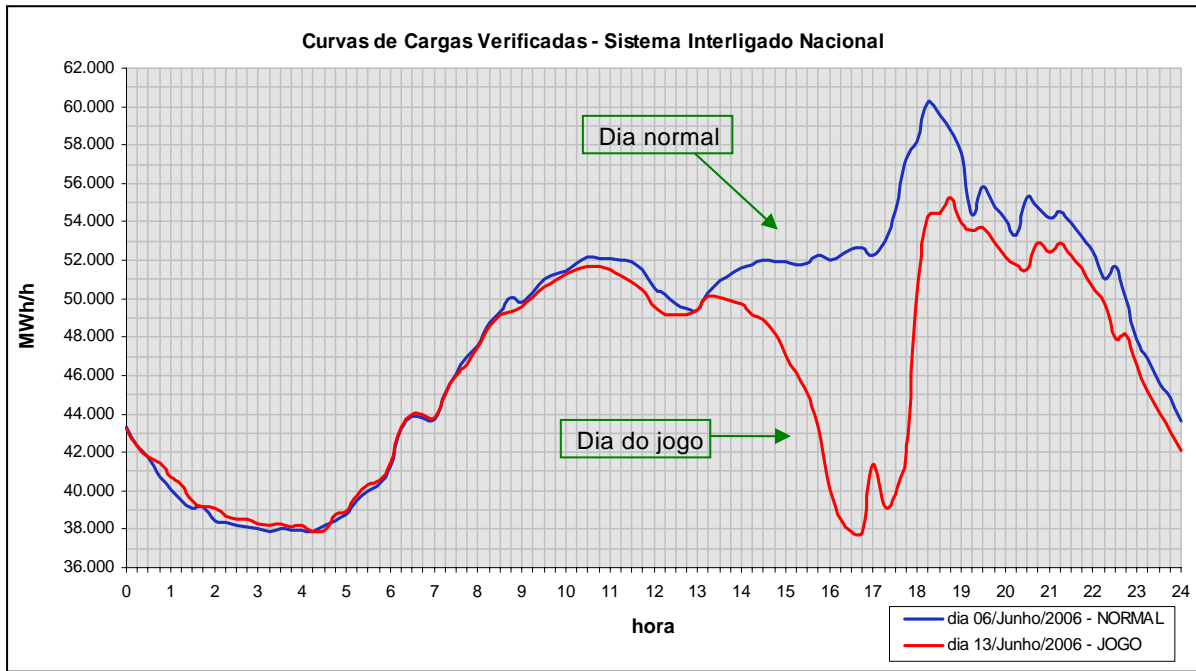


Figura 4.5 – Curva de demanda diária verificada no SIN

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.

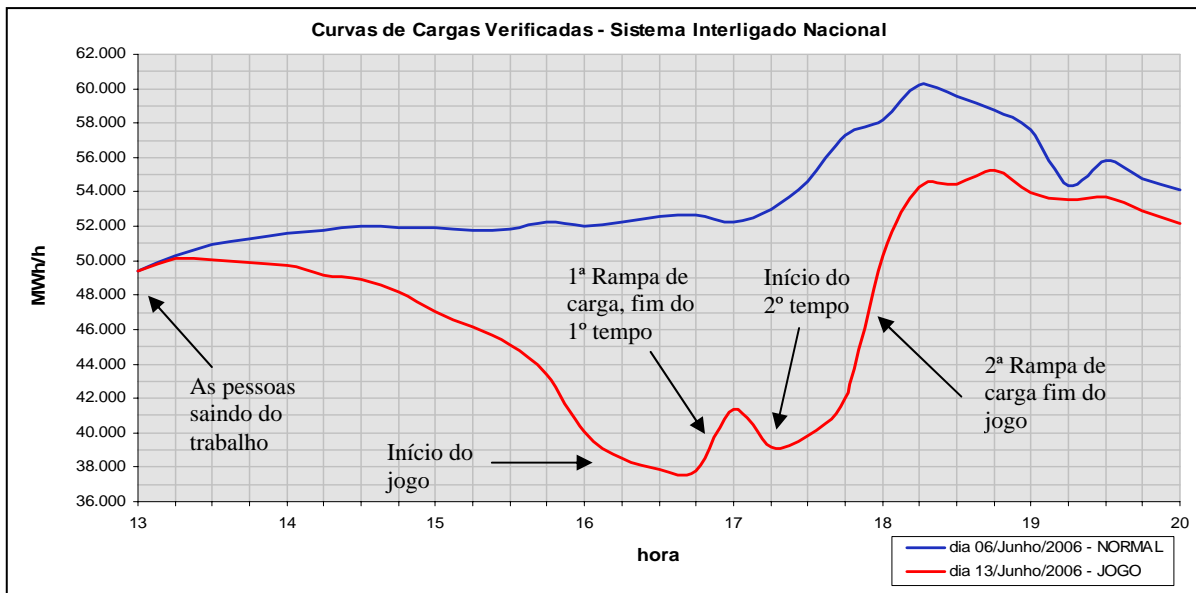


Figura 4.6 – Curva de demanda do período afetado pela realização do jogo

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.

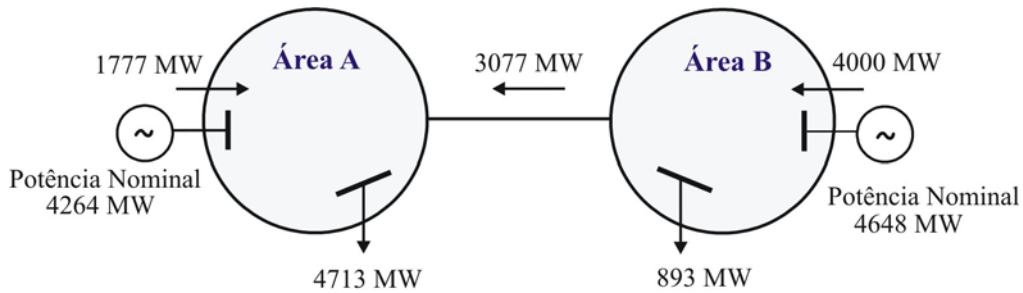


Figura 4.8 – Dados de intercâmbio entre as áreas

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								
DA BARRA	PARA BARRA	FLUXOS			VIOLACAO		CARREGAMENTO %	
NOME	NOME	NC	MW	Mvar	MVA	MVA	SEVERIDADE	
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.

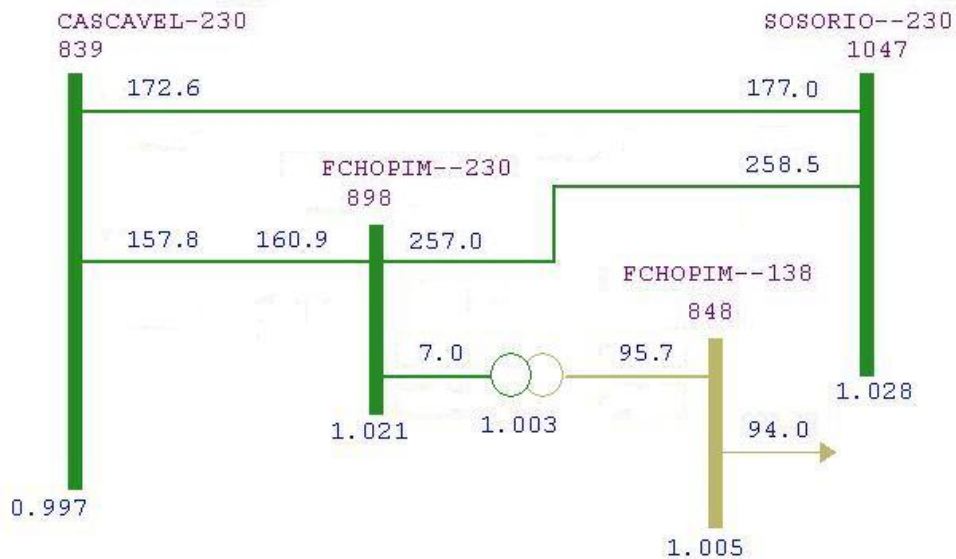


Figura 4.10 – Fluxo na LT 230kV Cascavel-S.Osório

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 subtensão 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		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	0.946	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-----X									
BARRA		TENSÃO			VIOLACAO		SHUNT	SEVERIDADE	
NUM.	NOME	AR	MIN	MOD.	MAX	(PU)	(Mvar)		
X-----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	MOTOR
NUM.	TP	AR	MOD/	MW/	MW/	GER %	EQV %	MW/	MW/	MW/	Mvar/	MW/
NOME		ANG	Mvar/	Mvar	EQV %		Mvar	Mvar	Mvar	EQUIV	Mvar	Mvar
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X												
934	0	2	0.956	0.0	0.0	0.0	0.0	226.7	0.0	0.0	0.0	0.0
AREIA---	230		-6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	53.9	0.0	0.0	0.0	0.0
959	0	1	0.965	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.1	0.0	0.0
CURITIBA-	500		-26.9	0.0	0.0	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	0.0	0.0
BATEIAS--	500		-25.7	0.0	0.0	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	0.0	1143.8	0.0	247.7	0.0	0.0
BLUMENAU-	230		-37.1	0.0	0.0	0.0	0.0	52.6	0.0	0.0	0.0	0.0
814	0	1	0.954	0.0	0.0	0.0	0.0	702.7	0.0	0.0	0.0	0.0
BATEIAS--	230		-28.2	0.0	0.0	0.0	0.0	174.0	0.0	0.0	0.0	0.0
960	0	1	0.957	0.0	0.0	0.0	0.0	809.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CURITIBA-	230		-29.9	0.0	0.0	0.0	0.0	429.5	0.0	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-----X													
BARRA		TENSAO		GERACAO		INJ EQV		FATOR		CARGA	ELO CC	SHUNT	MOTOR
NUM.	TP	AR	MOD/	MW/	MW/	GER %	MW/	MW/	Mvar/	MW/	Mvar/	Mvar/	MW/
NOME		ANG	Mvar/	Mvar	EQV %	Mvar	Mvar	Mvar	EQUIV	SHUNT L			
		CE	Mvar										
X-----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	0.0	0.0	
AREIA		230	1.5	0.0	0.0	0.0	59.0	0.0	0.0	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							
BARRA		TENSAO		VIOLACAO		SHUNT	SEVERIDADE
NUM.	NOME	AR	MIN	MOD.	MAX	(PU)	(Mvar)
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	CASCAVELO500	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									
NUM.	BARRA NOME	AR	MIN	TENSAO MOD.	MAX	VIOLACAO (PU)	SHUNT (Mvar)	SEVERIDADE	
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	CASCAVEL-138	2	0.950	0.910	1.050	-0.040		****	
898	FCHOPIM--230	2	0.950	0.896	1.050	-0.054		*****	
839	CASCAVEL-230	2	0.950	0.801	1.050	-0.149		*****+	
2458	CASCAVEL-230	2	0.950	0.792	1.050	-0.158		*****+	
896	CASCAVELO500	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	TENSAO MIN	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 MAXIMA Mvar	LIM Mvar SEVERIDADE
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.

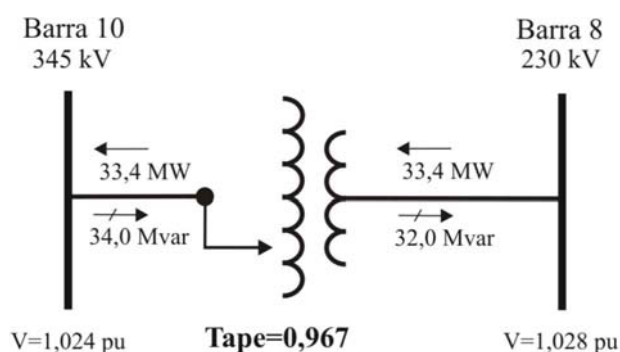


Figura 4.23 – Posição inicial do tape no transformador LTC

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.

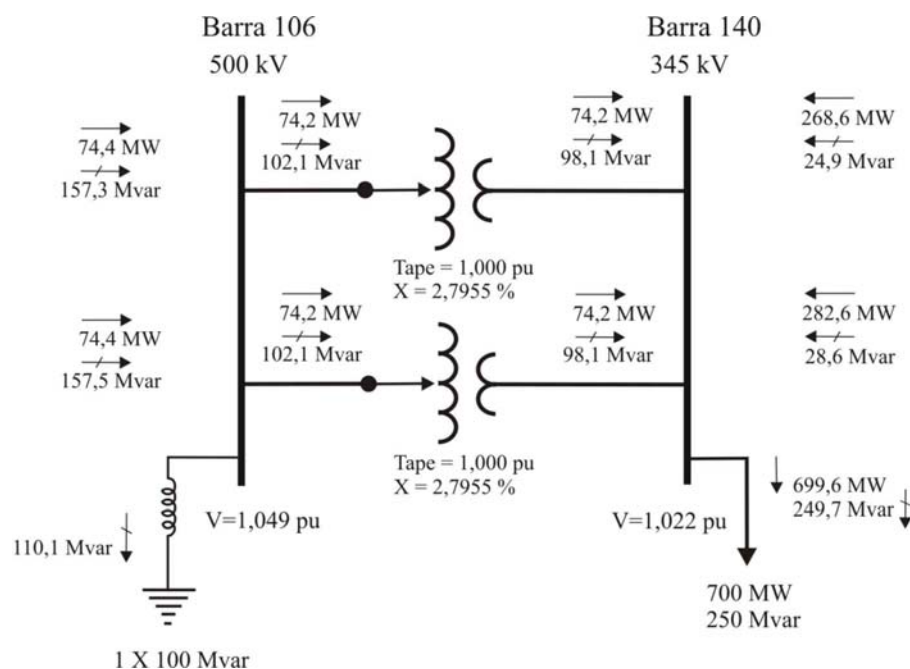


Figura 4.24 – Condições com os tapes iguais

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

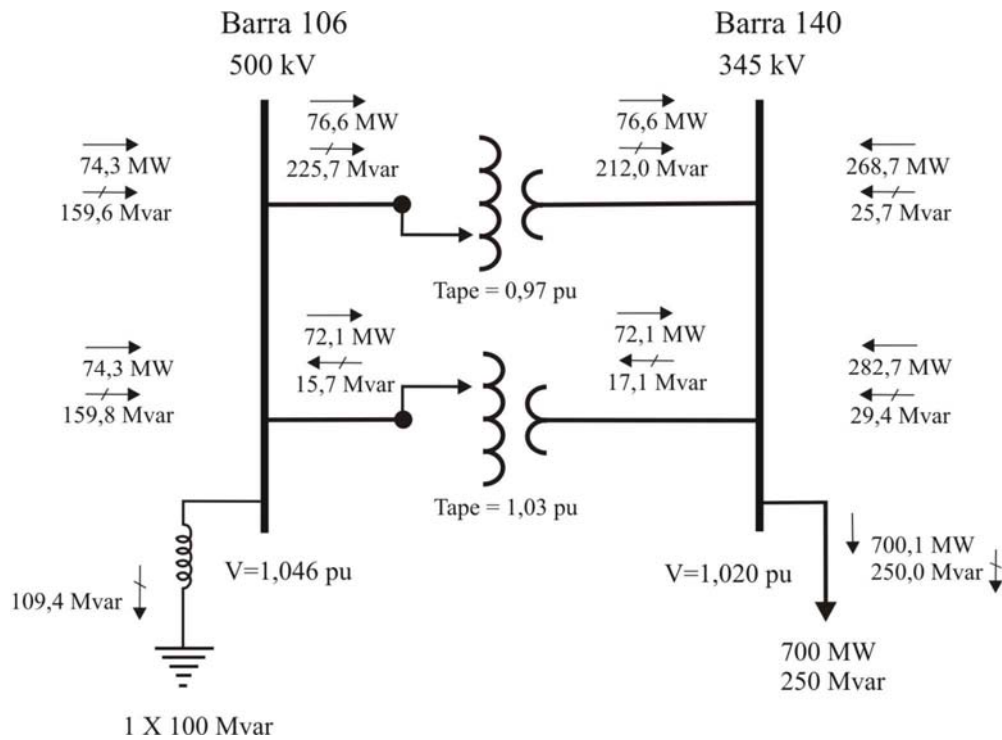


Figura 4.25 – Condições com os tapes diferentes

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.

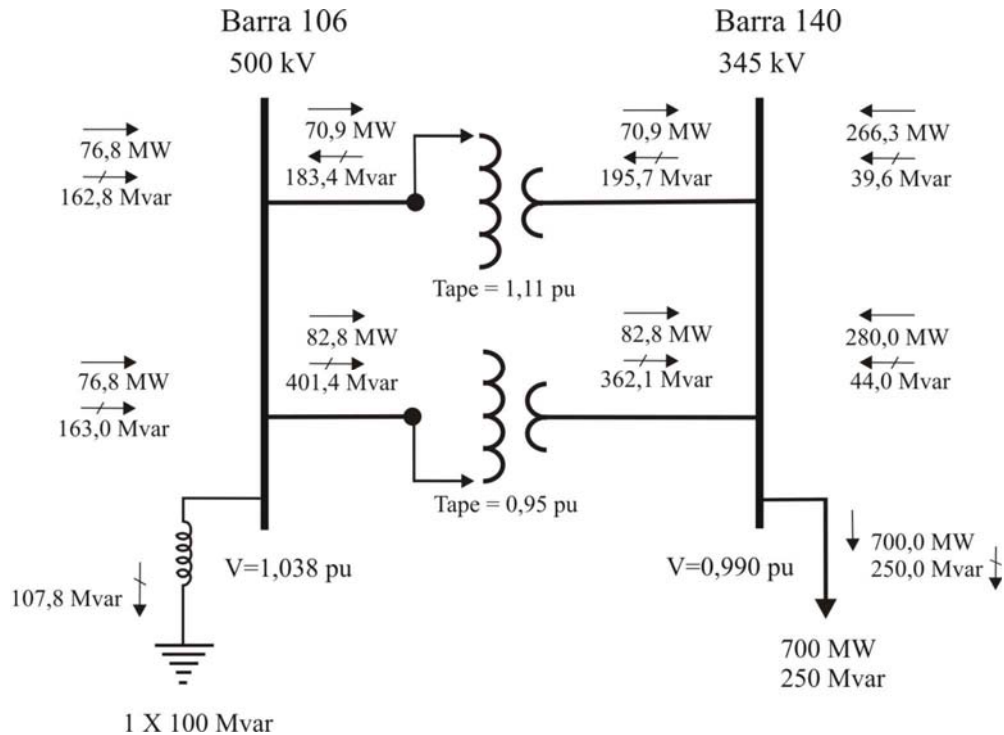


Figura 4.26 – Condições com os tapas nos extremos opostos

Através das diferentes variações de tapas 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.

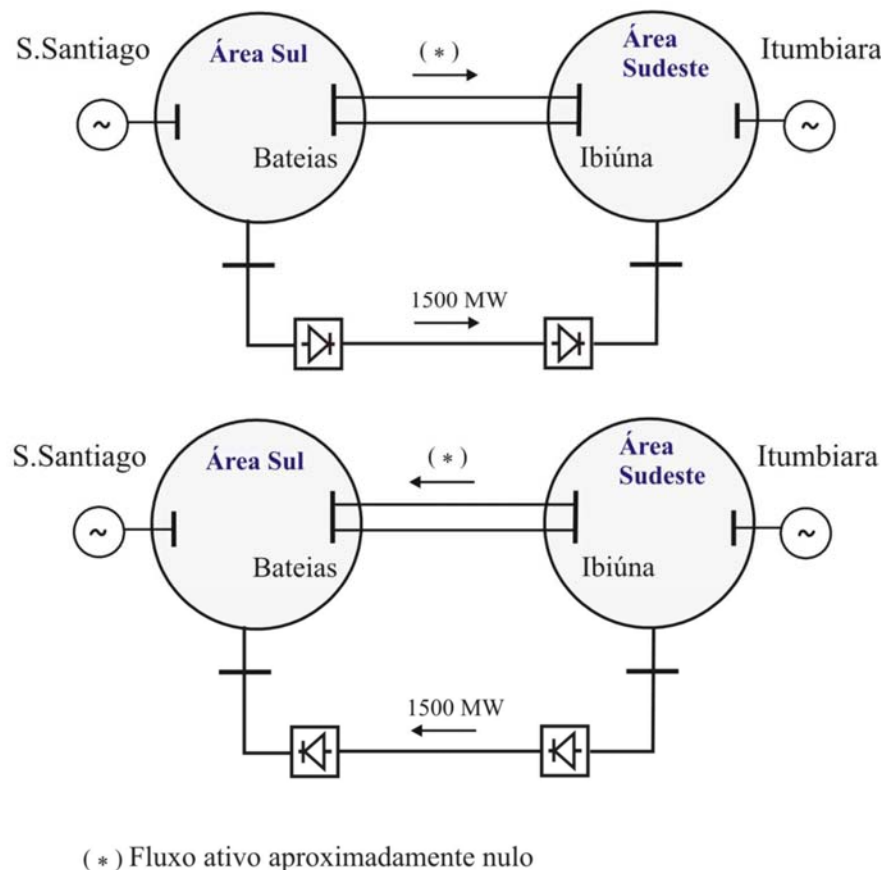


Figura 4.27 – Intercâmbio entre as áreas Sul e Sudeste com o elo CC

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									
DADOS-BARRA			CARGA			GERACAO			
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
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)

DADOS-BARRA		TENSAO		CARGA		GERACAO	
DA BARRA	NUM. KV TIPO	MOD	PARA BARRA	MW	Mvar	MW	Mvar
NOME	ANG	NUM.	NOME	NC	MW	Mvar	TAP DEFAS TIE
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

DADOS-BARRA		TENSAO		CARGA		GERACAO	
DA BARRA	NUM. KV TIPO	MOD	PARA BARRA	MW	Mvar	MW	Mvar
NOME	ANG	NUM.	NOME	NC	MW	Mvar	TAP DEFAS TIE
122	1	0	1.070	>	200.0MW	38.0MVAR	
IBIUNA---			-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)											
DADOS-BARRA			CARGA				GERACAO				
DA BARRA	TENSAO	>	MW	Mvar	>	MW	Mvar	TAP	DEFAS	TIE	
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					
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.

* * *

ANÁLISE DO REGIME ESTÁTICO EM CONDIÇÃO OTIMIZADA

5.1. INTRODUÇÃO

A utilização de uma ferramenta de fluxo de potência ótimo na análise da operação de sistemas elétricos de potência vem aumentando cada vez mais e se tornando um instrumento fundamental na busca de soluções para problemas que apresentam um conjunto de restrições provenientes da grande dimensão do sistema, conjugada com as limitações operacionais e a otimização de funções objetivo. Esse tipo de análise é tipicamente empregado em problemas de planejamento da expansão e operação, despacho econômico, minimização de perdas elétricas, estabelecimento de limites de intercâmbio, etc.

O problema foi formulado inicialmente por J. Carpentier [*apud* 20 e 21]. O fluxo de potência ótimo pode ser definido como sendo a determinação do estado de uma rede elétrica que otimiza uma determinada função-objetivo, satisfazendo um conjunto de restrições físicas e operacionais, formulado matematicamente como:

$$\left\{ \begin{array}{l} \min f(x) \\ \text{s.a. } g(x) = 0 \\ h(x) \leq 0 \\ \ell \leq x \leq u \end{array} \right. \quad (5.1)$$

Onde:

x - vetor de variáveis do sistema

$g(x)$ - restrições de igualdade

$h(x)$ - restrições de desigualdade

u, ℓ limites superior e inferior dos controles

As restrições de igualdade correspondem à modelagem da rede (equações de balanço de potência ativa e reativa em cada nó da rede), enquanto que as restrições de desigualdade representam os limites das variáveis do sistema (restrições funcionais dos equipamentos e restrições operacionais do sistema).

A escolha da função objetivo é complexa e deve ser feita de forma criteriosa, já que, esta função objetivo deve descrever adequadamente a melhor condição operativa para o sistema elétrico em estudo.

Este capítulo tem como objetivo utilizar os sistemas-teste elaborados em aplicações realistas, abordando problemas típicos estudados nas empresas sob o enfoque de regime estático em condição otimizada.

5.2. FERRAMENTA COMPUTACIONAL

Foi utilizado para análise de fluxo de potência em condições otimizadas dos sistemas teste, o programa Fluxo de Potência Ótimo (FLUPOT) desenvolvido pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) [22]. O programa baseia-se na otimização não linear através do método de pontos interiores direto primal-dual [20 e 23]. Um dos aspectos mais importantes do programa é sua flexibilidade em termos de escolha de função objetivo, controles e restrições. Com essa flexibilidade, o FLUPOT tanto pode ser utilizado no contexto de planejamento como de operação de sistemas de potência.

O FLUPOT tem por objetivo calcular um estado de uma rede CA em regime permanente que otimize uma determinada função objetivo. O programa possui um conjunto de funções objetivo, entre elas estão: *minimização de perdas de potência ativa*, *minimização de geração de potência reativa*, *maximização de carregamento*, *minimização de corte de carga*. Algumas dessas funções podem ser utilizadas de forma combinada, visando obter resultados que satisfaçam a uma quantidade maior de restrições, tomando o cuidado de não colocar funções conflitantes ou restrições redundantes.

5.3. PROCEDIMENTOS

A análise de fluxo de potência ótimo foi realizada a partir dos casos de fluxo de potência do ANAREDE convergidos ou não, seguidos do arquivo com os dados de otimização, de acordo com o objetivo pretendido. A Figura 5.1 mostra um diagrama simplificado do processo utilizado, onde o FLUPOT recebe um caso do ANAREDE e gera um segundo caso, já com os ajustes da otimização efetuados.

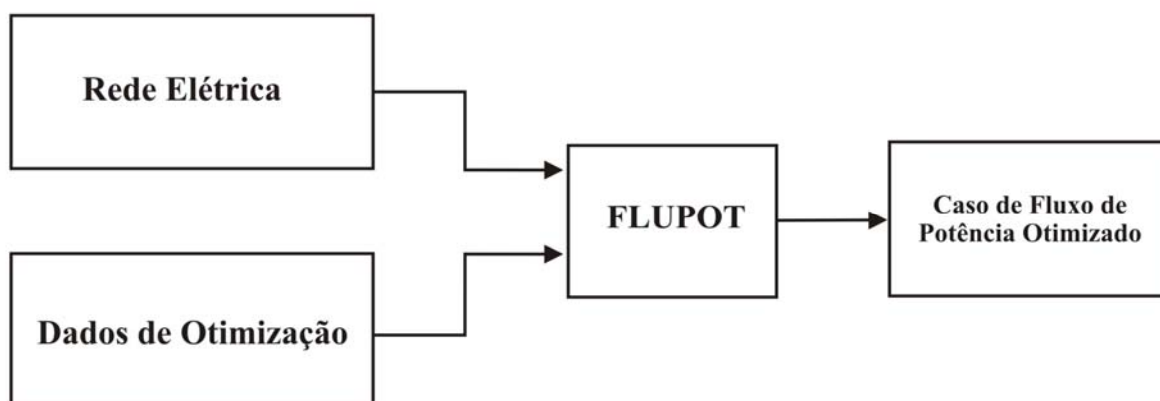


Figura 5.1 – Diagrama simplificado do processo utilizado para otimização

- Para o processamento da otimização, foi necessário o preenchimento dos cartões do ANAREDE, DGBT (dados de grupo base de tensão) e DGLT (dados de grupos limites de tensão). Estes dados não são necessários no ANAREDE porém são essenciais para o processamento do FLUPOT.
- No programa FLUPOT, o cartão DGLM (dados de geração mínima e máxima de potência reativa), foi preenchido considerando 80% da capacidade nominal de cada gerador para limite normal e para limite de emergência foi utilizado o próprio limite nominal do equipamento. Esse procedimento foi adotado como uma margem de segurança para que o programa não realize um ajuste no sistema que coloque os equipamentos em pontos extremos.
- No cartão DGEP (dados de geração ativa) do programa FLUPOT, foi considerado em algumas simulações um limite máximo de geração ativa igual a 90% da capacidade nominal.

- O número máximo de iterações foi de 100 e a tolerância de convergência para erro de potência ativa foi de 10^{-5} MW e para erro de potência reativa foi de 10^{-5} Mvar.
- Em todas as simulações não foi considerada a influência de custos. Assim, foi adotado o valor 1 (um) nos campos nos quais essa informação era solicitada, que é a forma utilizada para que esta opção não influencie nos resultados.
- Foram utilizadas as funções objetivo: LOSS - que minimiza as perdas elétricas no sistema, MXTR - que maximiza a transferência de potência entre áreas.

5.4. ESTUDOS DE PROBLEMAS TÍPICOS

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

- *Comparação de ajuste de casos;*
- *Realização de ajuste para suportar contingência;*
- *Minimização de perdas elétricas no sistema;*
- *Minimização de perdas elétricas com restrição na área Sudeste;*
- *Minimização de perdas elétricas com restrição na área Sul e;*
- *Maximização de intercâmbio entre áreas.*

5.4.1. Comparação de Ajuste de Casos

O objetivo é comparar o ajuste feito no caso base do **sistema-teste de 9 barras**, no Capítulo 4, item 4.4.1, sem o uso de processo de otimização, com um ajuste realizado com a utilização de uma ferramenta com recursos de otimização.

O ajuste feito tinha como meta manter as tensões do sistema nas barras de carga entre 1,00 e 1,03 pu e as perdas no sistema num valor baixo.

Aqui o objetivo foi o mesmo, porém o ajuste foi realizado pela ferramenta de acordo com a função objetivo mostrada na Figura 5.2 que minimiza as perdas no sistema. Para isto, foi permitido ao programa alterar os despachos das usinas e as tensões de excitação

das máquinas de modo a obter o melhor ponto de operação, onde as perdas no sistema sejam minimizadas.

```

REST 01
.
DCTE
MXIT 100
JUMP 0.001
9999
.
... CONTROLES ATIVADOS: GERAÇÃO REATIVA, TENSÃO DE GERADOR E LTCs
DCON VGEN QGEN TAPC PGEN
.
... FUNÇÃO OBJETIVO: MINIMIZAR PERDAS
DOBJ LOSS ← Função objetivo
.
... RELATORIOS COMPLETOS
COMP
RELA RVAR
9999
.
DGLM
.Num...Qmin .Qmax .QminC.QmaxC
01 -122 122 -122 122
02 -96 96 -96 96
9999
.
DGEP
.Num...Pmin .Pmax
01 0 250
02 0 200
9999
.
DVGB
..Vmin Vmax VminCVmaxC
A .95 1.05 .90 1.1
99
.
DARI
01
9999
.
EXOT
.
FIM

```

Figura 5.2 – Dados de otimização e função objetivo

Essa comparação foi realizada para duas condições iniciais distintas: primeiro utilizando o caso mostrado na Figura 4.3, antes de qualquer ajuste, e em seguida, utilizando o caso mostrado na Figura 4.4 com os ajustes efetuados.

Os resultados obtidos para a primeira situação estão mostrados nas Figuras 5.3, 5.4 e 5.5.

SUMÁRIO DO CASO				
SHUNT	TOTAL	=		0.0 MVAR
CARGA	TOTAL	=	325.0 MW	153.0 MVAR
GERACAO	TOTAL	=	328.5 MW	32.7 MVAR (32.7 , 0.0)
INJECAO	EQUIV	=	0.0 MW	0.0 MVAR
INJ.	ALOCADA	=	0.0 MW	0.0 MVAR (0.0 , 0.0)
SHUNT	ALOCADO	=		0.0 MVAR (0.0N , 0.0N)
POT.	REJEIT.	=	0.0 MW	0.0 MVAR
SHUNT	CHAVEADO	=		0.0 MVAR (0.0N , 0.0N)
PERDA	TOTAL	=	3.5 MW	-120.3 MVAR
C.SERIE	ALOC.	=	0.000 %	0.00 MVAR
CARREG.	TOTAL	=	0.00 MW	0.00 MVAR
PEDAGIO		=	0.00 MW	0.00 MVAR
COMP.	ESTATICA	=		0.0 MVAR
SOMATORIO DAS FUNCOES OBJETIVO, PARTE ATIVA				= 3.53539500
SOMATORIO DAS FUNCOES OBJETIVO, PARTE REATIVA				= 0.00000000

Figura 5.3 - Sumário do caso

RELATÓRIO DE BARRAS CA DO SISTEMA											
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X											
NUM.	BARRA		TENSÃO			GERACAO		CARGA		SHUNT	
	NOME	TP	MOD	ANG	MW	MVAR	MW	MVAR	MVAR	EQUIV	
X---X-----X---X---X---X-----X-----X-----X-----X-----X											
1	BAR-1	GER1	2	1.028	0.0	149.5	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0
2	BAR-2	GER2	1	1.033	3.7	179.1	24.6	0.0	0.0	0.0	0.0
3	BAR-3		0	1.026	-4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	BAR-4		0	1.023	-3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	BAR-5	CAR1	0	1.009	-7.6	0.0	0.0	55.0	27.0	0.0	0.0
6	BAR-6	CAR2	0	1.019	-6.6	0.0	0.0	37.0	18.0	0.0	0.0
7	BAR-7	CAR3	0	1.004	-8.3	0.0	0.0	68.0	45.0	0.0	0.0
8	BAR-8	CAR4	0	1.016	-8.3	0.0	0.0	90.0	35.0	0.0	0.0
9	BAR-9	CAR5	0	1.000	-11.0	0.0	0.0	75.0	28.0	0.0	0.0

Figura 5.4 – Relatório de barras do sistema

Obs. Esta coluna corresponde ao carregamento dividido pela tensão, conhecido como Valor do fluxo corrigido pela tensão.

RELATÓRIO DE LINHAS 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	TENSAO	GERACAO										
NUM. KV TIPO	MOD/	MW/										
NOME	ANG	Mvar										
			PARA BARRA				FLUXOS				TAP	
			NUM.	NOME	NC	MW	Mvar	MVA/V_d				
1	1	2	1.028	149.5								
BAR-1	GER1	0.0	8.1									
					3	BAR-3	1	149.5	8.1	145.7	1.000F	
2	1	1	1.033	179.1								
BAR-2	GER2	3.7	24.6									
					4	BAR-4	1	179.1	24.6	175.0	1.000F	
3	1	0	1.026	0.0								
BAR-3		-4.3	0.0									
					1	BAR-1	GER1	1	-149.5	3.2	145.7	
					5	BAR-5	CAR1	1	64.7	0.6	63.0	
					8	BAR-8	CAR4	1	84.8	-3.8	82.7	
4	1	0	1.023	0.0								
BAR-4		-3.7	0.0									
					2	BAR-2	GER2	1	-179.1	-1.1	175.0	
					6	BAR-6	CAR2	1	72.8	-8.0	71.6	
					7	BAR-7	CAR3	1	106.3	9.1	104.2	
5	1	0	1.009	0.0								
BAR-5	CAR1	-7.6	0.0									
					3	BAR-3		1	-64.0	-13.2	64.8	
					7	BAR-7	CAR3	1	9.0	-13.8	16.3	
6	1	0	1.019	0.0								
BAR-6	CAR2	-6.6	0.0									
					4	BAR-4		1	-72.4	-3.9	71.1	
					8	BAR-8	CAR4	1	35.4	-14.1	37.4	
7	1	0	1.004	0.0								
BAR-7	CAR3	-8.3	0.0									
					4	BAR-4		1	-105.3	-17.0	106.2	
					5	BAR-5	CAR1	1	-9.0	-17.1	19.2	
					9	BAR-9	CAR5	1	46.3	-10.9	47.4	
8	1	0	1.016	0.0								
BAR-8	CAR4	-8.3	0.0									
					3	BAR-3		1	-84.1	-8.8	83.2	
					6	BAR-6	CAR2	1	-35.2	-11.4	36.5	
					9	BAR-9	CAR5	1	29.3	-14.8	32.3	
9	1	0	1.000	0.0								
BAR-9	CAR5	-11.0	0.0									
					7	BAR-7	CAR3	1	-46.0	-7.9	46.7	
					8	BAR-8	CAR4	1	-29.0	-20.1	35.3	

Figura 5.5 – Relatório de linhas do sistema

Os resultados obtidos para a segunda situação estão mostrados nas Figuras 5.6, 5.7 e 5.8.

SUMÁRIO DO CASO				
SHUNT	TOTAL	=		0.0 MVAR
CARGA	TOTAL	=	325.0 MW	153.0 MVAR
GERACAO	TOTAL	=	328.5 MW	32.8 MVAR (32.8 , 0.0)
INJECAO	EQUIV	=	0.0 MW	0.0 MVAR
INJ.	ALOCADA	=	0.0 MW	0.0 MVAR (0.0 , 0.0)
SHUNT	ALOCADO	=		0.0 MVAR (0.0N , 0.0N)
POT.	REJEIT.	=	0.0 MW	0.0 MVAR
SHUNT	CHAVEADO	=		0.0 MVAR (0.0N , 0.0N)
PERDA	TOTAL	=	3.5 MW	-120.2 MVAR
C.SERIE	ALOC.	=	0.000 %	0.00 MVAR
CARREG.	TOTAL	=	0.00 MW	0.00 MVAR
PEDAGIO		=	0.00 MW	0.00 MVAR
COMP.	ESTATICA	=		0.0 MVAR
SOMATORIO DAS FUNCOES OBJETIVO, PARTE ATIVA		=		3.53643708
SOMATORIO DAS FUNCOES OBJETIVO, PARTE REATIVA		=		0.00000000

Figura 5.6 – Sumário do caso

RELATÓRIO DE BARRAS AC DO SISTEMA - ÁREA 1											
NUM.	BARRA	NOME	TENSAO			GERACAO		CARGA		SHUNT	
			TP	MOD	ANG	MW	MVAR	MW	MVAR	MVAR	EQUIV
1	BAR-1	GER1	2	1.028	0.0	149.1	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	BAR-2	GER2	1	1.033	3.8	179.4	24.8	0.0	0.0	0.0	0.0
3	BAR-3		0	1.026	-4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	BAR-4		0	1.023	-3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	BAR-5	CAR1	0	1.009	-7.5	0.0	0.0	55.0	27.0	0.0	0.0
6	BAR-6	CAR2	0	1.019	-6.6	0.0	0.0	37.0	18.0	0.0	0.0
7	BAR-7	CAR3	0	1.004	-8.3	0.0	0.0	68.0	45.0	0.0	0.0
8	BAR-8	CAR4	0	1.016	-8.3	0.0	0.0	90.0	35.0	0.0	0.0
9	BAR-9	CAR5	0	1.000	-11.0	0.0	0.0	75.0	28.0	0.0	0.0

Figura 5.7 – Relatório de barras do sistema

RELATÓRIO DE LINHAS DO SISTEMA											
X----- 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		TENSAO GERACAO			PARA BARRA		FLUXOS				
NUM.	KV TIPO	MOD/	MW/		NUM.	NOME	NC	MW	Mvar	MVA/V_d	TAP
NOME		ANG	Mvar								
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X											
1	1 2	1.028	149.1								
BAR-1	GER1	0.0	8.0		3	BAR-3	1	149.1	8.0	145.3	1.000F
2	1 1	1.033	179.4		4	BAR-4	1	179.4	24.8	175.3	1.000F
BAR-2	GER2	3.8	24.8								
3	1 0	1.026	0.0		1	BAR-1	GER1	1	-149.1	3.2	145.3
BAR-3		-4.3	0.0		5	BAR-5	CAR1	1	64.6	0.6	62.9
					8	BAR-8	CAR4	1	84.5	-3.8	82.4
4	1 0	1.023	0.0		2	BAR-2	GER2	1	-179.4	-1.2	175.3
BAR-4		-3.7	0.0		6	BAR-6	CAR2	1	73.0	-7.9	71.7
					7	BAR-7	CAR3	1	106.4	9.1	104.4
5	1 0	1.009	0.0		3	BAR-3		1	-63.9	-13.2	64.6
BAR-5	CAR1	-7.5	0.0		7	BAR-7	CAR3	1	8.9	-13.8	16.2
6	1 0	1.019	0.0		4	BAR-4		1	-72.6	-3.9	71.3
BAR-6	CAR2	-6.6	0.0		8	BAR-8	CAR4	1	35.6	-14.1	37.5
7	1 0	1.004	0.0		4	BAR-4		1	-105.4	-17.0	106.4
BAR-7	CAR3	-8.3	0.0		5	BAR-5	CAR1	1	-8.9	-17.1	19.2
					9	BAR-9	CAR5	1	46.3	-10.9	47.4
8	1 0	1.016	0.0		3	BAR-3		1	-83.9	-8.8	83.0
BAR-8	CAR4	-8.3	0.0		6	BAR-6	CAR2	1	-35.4	-11.4	36.6
					9	BAR-9	CAR5	1	29.3	-14.8	32.3
9	1 0	1.000	0.0		7	BAR-7	CAR3	1	-46.1	-7.9	46.7
BAR-9	CAR5	-11.0	0.0		8	BAR-8	CAR4	1	-28.9	-20.1	35.3

Figura 5.8 – Relatório de linhas do sistema

Observa-se que tanto no primeiro quanto no segundo caso, o programa chegou praticamente ao mesmo resultado, o que mostra que ele foi eficaz apesar do pequeno ganho alcançado. A comparação permite concluir que o ajuste manual feito com a experiência do profissional estava adequado (vide item 4.4.1).

Esta situação demonstra também que a eficácia do programa é melhor percebida quando aplicado a sistemas grandes, onde não há condição de atuar de forma manual em todos os pontos simultaneamente. Para sistema muito pequeno como é o caso, onde se tem visibilidade de todo o sistema e conseqüentemente o controle de tudo, a potencialidade da ferramenta fica reduzida a poucas ações.

5.4.2. Realização de Ajuste para Suportar Contingência

O objetivo é realizar um ajuste no caso do **sistema-teste de 65 barras** utilizado no Capítulo 7, item 7.4.2, de modo que ele suporte a perda de um circuito da LT 500kV Ibiúna-Bateias.

O ponto de operação desse caso não suporta a perda deste elemento, pois não houve uma preocupação com a otimização do controle de tensão e, portanto dos fluxos de energia reativa no sistema. Para resolver essa restrição e permitir que o sistema suporte a ocorrência desta contingência, tentou-se encontrar um ajuste através do FLUPOT que não alterasse os despachos das usinas ou realizasse cortes de carga, para que o caso não se afastasse do ponto de operação definido inicialmente.

Foi utilizada a função objetivo de “*Mínimo Custo de Alocação de Elemento Shunt*”, permitindo ao programa, alterar as seguintes variáveis:

- tape de transformador;
- tensão em barra PV e conseqüente alteração na potência reativa gerada pelas máquinas e;
- montante de alocação de compensação reativa em derivação (“shunt”).

O resultado obtido com o FLUPOT demonstrou que, para atender a situação de contingência, foi necessário alocar 214,2 Mvar de elemento shunt capacitivo no sistema, conforme mostrado na Figura 5.9, que apresenta um sumário dos resultados.

SUMÁRIO DO CASO			
SHUNT	TOTAL	=	184.2 MVAR
CARGA	TOTAL	=	11738.1 MW 3349.0 MVAR
GERACAO	TOTAL	=	12091.9 MW 1380.1 MVAR (1599.8 , -219.7)
INJECAO	EQUIV	=	0.0 MW 0.0 MVAR
INJ.	ALOCADA	=	0.0 MW 214.2 MVAR (214.2 , 0.0)
SHUNT	ALOCADO	=	0.0 MVAR (0.0N , 0.0N)
POT.	REJEIT.	=	0.0 MW 0.0 MVAR
SHUNT	CHAVEADO	=	0.0 MVAR (0.0N , 0.0N)
PERDA	TOTAL	=	353.8 MW -1570.4 MVAR
C.SERIE	ALOC.	=	0.000 % 0.00 MVAR
CARREG.	TOTAL	=	0.00 MW 0.00 MVAR
PEDAGIO		=	0.00 MW 0.00 MVAR
COMP.	ESTATICA	=	0.0 MVAR
SOMATORIO DAS FUNCOES OBJETIVO,	PARTE ATIVA	=	0.00000000
SOMATORIO DAS FUNCOES OBJETIVO,	PARTE REATIVA	=	214.53435569

Figura 5.9 - Sumário do caso

A alocação foi feita nas seguintes barras do sistema, conforme mostra a Figura 5.10

RELATÓRIO DA POTÊNCIA REATIVA ALOCADA (> 1.0 MVAR)		
X-----	BARRA -----X	MVAR
102	POCOS----500	1.5
104	C.PAULIS-500	26.2
120	P.CALDAS-345	34.5
123	CAMPINAS-345	1.3
1503	ITAJUBA--500	93.8
1504	ITAJUBA--138	57.0

Figura 5.10 - Potência reativa alocada

Em seguida o FLUPOT retornou ao caso base para implementar os ajustes, operou as alterações nas barras (mostradas na Figura 5.10), alocou os montantes de compensação shunt capacitiva por conta da contingência e tentou resolver o fluxo de potência, mas não obteve êxito, ou seja, não encontrou uma solução matemática que satisfizesse aos critérios de convergência definidos no programa.

Na Figura 5.11 é mostrado o relatório emitido pelo programa, que apesar de não valer como resultado em função do caso não ter alcançado a convergência, ajuda a identificar o que pode ter ocorrido no processo de ajuste do caso-base. Possivelmente, quando o programa alocou os capacitores no sistema, o perfil de tensão ficou alto e algumas barras superaram o limite máximo. Na tentativa de resolver o problema, o

programa alterou a tensão terminal das máquinas, alocou mais compensação shunt para absorver potência reativa e reduzir a tensão e mesmo assim não encontrou solução.

SUMÁRIO DO CASO			
SHUNT	TOTAL =		220.1 MVAR
CARGA	TOTAL =	11738.1 MW	3349.0 MVAR
GERACAO	TOTAL =	12044.1 MW	-418.2 MVAR (416.6 , -834.8)
INJECAO	EQUIV =	0.0 MW	0.0 MVAR
INJ.	ALOCADA =	0.0 MW	0.0 MVAR (0.0 , 0.0)
SHUNT	ALOCADO =		113.4 MVAR (555.5N , -495.3N)
POT.	REJEIT. =	0.0 MW	0.0 MVAR
SHUNT	CHAVEADO =		0.0 MVAR (0.0N , 0.0N)
PERDA	TOTAL =	306.0 MW	-3433.6 MVAR
C.SERIE	ALOC. =	0.000 %	0.00 MVAR
CARREG.	TOTAL =	0.00 MW	0.00 MVAR
PEDAGIO	=	0.00 MW	0.00 MVAR
COMP.	ESTATICA =		0.0 MVAR
SOMATORIO	DAS FUNCOES OBJETIVO, PARTE ATIVA =		0.00000000
SOMATORIO	DAS FUNCOES OBJETIVO, PARTE REATIVA =		1051.49992374

Figura 5.11 - Sumário do caso

Observa-se neste caso que ocorre um conflito de ajuste entre o caso-base e o caso ajustado para suportar a contingência. Quando o programa volta ao caso-base promovendo as alterações que foram definidas no processo de otimização, ocorrem violações nos limites máximos de tensão em algumas barras do sistema.

Na Figura 5.12 são mostradas as barras onde o programa precisou alocar compensação reativa, sendo que na área Um foram alocados capacitores e na área Dois alocou um reator na barra de Curitiba.

RELATÓRIO DA POTÊNCIA REATIVA ALOCADA (> 1.0 MVAR)		
X-----	BARRA -----X	MVAR
101	ARARAQUA-500	220.8
102	POCOS----500	68.7
103	CAMPINAS-500	178.0
104	C.PAULIS-500	26.7
123	CAMPINAS-345	61.3
960	CURITIBA-230	-495.3

Figura 5.12 - Potência reativa alocada

A conclusão que se tira do processo realizado é que a solução para esse problema seria a instalação de uma fonte de injeção de energia reativa variável, que pode atuar nas duas condições operativas observadas.

Os resultados do programa mostrados na Figura 5.10 apontam a barra de 500kV de Itajubá como um ponto mais apropriado no sistema onde o elemento de compensação variável deveria ser instalado, devido ao maior montante de compensação alocado naquela região. Foi testada essa solução, com a instalação de um compensador síncrono de (-100, +250) Mvar nesse ponto e a contingência foi processada no Anarede que obteve êxito, convergindo o caso num ponto de operação satisfatório, com as grandezas do sistema dentro de seus limites operativos.

5.4.3. Minimização de Perdas Elétricas no Sistema

O objetivo desta avaliação foi atuar no caso do **sistema-teste de 65 barras** utilizado no item 5.4.2, realizando um ajuste ótimo global no sistema para reduzir o montante de perdas elétricas. Este procedimento vem sendo um requisito perseguido pelas empresas de energia elétrica, que têm buscado otimizar a operação dos seus sistemas com menor custo por megawatt gerado.

A realização desta otimização se justifica para uma condição hidrológica favorável nas duas áreas do sistema. Portanto foi feita uma avaliação comparativa entre o caso inicial e o resultado obtido.

A Figura 5.13 mostra o relatório de totais de área do caso inicial antes do processo de otimização. Nele pode ser observado que as perdas elétricas somam 386,7 MW e que existe um desequilíbrio nos valores de geração das áreas Um e Dois, sendo bem maior na área Dois.

RELATÓRIO DE TOTAIS DE ÁREA						
AREA	GERAÇÃO	CARGA	SHUNT	EXPORT	IMPORT	PERDAS
NUM.	MW/ Mvar	MW/ Mvar	Mvar/ EQUIV	MW/ Mvar	MW/ Mvar	MW/ Mvar
1	4674.8 -583.7	6007.0 1874.4	105.1 0.0	0.0 97.2	1404.3 0.0	72.1 -2450.2
2	7450.0 1389.6	5731.1 1474.6	92.6 0.0	1404.3 0.0	0.0 97.2	314.5 104.8
TOTAL	12124.8 805.9	11738.1 3349.0	197.7 0.0	1404.3 97.2	1404.3 97.2	386.7 -2345.4

Figura 5.13 – Relatório de totais de área do caso inicial

A Figura 5.14 mostra o relatório do sumário do caso obtido através do processo de otimização. Nele pode ser observado que as perdas elétricas foram reduzidas para 285,5 MW e a Figura 5.15 mostra que agora existe apenas um pequeno desequilíbrio entre a geração das duas áreas.

SUMÁRIO DO CASO			
SHUNT	TOTAL	=	225.4 MVAR
CARGA	TOTAL	=	11738.1 MW 3349.0 MVAR
GERACAO	TOTAL	=	12023.6 MW -912.4 MVAR (125.8 , -1038.1)
INJECAO	EQUIV	=	0.0 MW 0.0 MVAR
INJ.	ALOCADA	=	0.0 MW 0.0 MVAR (0.0 , 0.0)
SHUNT	ALOCADO	=	0.0 MVAR (0.0N , 0.0)
POT.	REJEIT.	=	0.0 MW 0.0 MVAR
SHUNT	CHAVEADO	=	0.0 MVAR (0.0N , 0.0)
PERDA	TOTAL	=	285.5 MW -4035.9 MVAR
C.SERIE	ALOC.	=	0.000 % 0.00 MVAR
CARREG.	TOTAL	=	0.00 MW 0.00 MVAR
PEDAGIO		=	0.00 MW 0.00 MVAR
COMP.	ESTATICA	=	0.0 MVAR
SOMATORIO DAS FUNCOES OBJETIVO, PARTE ATIVA		=	285.63380338
SOMATORIO DAS FUNCOES OBJETIVO, PARTE REATIVA		=	0.00000000

Figura 5.14 - Sumário do caso

RELATÓRIO DE TOTAIS DE ÁREA						
AREA	GERAÇÃO	CARGA	SHUNT	EXPORT	IMPORT	PERDAS
NUM.	MW/ Mvar	MW/ Mvar	Mvar/ EQUIV	MW/ Mvar	MW/ Mvar	MW/ Mvar
1	5328.3 -326.4	6007.0 1874.4	109.4 0.0	0.0 0.0	792.5 423.7	113.8 -1667.7
2	6695.4 -585.9	5731.1 1474.6	116.0 0.0	792.5 423.7	0.0 0.0	171.7 -2368.1
TOTAL	12023.6 -912.4	11738.1 3349.0	225.4 0.0	792.5 423.7	792.5 423.7	285.5 -4035.8

Figura 5.15 – Relatório de totais de área do caso otimizado

5.4.4. Minimização de Perdas Elétricas com Restrição na Área Sudeste

Foi utilizado o mesmo caso do item 5.4.3, mas considerando a existência de uma restrição energética na área Um (região Sudeste) por conta de uma hidraulicidade desfavorável. Esta restrição limitou o despacho em algumas usinas da região, reduzindo o montante de geração a 60% da capacidade total de geração da região.

A Figura 5.16 mostra o relatório de sumário do caso obtido através do processo de otimização e a Figura 5.17 mostra o relatório de totais de áreas do caso otimizado. Observa-se que o processo de otimização reduziu o montante de perdas de 386,7 MW para 290,6 MW, mesmo com a restrição energética imposta ao programa que limitou a capacidade de geração da área Um a 5.367 MW. O programa atuou elevando a geração na área Um de 4.674,8 MW para 4.964,8 MW, explorando a folga existente e consequentemente reduzindo a geração na área Dois.

SUMÁRIO DO CASO			
SHUNT	TOTAL =		225.7 MVAR
CARGA	TOTAL =	11738.1 MW	3349.0 MVAR
GERACAO	TOTAL =	12028.7 MW	-855.4 MVAR (248.1 , -1103.4)
INJECAO	EQUIV =	0.0 MW	0.0 MVAR
INJ.	ALOCADA =	0.0 MW	0.0 MVAR (0.0 , 0.0)
SHUNT	ALOCADO =		0.0 MVAR (0.0N , 0.0N)
POT.	REJEIT. =	0.0 MW	0.0 MVAR
SHUNT	CHAVEADO =		0.0 MVAR (0.0N , 0.0N)
PERDA	TOTAL =	290.6 MW	-3978.6 MVAR
C.SERIE	ALOC. =	0.000 %	0.00 MVAR
CARREG.	TOTAL =	0.00 MW	0.00 MVAR
PEDAGIO	=	0.00 MW	0.00 MVAR
COMP.	ESTATICA =		0.0 MVAR
SOMATORIO	DAS FUNCOES OBJETIVO, PARTE ATIVA =		290.54828085
SOMATORIO	DAS FUNCOES OBJETIVO, PARTE REATIVA =		0.00000000

Figura 5.16 - Sumário do caso

RELATÓRIO DE TOTAIS DE ÁREA						
X----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----
AREA	GERACAO	CARGA	SHUNT	EXPORT	IMPORT	PERDAS
NUM.	MW/ Mvar	MW/ Mvar	Mvar/ EQUIV	MW/ Mvar	MW/ Mvar	MW/ Mvar
X----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----
1	4964.8	6007.0	115.3	0.0	1126.1	83.8
	-724.3	1874.4	0.0	0.0	212.0	-2271.3
2	7063.9	5731.1	110.4	1126.1	0.0	206.7
	-131.1	1474.6	0.0	212.0	0.0	-1707.3
TOTAL	12028.7	11738.1	225.7	1126.1	1126.1	290.6
	-855.4	3349.0	0.0	212.0	212.0	-3978.6

Figura 5.17 - Relatório de totais de área do caso otimizado

5.4.5. Minimização de Perdas Elétricas com Restrição na Área Sul

Agora a situação é exatamente o oposto do que foi feito no item 5.4.4. A restrição ocorre na área Dois (região Sul) e a capacidade de geração total da área está limitada no máximo a 75 %, ou seja, 6.684 MW.

A Figura 5.18 mostra o relatório de sumário do caso obtido através do processo de otimização e a Figura 5.19 mostra o relatório de totais de áreas do caso otimizado. Observa-se que o processo de otimização reduziu o montante de perdas de 386,7 MW para 297,8 MW, mesmo com a restrição energética imposta ao programa, que reduziu a geração da área Dois até próximo do valor máximo disponível e complementou a necessidade do sistema aumentando a geração na área Um.

SUMÁRIO DO CASO			
SHUNT	TOTAL =		219.5 MVAR
CARGA	TOTAL =	11738.1 MW	3349.0 MVAR
GERACAO	TOTAL =	12035.9 MW	-674.8 MVAR (253.9 , -928.7)
INJECAO	EQUIV =	0.0 MW	0.0 MVAR
INJ.	ALOCADA =	0.0 MW	0.0 MVAR (0.0 , 0.0)
SHUNT	ALOCADO =		0.0 MVAR (0.0N , 0.0N)
POT.	REJEIT. =	0.0 MW	0.0 MVAR
SHUNT	CHAVEADO =		0.0 MVAR (0.0N , 0.0N)
PERDA	TOTAL =	297.8 MW	-3804.3 MVAR
C.SERIE	ALOC. =	0.000 %	0.00 MVAR
CARREG.	TOTAL =	0.00 MW	0.00 MVAR
PEDAGIO	=	0.00 MW	0.00 MVAR
COMP.	ESTATICA =		0.0 MVAR
SOMATORIO	DAS FUNCOES OBJETIVO, PARTE ATIVA =		297.81960306
SOMATORIO	DAS FUNCOES OBJETIVO, PARTE REATIVA =		0.00000000

Figura 5.18 - Sumário do caso

RELATÓRIO DE TOTAIS DE ÁREA						
AREA	GERACAO	CARGA	SHUNT	EXPORT	IMPORT	PERDAS
NUM.	MW/ Mvar	MW/ Mvar	Mvar/ EQUIV	MW/ Mvar	MW/ Mvar	MW/ Mvar
1	5406.5	6007.0	104.1	0.0	722.5	122.0
	-143.0	1874.4	0.0	0.0	467.6	-1445.7
2	6629.4	5731.1	115.4	722.5	0.0	175.8
	-531.8	1474.6	0.0	467.6	0.0	-2358.6
TOTAL	12035.9	11738.1	219.5	722.5	722.5	297.8
	-674.8	3349.0	0.0	467.6	467.6	-3804.2

Figura 5.19 - Relatório de totais de área do caso otimizado

As situações demonstradas nos itens 5.4.3, 5.4.4 e 5.4.5 mostraram que o programa conseguiu reduzir as perdas elétricas no sistema nas três condições definidas. Obviamente, a redução foi maior onde não havia restrições energéticas (item 5.4.3). Os itens 5.4.4 e 5.4.5 trataram situações particulares que em geral ocorrem em sistemas cuja base de geração é de origem hidráulica, que são dependentes das condições hidrológicas.

5.4.6. Maximização de Intercâmbio Entre Áreas

Algumas situações na operação de sistemas elétricos de potência podem requerer a exploração de máximo intercâmbio. Porém, a existência de um limite de energia transmitida por uma interligação muitas vezes fica abaixo da capacidade nominal de transmissão. Além disso, a operação do sistema com segurança é um requisito importante que exige cuidados e riscos calculados com a mínima possibilidade de interrupção de carga.

No planejamento da operação em regime permanente, estes estudos visam determinar os montantes máximos de transmissão de energia que podem ser praticados próximos de sua capacidade nominal, buscando-se utilizar de forma mais eficiente as linhas de transmissão existentes.

Para obtenção de máximo intercâmbio pode ser utilizado o programa de fluxo de potência ANAREDE. Porém uma forma mais precisa é o uso do programa FLUPOT. Nestas simulações são dadas as restrições do sistema e o FLUPOT tenta obter uma solução tal que não sejam violadas as restrições.

O enfoque nesta parte do trabalho é realizar, através do FLUPOT, a maximização do intercâmbio entre as áreas Sul e Sudeste, estabelecendo um carregamento máximo nas LT's 500 kV Ibiúna-Bateias C.1 e C.2, que não acarrete violações de limites no sistema em regime normal de operação considerando a rede completa. Como também na contingência de um dos circuitos, o valor do carregamento possa ser assumido pelo circuito remanescente sem violar o limite de emergência da linha.

No Capítulo 7, será avaliado o comportamento em regime dinâmico deste caso com o intercâmbio maximizado, frente à perda simples na interligação.

Foi utilizado neste estudo um caso de referência do **sistema-teste de 65 barras** apresentando as seguintes condições iniciais mostradas nas Tabelas 5.1 e 5.2:

Tabela 5.1 – Condições iniciais de geração e carga

Área	Geração (MW)	Carga (MW)	Folga (MW)	Perdas(MW)
Sudeste	5.441,2	6.018,3	3.505,0	134,1
Sul	6.695,4	5.806,9	2.216,6	177,6
Total	12,136,6	11.825,2	5.721,6	311,7

Tabela 5.2 – Intercâmbio e representação de carga

Intercâmbio	Sul → Sudeste = 718,4 MW
Carga ativa	Representada por 50% de impedância constante e 50% de potência constante
Carga reativa	Representada por 100% de impedância constante.

A situação considerada foi a maximização do intercâmbio no sentido do Sul para o Sudeste. Foi utilizada a função objetivo Máxima Transferência de Potência (MXTR) em conjunto as informações complementares das áreas vizinhas (cartão DTRF) as quais a transferência de potência deve ser maximizada. A Figura 5.20 apresenta os dados utilizados no processo de maximização.

```

REST 01
.
DCTE
MXIT 100
JUMP 0.001
9999
.
DCON VGEN QGEN PGEN
... CONTROLES ATIVADOS: GERAÇÃO REATIVA, TENSÃO DE GERADOR, LTCs E ELEMENTOS SHUNT
...
MANOBRAVEIS
.DCON VGEN QGEN TAPC SHNC
.
... FUNÇÃO OBJETIVO: MAXIMIZAÇÃO DE INTERCÂMBIO ENTRE ÁREAS
DOBJ MXTR ← Função objetivo
.
... RESTRIÇÃO DE CAPACIDADE NOMINAL DAS LINHAS
DRES FMVA
.
DCAQ
0000 500 500 1 1
9999
.
... 80% DO REATIVO DAS MAQUINAS (FOLGA EM REGIME NORMAL)
DGLM
.Num...Qmin .Qmax
18 -436 480
20 -512 512
48 -864 960
300 -352 313
301 -112 112
302 -120 120
303 -480 480
500 -432 432
800 -640 640
808 -480 480
810 -320 425
904 -380 380
915 -412 372
919 -118 176
925 -352 336
9999
.
DGEP
.Num...Pmin .Pmax
18 200 2280
20 110 1488
300 190 1192
301 80 400
302 110 510
303 180 1680
500 125 1396
800 240 1674
808 235 1240
810 180 1260
904 170 1450
915 260 1140
919 120 728
925 220 1420
9999
.
DTRF ← Indica o sentido da maximização, neste caso
02 01 da área 2 para área 1
9999
.

```

Figura 5.20 – Dados de otimização e função objetivo (continua na próxima página)

```

.
DVGB
..Vmin Vmax VminCVmaxC
A .95 1.05 .90 1.1
C .95 1.1 .90 1.1
B .95 1.07 .90 1.1
99
.
DARI
01
02
.
9999
.
EXOT
.
FIM
    
```

Figura 5.20 – Dados de otimização e função objetivo

Realizando o processo de otimização sobre o caso inicial, foram obtidos os seguintes resultados mostrados nas Figuras 5.21 e 5.22.

SUMÁRIO DO CASO			
SHUNT	TOTAL =		327.3 MVAR
CARGA	TOTAL =	11915.0 MW	3436.6 MVAR
GERACAO	TOTAL =	12249.8 MW	154.3 MVAR (894.0 , -739.8)
INJECAO	EQUIV =	0.0 MW	0.0 MVAR
INJ.	ALOCADA =	0.0 MW	0.0 MVAR (0.0 , 0.0)
SHUNT	ALOCADO =		0.0 MVAR (0.0N , 0.0N)
POT.	REJEIT. =	0.0 MW	0.0 MVAR
SHUNT	CHAVEADO =		0.0 MVAR (0.0N , 0.0N)
PERDA	TOTAL =	334.8 MW	-2955.1 MVAR
C.SERIE	ALOC. =	0.000 %	0.00 MVAR
CARREG.	TOTAL =	0.00 MW	0.00 MVAR
PEDAGIO	=	0.00 MW	0.00 MVAR
COMP.	ESTATICA =		0.0 MVAR
SOMATORIO DAS FUNCOES OBJETIVO, PARTE ATIVA		=	1526.46014080
SOMATORIO DAS FUNCOES OBJETIVO, PARTE REATIVA		=	0.00000000

Figura 5.21 – Sumário do caso

RELATÓRIO DE MAXIMIZAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA		
X-AREA ORIGEM-X	X-AREA DESTINO-X	X--VALOR--X
2	1	1526.36

Figura 5.22 – Intercâmbio máximo obtido

Observa-se que o programa conseguiu maximizar o intercâmbio Sul → Sudeste de 718,4 MW para 1.526,36 MW, elevando o carregamento em mais de duas vezes o valor inicial. O relatório mostrado na Figura 5.23 indica os pontos do sistema que limitaram um aumento maior no valor do intercâmbio.

RELATÓRIO DE GRANDEZAS NO LIMITE			
X--	LOCALIZACAO -X	GRANDEZA	V.LIMITE
	18 ITUMBIAR-3GR	Tensao em barra PV	1.0500 SUP
	20 MARIMBON-5GR	Tensao em barra PV	1.0500 SUP
	48 IBIUNA---1CS	Tensao em barra PV	1.0500 SUP
	800 GBMUNHOZ-4GR	Tensao em barra PV	1.0500 SUP
	808 SCAXIAS--4GR	Tensao em barra PV	1.0500 SUP
	810 SSEGREDO-4GR	Tensao em barra PV	1.0500 SUP
	904 ITA-----3GR	Tensao em barra PV	1.0500 SUP
	915 MACHADIN-2GR	Tensao em barra PV	1.0500 SUP
	925 SSANTIAG-3GR	Tensao em barra PV	1.0500 SUP
	960 CURITIBA-230	Tensao em barra de carga	0.9500 INF
	1047 SOSORIO--230	Tensao em barra de carga	1.0500 SUP
	2 535 -> 536	Fluxo em circuitos (MVA)	750.00 SUP

Figura 5.23 – Grandezas no limite

Este relatório apresenta as restrições encontradas pelo programa, sendo a maior parte delas em barras de geração que atingiram o limite superior de tensão. A Figura 5.24 mostra o redespacho de geração nas regiões Sudeste e Sul, com um deslocamento de geração entre as áreas. Apesar de ainda existir margem de potência ativa nas usinas da região Sul, o programa não alocou devido às restrições de tensão e carregamento da rede.

RELATÓRIO DE VARIAÇÃO DE CONTROLES							
X----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----
CONT	BARRA/CIRCUITO	VARIACAO					
TIPO	NUM	NOME	INICIAL	DESVIO	FINAL	UNID	ITER
X----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----	X-----
GE_P	18	ITUMBIAR-3GR	1314.0	-204.4	1109.6	MW	0
GE_P	20	MARIMBON-5GR	882.6	589.1	1471.7	MW	0
GE_P	300	EMBORCAC-3GR	760.9	4.0	764.9	MW	0
GE_P	301	JAGUARA--3GR	320.9	-18.7	302.2	MW	0
GE_P	302	N. PONTE--3GR	330.9	24.0	354.9	MW	0
GE_P	303	S. SIMAO--3GR	1080.9	-540.0	540.9	MW	0
GE_P	500	A. VERMEL-4GR	751.1	470.6	1221.7	MW	0
GE_P	800	GBMUNHOZ-4GR	1598.6	33.6	1632.2	MW	0
GE_P	808	SCAXIAS--4GR	941.7	-323.9	617.8	MW	0
GE_P	810	SSEGREDO-4GR	724.0	141.9	865.9	MW	0
GE_P	904	ITA-----3GR	944.0	481.4	1425.3	MW	0
GE_P	915	MACHADIN-2GR	1124.0	-9.3	1114.7	MW	0
GE_P	919	SOSOR1A4-4GR	480.9	-212.7	268.2	MW	0
GE_P	925	SSANTIAG-3GR	882.2	-281.1	601.1	MW	0
GE_V	18	ITUMBIAR-3GR	1.035	0.015	1.050	P.U.	0
GE_V	20	MARIMBON-5GR	1.020	0.030	1.050	P.U.	0

Figura 5.24 – Redespacho de geração e variação dos controles (continua na próxima página)

RELATÓRIO DE VARIAÇÃO DE CONTROLES							
CONT	BARRA/CIRCUITO	VARIACAO					
TIPO	NUM	NOME	INICIAL	DESVIO	FINAL	UNID	ITER
GE_V	48	IBIUNA---1CS	1.010	0.040	1.050	P.U.	0
GE_V	300	EMBORCAC-3GR	1.035	0.015	1.050	P.U.	0
GE_V	301	JAGUARA--3GR	1.035	0.013	1.048	P.U.	0
GE_V	302	N.PONTE--3GR	1.035	0.014	1.049	P.U.	0
GE_V	303	S.SIMAO--3GR	1.035	0.015	1.050	P.U.	0
GE_V	500	A.VERMEL-4GR	1.040	0.007	1.047	P.U.	0
GE_V	800	GBMUNHOZ-4GR	1.040	0.010	1.050	P.U.	0
GE_V	808	SCAXIAS--4GR	1.048	0.001	1.049	P.U.	0
GE_V	810	SSEGREDO-4GR	1.040	0.010	1.050	P.U.	0
GE_V	904	ITA-----3GR	1.040	0.010	1.050	P.U.	0
GE_V	915	MACHADIN-2GR	1.045	0.005	1.050	P.U.	0
GE_V	925	SSANTIAG-3GR	1.040	0.009	1.049	P.U.	0

Figura 5.24 – Redespacho de geração e variação dos controles

5.5. SUMÁRIO

Os estudos de fluxo de potência ótimo que foram realizados através dos sistemas-teste demonstraram ser este um recurso poderoso no ajuste de casos de fluxo de potência.

A constatação que foi feita é que, independentemente da dimensão do sistema, a otimização pode ser realizada, bastando definir as condições de interesse, sem esquecer que quanto maior for o número de restrições consideradas, mais difícil será a obtenção de resultados que atendam completamente a todos os objetivos. Por outro lado, quanto maior o grau de liberdade, melhor será a resposta. Desta forma, é preciso ponderar aquilo que realmente é importante colocar como restrição, para não tornar o processo sem solução, ou permitir um grau de liberdade muito grande e obter uma solução não adequada.

Uma outra observação é que toda e qualquer restrição, sejam elas de limites de equipamentos ou limites operativos, devem ser fornecidos ao programa para que o resultado obtido não seja um ponto de operação irrealizável ou inviável economicamente.

Este capítulo exemplificou o uso dos sistemas-teste propostos de 9 e 65 barras em estudos de otimização estática. As simulações realizadas encontram-se registradas nos arquivos dentro da pasta “Capítulo 5” no CD em apenso.

* * *

ANÁLISE DO REGIME ESTÁTICO EM CONDIÇÃO ANORMAL

6.1. INTRODUÇÃO

Na análise do regime estático em condição anormal são tipicamente realizados os estudos de curto-circuito e outras condições de desequilíbrio com a finalidade de calcular tensões e correntes num sistema durante uma condição de defeito. Um defeito do tipo curto-circuito acontece sempre que a condição de isolamento entre fases ou entre fase e terra é deteriorada. Isso pode ser causado pela ionização do ar em torno da cadeia de isoladores, devido por exemplo, a uma sobretensão causada por uma descarga atmosférica, ou a queda de uma linha de transmissão devido à ação do vento, que coloca as fases em contato direto com a terra.

Um curto-circuito produz corrente elevada, geralmente muito acima dos valores nominais dos componentes do sistema, que podem ser danificados se a proteção não atuar imediatamente. É importante isolar uma seção sob curto-circuito, tão rápido quanto possível, de modo a minimizar o super aquecimento do equipamento e/ou o surgimento de oscilações mecânicas não controladas nos geradores. Portanto, uma das principais finalidades do estudo de curto-circuito é determinar a capacidade de interrupção necessária para os disjuntores do sistema.

Os valores de corrente e tensão de curto-circuito determinados num estudo, são usados para o ajuste e calibração dos relés, dimensionamento dos disjuntores usados para isolar a parte do sistema onde ocorreu o defeito e definição das características dos equipamentos componentes do sistema de potência. A resposta do conjunto relé/disjuntor acontece numa escala de tempo de uns poucos ciclos (1 ciclo = 1/60 segundo). Portanto, os parâmetros subtransitórios e transitórios das máquinas síncronas devem ser usados.

Um estudo de curto-circuito envolve a simulação dos tipos de defeito mostrado na Tabela 6.1, em diferentes barras do sistema com a rede completa (condição mais severa),

podendo ser repetido para diferentes configurações do sistema com a rede alterada (linhas abertas ou fora de serviço). O cálculo do curto-circuito pode ser determinado a partir das condições da rede em situação de pré-defeito, solucionada através dos estudos de fluxo de potência. Na ausência desses estudos é usual admitir o sistema operando sem carga (sem corrente), com tensões de todos os barramentos iguais a unidade, inclusive as tensões internas das máquinas. Trata-se de uma aproximação razoável, pois normalmente a rede opera com tensões próximas à nominal e as correntes no sistema em condições normais de carga são bem inferiores às de curto-circuito.

Tabela 6.1 – Tipos de defeitos

Defeito	Tipo
Fase-Terra	Monofásico
Fase-Fase-Terra	Bifásico-Terra
Fase-Fase-Fase-Terra	Trifásico-Terra
Fase-Fase	Bifásico
Fase-Fase-Fase	Trifásico

Este capítulo tem como objetivo utilizar os sistemas-teste elaborados em aplicações realistas, abordando problemas típicos estudados nas empresas sob o enfoque de regime estático em condição anormal.

6.2. FERRAMENTA COMPUTACIONAL

O programa de curto-circuito utilizado para análise dos sistemas-teste foi o ANAFAS (Análise de Falhas Simultâneas) desenvolvido pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) [24], que é voltado para realização de estudos de análise de defeitos em sistemas elétricos, permitindo a modelagem fiel do sistema (carregamento pré-defeito, representação da capacitância das linhas e de cargas) e simulação de diversos tipos de defeito.

O programa possui vários outros recursos que permitem a realização de estudos mais específicos e avançados de curto-circuito, podendo-se destacar a ferramenta de “evolução do nível de curto”, que realiza a comparação entre configurações de dois anos distintos do

mesmo sistema, além de vários formatos e tipos de relatórios para apresentação de resultados.

6.3. PROCEDIMENTOS

Os arquivos para estudos de curtos-circuitos mantêm correspondência com os arquivos de fluxo de potência apenas no que diz respeito à topologia e os parâmetros das linhas e transformadores. Adicionalmente a estas informações, são necessárias a inclusão da rede de seqüência zero, as indutâncias mútuas das linhas paralelas e as reatâncias subtransitória dos geradores.

Os transformadores elevadores das usinas foram conectados em ligação Delta – Estrela com neutro aterrado. Esta ligação permite a circulação da corrente de seqüência positiva e bloqueia a circulação da corrente de seqüência zero. Na Figura 6.1 é mostrada a representação utilizada nos casos de fluxo de potência para os transformadores elevadores de usinas, e na Figura 6.2 a representação desse mesmo transformador utilizada nos casos de curto-circuito, tomando como exemplo ilustrativo a UHE de Luiz Carlos Barreto.

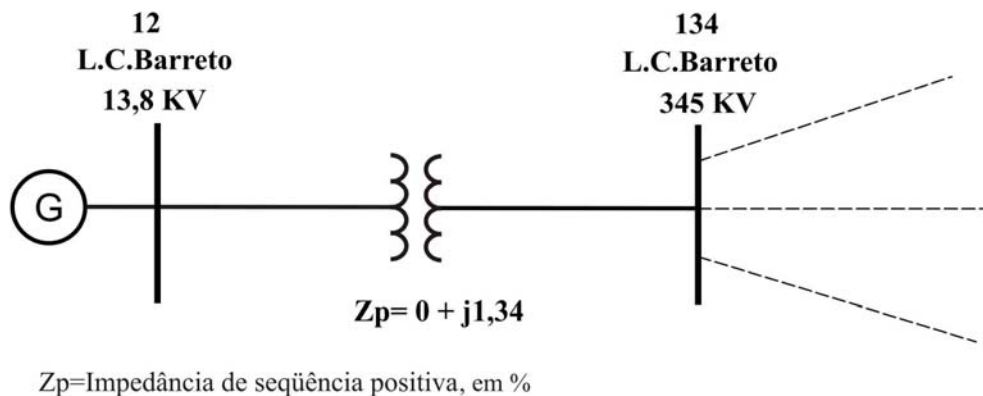


Figura 6.1 – Representação de transformador elevador de usina no fluxo de potência

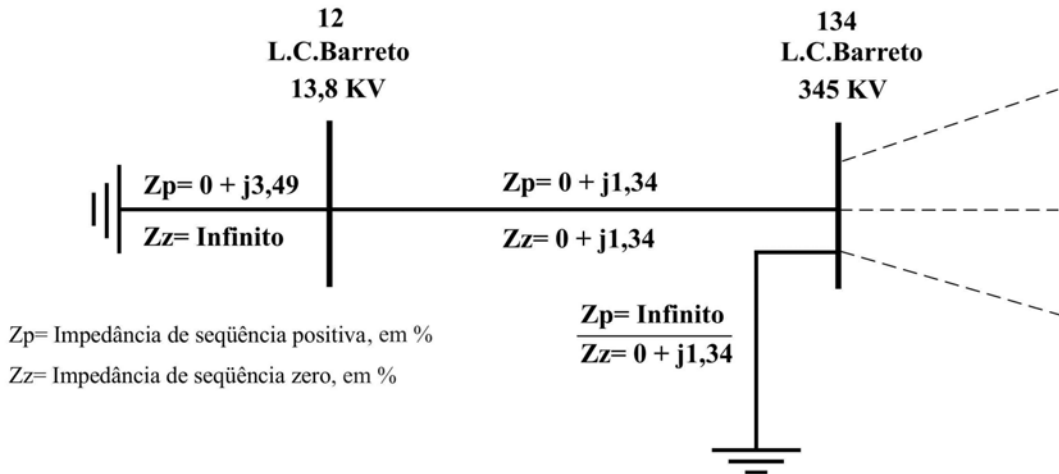


Figura 6.2 – Representação de transformador elevador de usina no curto-circuito

Os transformadores de três enrolamentos foram conectados em ligação Estrela com neutro aterrado – Estrela com neutro aterrado. A Figura 6.3 apresenta um exemplo ilustrativo, utilizando o transformador de 500/345/13,8kV de Adrianópolis, mostrando a representação utilizada nos casos de curto-circuito para os transformadores de três enrolamentos, onde são representadas apenas as barras do lado do primário e do secundário, o terciário foi omitido.

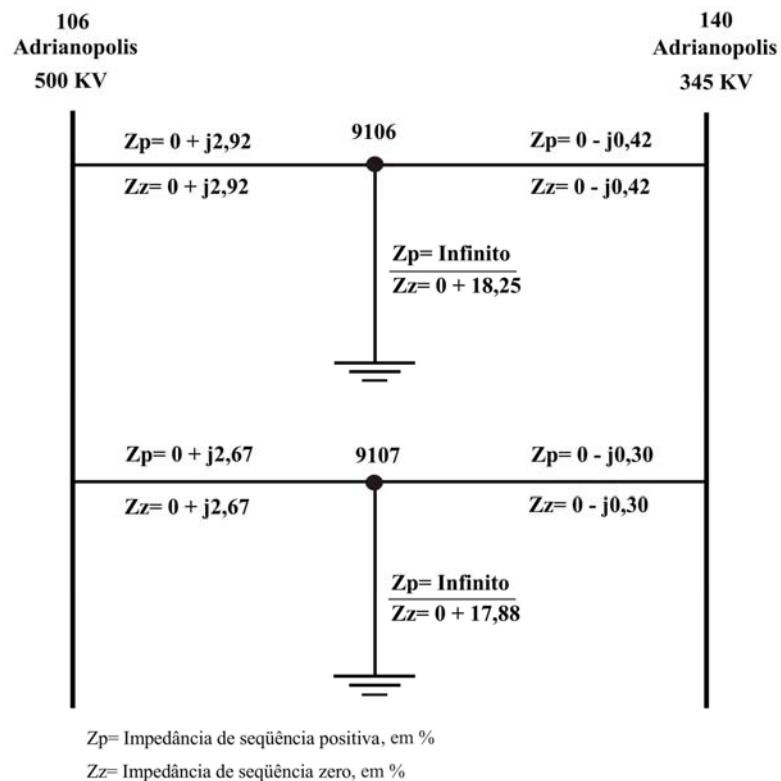


Figura 6.3 – Representação de transformador de três enrolamentos

6.3.1. Localização do Curto-Circuito

Num sistema elétrico de potência, qualquer elemento está sujeito a curtos-circuitos. Em linhas gerais, um sistema elétrico de potência pode ser visto como um conjunto contendo geração, transmissão e distribuição. Seus principais elementos são: os geradores que geram potência ativa e reativa, os transformadores que acoplam sistemas de corrente alternada de tensões diferentes e as linhas de transmissão que conectam subestações e transportam a potência ativa e reativa fornecidas pelos geradores.

Porém os dois pontos que estão mais sujeitos a curtos-circuitos são:

- Os barramentos, por serem os pontos aonde chegam e saem todas as linhas de uma subestação, diferindo nos tipos de arranjos existentes. Nesses barramentos ocorrem as manobras operativas, de manutenção ou não, que alteram a configuração do sistema.
- As linhas de transmissão, por possuírem grandes extensões e atravessarem regiões.

Ocorrendo um curto-circuito em uma linha de transmissão, entre duas subestações (meio da linha), a proteção irá atuar desligando a linha. O que diferencia um defeito do outro, em relação à localização do curto, é basicamente o valor das correntes de contribuição de curto-circuito que vem de cada um dos lados da linha em direção ao ponto de curto.

6.3.2. Tipos de Curto-Circuito

Em ordem de gravidade, em geral, os curtos-circuitos podem ser divididos nos seguintes tipos:

- curto-circuito trifásico;
- curto-circuito bifásico (aterrado ou não);
- curto-circuito monofásico.

As estatísticas feitas pelas empresas de energia elétrica sobre ocorrências em seus sistemas mostram que o tipo de curto-circuito monofásico é o que ocorre com maior

frequência [25, 42]. Existem ainda os denominados curtos-circuitos evolutivos que espelham a ocorrência temporal de uma combinação dos tipos supracitados.

6.3.3. Duração do Curto-Circuito

O tempo de isolamento do elemento em curto é calculado considerando o tempo de abertura do disjuntor, pela atuação da proteção, acrescido do tempo de atuação do relé. Na ausência de informações para a realização de estudos, a referência [11] apresenta os seguintes tempos típicos de isolamento do curto conforme o nível de tensão que estão apresentados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Tempos típicos de eliminação de defeitos

Tensão (kV)	Tempo de Eliminação (milisegundos)	
	Sem falha no Disjuntor	Com falha no Disjuntor
750	80	200
500	100	250
440	100	250
345	100	400
230	150	500
138	150	500
69	800	1000

6.3.4. Sensibilidade à Localização do Defeito

O curto-circuito tem efeito local. As contribuições mais significativas ocorrem até 3 ou 4 ramos (trechos ou vizinhanças) adiante do ponto de defeito. A partir daí, o valor da contribuição começa a ficar pequena, se aproximando do valor da corrente de carga.

6.3.5. Sensibilidade ao Tipo de Defeito

Um sistema elétrico deve possuir um sistema de proteção com sensibilidade adequada para detectar defeitos e velocidade para desligar o elemento defeituoso a tempo de evitar danos térmicos aos equipamentos, além de outras conseqüências indesejadas como prejuízo à qualidade de energia fornecida e à segurança dos consumidores.

Um sistema de proteção com tal requisito envolve entre outras coisas, o uso de sistemas de comunicação através de fibra ótica, o uso de relés microprocessados com elementos múltiplos, o uso de terminais remotos para aquisição de dados do sistema SCADA, provendo informações do estado operativo do sistema.

A distinção com relação ao tipo de defeito é feita através de zonas de proteção, onde os relés são ajustados para vários níveis de sensibilidade com temporizações maiores ou menores. Portanto, os dispositivos de proteção devem ser ajustados com sensibilidade suficiente para detectar defeito do tipo monofásico, bifásico ou trifásico no alcance necessário.

6.4. ESTUDOS DE PROBLEMAS TÍPICOS

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

- *Comparação dos níveis de curto-circuito;*
- *Verificação da capacidade de interrupção de corrente de curto-circuito;*
- *Cálculo do reator de curto-circuito para uso nas simulações de estabilidade;*
- *Curto-circuito em linhas paralelas;*
- *Comparação entre curto bifásico e curto bifásico-terra*

6.4.1. Comparação dos Níveis de Curto-Circuito

Neste estudo o objetivo é comparar os níveis de curto-circuito envolvendo os tipos de curto trifásico e monofásico, demonstrando que o curto-circuito trifásico nem sempre é o mais severo. Em alguns casos, como aqueles em barras de usinas ou próxima delas, o curto monofásico possui um valor mais alto que o curto trifásico. A importância disso está no dimensionamento de disjuntores, mostrando que para a definição da potência de curto deve-se analisar tanto o curto trifásico quanto o monofásico.

Para demonstrar esta situação, foi utilizado o **sistema-teste de 107 barras**, que possui um número maior de elementos, fornecendo valores mais próximos dos sistemas reais. A Tabela 6.3 apresenta os valores obtidos para este sistema na simulação de níveis de curto-circuito monofásico e trifásico.

Tabela 6.3 – Níveis de curto-circuito do sistema-teste 107 barras

BARRA	NOME	TENSÃO kV	CURTO TRIFÁSICO		CURTO MONOFÁSICO		FT>3F? %
			POTÊNCIA		POTÊNCIA		
			MÓDULO MVA	ÂNGULO GRAU	MÓDULO MVA	ÂNGULO GRAU	
12	UHE L.C.BARRETO	13,8	6.397,81	-89,2	7.999,40	-89,3	25,0
16	UHE FURNAS	13,8	5.787,14	-89,0	6.935,52	-89,1	19,8
18	UHE ITUMBIARA	13,8	11.787,13	-89,3	14.160,65	-89,4	20,1
20	UHE MARIMBONDO	13,8	8.303,40	-89,4	10.040,23	-89,4	20,9
21	UHE MANSO	13,8	501,76	-86,4	634,12	-86,9	26,4
22	UHE M.MORAES	13,8	1.783,34	-89,7	2.277,83	-89,7	27,7
35	UHE CORUMBÁ	13,8	2.497,49	-89,2	2.910,78	-89,2	16,5
48	CS IBIÚNA	13,8	7.217,57	-88,9	8.782,00	-89,1	21,7
86	IBIÚNA	345	7.423,67	-88,1	8.914,60	-88,4	20,1
100	MARIMBONDO	500	10.509,88	-88,0	11.843,32	-88,2	12,7
101	ARARAQUARA	500	6.854,59	-87,2	4.119,89	-84,3	
102	POÇOS DE CALDAS	500	4.939,32	-87,4	3.821,97	-85,3	
103	CAMPINAS	500	6.277,15	-87,0	4.795,10	-84,2	
104	CACHOEIRA PAULISTA	500	4.105,28	-86,8	3.333,10	-85,4	
106	ADRIANÓPOLIS	500	3.290,13	-86,6	2.754,86	-85,2	
120	POÇOS DE CALDAS	345	5.942,02	-86,8	4.688,37	-83,9	
122	IBIÚNA	500	7.555,83	-87,5	9.496,10	-87,7	25,7
123	CAMPINAS	345	3.523,00	-87,4	3.197,92	-86,3	
126	GUARULHOS	345	5.478,15	-87,2	3.260,85	-80,3	
131	M. DE MORAES	345	6.070,48	-86,9	5.557,21	-85,8	
134	L.C. BARRETO	345	8.754,01	-87,9	10.417,64	-87,8	19,0
136	FURNAS	345	7.146,80	-87,3	8.266,68	-87,3	15,7
138	ITUTINGA	345	3.092,19	-85,9	1.755,91	-77,9	
140	ADRIANÓPOLIS	345	2.930,87	-86,7	2.665,37	-85,7	
210	ITUMBIARA	500	13.028,44	-88,5	15.923,86	-88,4	22,2
213	MARIMBONDO	345	4.558,53	-87,9	4.518,01	-88,2	
216	PORTO COLÔMBIA	345	5.416,75	-86,8	3.884,95	-85,1	
217	ITUMBIARA	345	8.790,55	-88,5	10.028,13	-88,5	14,1
218	BANDEIRANTES	345	3.932,92	-86,4	2.055,25	-83,5	
219	BRASÍLIA SUL	345	4.412,78	-86,8	3.617,76	-84,8	
220	CORUMBÁ	345	4.104,70	-86,8	4.329,16	-86,5	5,5
225	ITUMBIARA	230	4.524,69	-89,0	5.133,72	-89,1	13,5
228	BRASÍLIA SUL	230	1.705,31	-88,8	1.815,37	-88,1	6,5
231	RIO VERDE	230	1.271,39	-83,6	670,56	-74,1	
233	SAMAMBAIA	500	5.055,24	-86,9	3.988,81	-85,0	
234	SAMAMBAIA	345	4.725,23	-87,0	3.977,17	-85,4	
300	EMBORÇAÇÃO	13,8	6.831,15	-89,3	8.193,97	-89,4	20,0
301	JAGUARA	13,8	4.126,89	-89,6	3.513,66	-89,2	
302	NOVA PONTE	13,8	4.372,75	-89,3	5.191,25	-89,3	18,7
303	SÃO SIMÃO	13,8	9.537,31	-89,4	7.602,71	-89,1	
305	VOLTA GRANDE	13,8	3.753,98	-89,0	4.362,17	-89,1	16,2
320	EMBORÇAÇÃO	500	8.949,01	-88,1	10.315,50	-87,9	15,3
325	JAGUARA	500	8.412,78	-88,2	8.724,74	-87,3	3,7
326	JAGUARA	345	8.247,29	-87,9	8.830,93	-86,8	7,1
360	NOVA PONTE	500	7.577,26	-87,9	8.441,20	-87,5	11,4
370	SÃO SIMÃO	500	10.454,67	-88,4	11.090,73	-88,0	6,1
396	VOLTA GRANDE	345	6.365,30	-87,2	7.016,91	-87,1	10,2
500	ÁGUA VERMELHA	13,8	6.979,19	-89,1	8.586,45	-89,2	23,0
535	ÁGUA VERMELHA	500	8.586,64	-88,1	10.359,32	-88,2	20,6
536	ÁGUA VERMELHA	440	3.467,14	-89,2	4.250,77	-89,3	22,6
800	G.B.MUNHOZ	13,8	10.622,90	-89,6	6.975,14	-89,0	
808	SALTO CAXIAS	13,8	9.447,66	-89,3	7.770,31	-89,0	
810	SALTO SEGREDO	13,8	12.302,98	-89,5	9.170,15	-89,2	
814	BATEIAS	230	5.262,39	-87,7	6.044,90	-87,4	14,9
824	G.B.MUNHOZ	500	12.987,49	-87,8	13.160,24	-87,0	1,3

BARRA	NOME	TENSÃO kV	CURTO TRIFÁSICO		CURTO MONOFÁSICO		FT>3F? %
			POTÊNCIA		POTÊNCIA		
			MÓDULO	ÂNGULO	MÓDULO	ÂNGULO	
			MVA	GRAU	MVA	GRAU	
834	SÃO MATEUS	230	1.373,70	-80,4	938,47	-76,8	
839	CASCADEL	230	4.031,96	-86,2	3.461,75	-81,8	
840	CASCADEL	138	1.720,60	-88,4	1.740,03	-86,6	1,1
848	FOZ DO CHOPIM	138	1.083,75	-88,4	1.123,21	-88,1	3,6
856	SEGREDO	500	14.289,60	-88,3	15.029,75	-87,8	5,2
895	BATEIAS	500	7.867,48	-86,5	7.900,66	-85,8	0,4
896	CASCADEL OESTE	500	6.269,04	-87,1	6.114,06	-85,4	
897	SALTO CAXIAS	500	9.402,15	-88,1	10.520,46	-87,9	11,9
898	FOZ DO CHOPIM	230	3.478,54	-85,0	3.305,54	-83,5	
904	ITÁ	13,8	10.268,79	-89,4	7.740,23	-88,9	
915	MACHADINHO	13,8	8.888,37	-89,6	5.518,68	-88,7	
919	SALTO OSÓRIO	13,8	4.865,37	-88,3	4.130,83	-88,6	
925	SALTO SANTIAGO	13,8	11.089,00	-89,7	7.435,74	-88,9	
933	AREIA	500	13.565,13	-87,8	13.775,87	-86,9	1,6
934	AREIA	230	5.938,30	-87,9	5.897,11	-87,6	
938	BLUMENAU	500	5.381,24	-85,9	6.065,86	-86,0	12,7
939	BLUMENAU	230	4.564,21	-86,3	5.195,19	-86,5	13,8
955	CAMPOS NOVOS	500	9.462,01	-87,3	7.785,87	-83,3	
959	CURITIBA	500	7.602,12	-86,4	7.996,44	-85,7	5,2
960	CURITIBA	230	5.453,55	-86,9	5.826,51	-86,6	6,8
964	CAXIAS	500	5.497,90	-87,0	5.904,03	-86,1	7,4
965	CAXIAS	230	4.114,14	-87,7	4.779,65	-87,3	16,2
976	GRAVATAÍ	500	4.537,97	-86,7	5.239,37	-86,6	15,5
995	ITÁ	500	10.780,12	-88,1	11.404,47	-87,5	5,8
1015	JOINVILLE	230	2.771,08	-82,5	2.043,88	-75,5	
1030	MACHADINHO	500	9.976,86	-87,9	9.591,17	-86,6	
1047	SALTO OSÓRIO	230	4.332,27	-86,3	4.945,32	-86,7	14,2
1060	SALTO SANTIAGO	500	14.103,07	-88,3	14.048,25	-87,1	
1210	GRAVATAÍ	230	3.787,50	-87,2	4.590,81	-87,3	21,2
1503	ITAJUBÁ	500	3.946,65	-86,9	3.437,41	-86,4	
1504	ITAJUBÁ	138	1.388,61	-88,9	1.812,24	-88,9	30,5
2458	CASCADEL	230	4.380,45	-87,2	4.793,38	-86,5	9,4
4501	BARRA DO PEIXE	230	956,83	-83,3	544,61	-75,7	
4521	ITIQUIRA	230	673,36	-83,0	770,25	-83,5	14,4
4522	RONDONÓPOLIS	230	1.063,98	-84,1	1.221,59	-83,9	14,8
4523	ITIQUIRA	13,8	430,26	-87,6	507,27	-87,9	17,9
4530	COXIPÓ-CE	12	460,33	-89,2	488,13	-89,2	6,0
4532	COXIPÓ	230	1.346,28	-87,6	1.615,30	-87,5	20,0
4533	COXIPÓ	138	1.442,72	-88,1	1.910,81	-88,2	32,4
4542	NOBRES	230	699,43	-84,8	677,40	-82,1	
4552	NOVA MUTUM	230	394,30	-82,9	233,28	-78,4	
4562	SORRISO	230	253,05	-82,1	144,96	-77,8	
4572	LUCAS RIO VERDE	230	295,40	-82,3	170,84	-78,0	
4582	SINOP	230	212,77	-81,8	120,80	-77,7	
4592	MANSO	230	569,65	-84,9	753,21	-85,4	32,2
4596	UTE CUIABÁ-GÁS	13,8	1.763,86	-88,9	1.771,04	-89,2	0,4
4623	RONDONÓPOLIS	138	811,11	-84,6	1.024,55	-84,9	26,3
4703	CUIABÁ	138	1.232,87	-85,2	1.165,63	-82,5	
4804	GUAPORÉ	13,8	705,52	-88,4	882,09	-88,7	25,0
4805	GUAPORÉ	138	649,35	-86,3	797,47	-86,7	22,8
4807	JAURU	138	686,63	-86,6	746,30	-86,4	8,7
4862	JAURU	230	726,26	-86,3	726,19	-86,2	

FT = Curto fase-terra 3F = Curto trifásico

Na última coluna da Tabela 6.3 foi feita uma comparação entre os tipos de curto, indicando percentualmente aqueles onde o valor do curto monofásico ficou maior que o trifásico, chegando por exemplo a 32,4% na barra de 138kV de Coxipó, o que demonstra que em certas situações o curto monofásico é mais severo.

Os níveis de curto calculados na Tabela 6.3 referem-se à potência de curto-circuito. Esta grandeza é usada para definir a severidade do curto, e é indicada nos dispositivos de corte de corrente de defeito.

6.4.2. Verificação da Capacidade de Interrupção de Corrente de Curto-Circuito

O objetivo deste estudo é verificar situações onde a capacidade de interrupção de corrente de curto-circuito dos disjuntores possa estar superada ou próxima da superação. Para realizar esse teste, foi considerado que todos os disjuntores do sistema têm um valor nominal de interrupção de corrente igual a 15kA.

A partir dos valores da Tabela 6.3, obtidos na simulação do item 6.4.1, foi calculado o valor da corrente de curto, que é a grandeza utilizada no dimensionamento de disjuntores. Os valores obtidos estão mostrados na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Potência e corrente de curto-circuito do sistema-teste 107 barras

BARRA	NOME	TENSÃO kV	CURTO TRIFÁSICO			CURTO MONOFÁSICO			MAX kA	DISJ kA	VF
			POTÊNCIA		CORREN	POTÊNCIA		CORREN			
			MÓD	ÂNG	MÓD	MÓD	ÂNG	MÓD			
			MVA	GRAU	kA	MVA	GRAU	kA			
12	UHE L.C.BARRETO	13,8	6.397,81	-89,2	267,665	7.999,40	-89,3	334,671	334,7	x	
16	UHE FURNAS	13,8	5.787,14	-89,0	242,116	6.935,52	-89,1	290,161	290,2	x	
18	UHE ITUMBIARA	13,8	11.787,13	-89,3	493,138	14.160,65	-89,4	592,439	592,4	x	
20	UHE MARIMBONDO	13,8	8.303,40	-89,4	347,389	10.040,23	-89,4	420,053	420,1	x	
21	UHE MANSO	13,8	501,76	-86,4	20,992	634,12	-86,9	26,530	26,5	x	
22	UHE M.MORAES	13,8	1.783,34	-89,7	74,610	2.277,83	-89,7	95,298	95,3	x	
35	UHE CORUMBÁ	13,8	2.497,49	-89,2	104,487	2.910,78	-89,2	121,778	121,8	x	
48	CS IBIÚNA	13,8	7.217,57	-88,9	301,961	8.782,00	-89,1	367,412	367,4	x	
86	IBIÚNA	345	7.423,67	-88,1	12,423	8.914,60	-88,4	14,918	14,9	15,0	VF
100	MARIMBONDO	500	10.509,88	-88,0	12,136	11.843,32	-88,2	13,675	13,7	15,0	VF
101	ARARAQUARA	500	6.854,59	-87,2	7,915	4.119,89	-84,3	4,757	7,9	15,0	
102	POÇOS DE CALDAS	500	4.939,32	-87,4	5,703	3.821,97	-85,3	4,413	5,7	15,0	
103	CAMPINAS	500	6.277,15	-87,0	7,248	4.795,10	-84,2	5,537	7,2	15,0	
104	C.PAULISTA	500	4.105,28	-86,8	4,740	3.333,10	-85,4	3,849	4,7	15,0	
106	ADRIANÓPOLIS	500	3.290,13	-86,6	3,799	2.754,86	-85,2	3,181	3,8	15,0	
120	POÇOS DE CALDAS	345	5.942,02	-86,8	9,944	4.688,37	-83,9	7,846	9,9	15,0	
122	IBIÚNA	500	7.555,83	-87,5	8,725	9.496,10	-87,7	10,965	11,0	15,0	
123	CAMPINAS	345	3.523,00	-87,4	5,896	3.197,92	-86,3	5,352	5,9	15,0	
126	GUARULHOS	345	5.478,15	-87,2	9,168	3.260,85	-80,3	5,457	9,2	15,0	
131	M. DE MORAES	345	6.070,48	-86,9	10,159	5.557,21	-85,8	9,300	10,2	15,0	

BARRA	NOME	TENSÃO kV	CURTO TRIFÁSICO			CURTO MONOFÁSICO			MAX kA	DISJ kA	VF
			POTÊNCIA		CORREN	POTÊNCIA		CORREN			
			MÓD	ÂNG	MÓD	MÓD	ÂNG	MÓD			
			MVA	GRAU	kA	MVA	GRAU	kA			
134	L.C.BARRETO	345	8.754,01	-87,9	14,650	10.417,64	-87,8	17,434	17,4	15,0	VF
136	FURNAS	345	7.146,80	-87,3	11,960	8.266,68	-87,3	13,834	13,8	15,0	VF
138	ITUTINGA	345	3.092,19	-85,9	5,175	1.755,91	-77,9	2,938	5,2	15,0	
140	ADRIANÓPOLIS	345	2.930,87	-86,7	4,905	2.665,37	-85,7	4,460	4,9	15,0	
210	ITUMBIARA	500	13.028,44	-88,5	15,044	15.923,86	-88,4	18,387	18,4	15,0	VF
213	MARIMBONDO	345	4.558,53	-87,9	7,629	4.518,01	-88,2	7,561	7,6	15,0	
216	P.COLÔMBIA	345	5.416,75	-86,8	9,065	3.884,95	-85,1	6,501	9,1	15,0	
217	ITUMBIARA	345	8.790,55	-88,5	14,711	10.028,13	-88,5	16,782	16,8	15,0	VF
218	BANDEIRANTES	345	3.932,92	-86,4	6,582	2.055,25	-83,5	3,439	6,6	15,0	
219	BRÁSILIA SUL	345	4.412,78	-86,8	7,385	3.617,76	-84,8	6,054	7,4	15,0	
220	CORUMBÁ	345	4.104,70	-86,8	6,869	4.329,16	-86,5	7,245	7,2	15,0	
225	ITUMBIARA	230	4.524,69	-89,0	11,358	5.133,72	-89,1	12,887	12,9	15,0	
228	BRÁSILIA SUL	230	1.705,31	-88,8	4,281	1.815,37	-88,1	4,557	4,6	15,0	
231	RIO VERDE	230	1.271,39	-83,6	3,191	670,56	-74,1	1,683	3,2	15,0	
233	SAMAMBAIA	500	5.055,24	-86,9	5,837	3.988,81	-85,0	4,606	5,8	15,0	
234	SAMAMBAIA	345	4.725,23	-87,0	7,908	3.977,17	-85,4	6,656	7,9	15,0	
300	EMBORCAÇÃO	13,8	6.831,15	-89,3	285,795	8.193,97	-89,4	342,811	342,8	x	
301	JAGUARA	13,8	4.126,89	-89,6	172,657	3.513,66	-89,2	147,001	172,7	x	
302	NOVA PONTE	13,8	4.372,75	-89,3	182,943	5.191,25	-89,3	217,186	217,2	x	
303	SÃO SIMÃO	13,8	9.537,31	-89,4	399,012	7.602,71	-89,1	318,074	399,0	x	
305	VOLTA GRANDE	13,8	3.753,98	-89,0	157,055	4.362,17	-89,1	182,500	182,5	x	
320	EMBORCAÇÃO	500	8.949,01	-88,1	10,333	10.315,50	-87,9	11,911	11,9	15,0	
325	JAGUARA	500	8.412,78	-88,2	9,714	8.724,74	-87,3	10,074	10,1	15,0	
326	JAGUARA	345	8.247,29	-87,9	13,802	8.830,93	-86,8	14,778	14,8	15,0	VF
360	NOVA PONTE	500	7.577,26	-87,9	8,749	8.441,20	-87,5	9,747	9,7	15,0	
370	SÃO SIMÃO	500	10.454,67	-88,4	12,072	11.090,73	-88,0	12,806	12,8	15,0	
396	VOLTA GRANDE	345	6.365,30	-87,2	10,652	7.016,91	-87,1	11,743	11,7	15,0	
500	A.VERMELHA	13,8	6.979,19	-89,1	291,988	8.586,45	-89,2	359,231	359,2	x	
535	A.VERMELHA	500	8.586,64	-88,1	9,915	10.359,32	-88,2	11,962	12,0	15,0	
536	A.VERMELHA	440	3.467,14	-89,2	4,549	4.250,77	-89,3	5,578	5,6	15,0	
800	G.B.MUNHOZ	13,8	10.622,90	-89,6	444,430	6.975,14	-89,0	291,819	444,4	x	
808	SALTO CAXIAS	13,8	9.447,66	-89,3	395,262	7.770,31	-89,0	325,086	395,3	x	
810	SALTO SEGREDO	13,8	12.302,98	-89,5	514,719	9.170,15	-89,2	383,651	514,7	x	
814	BATEIAS	230	5.262,39	-87,7	13,210	6.044,90	-87,4	15,174	15,2	15,0	VF
824	G.B.MUNHOZ	500	12.987,49	-87,8	14,997	13.160,24	-87,0	15,196	15,2	15,0	VF
834	SÃO MATEUS	230	1.373,70	-80,4	3,448	938,47	-76,8	2,356	3,4	15,0	
839	CASCAVEL	230	4.031,96	-86,2	10,121	3.461,75	-81,8	8,690	10,1	15,0	
840	CASCAVEL	138	1.720,60	-88,4	7,198	1.740,03	-86,6	7,280	7,3	15,0	
848	FOZ DO CHOPIN	138	1.083,75	-88,4	4,534	1.123,21	-88,1	4,699	4,7	15,0	
856	SEGREDO	500	14.289,60	-88,3	16,500	15.029,75	-87,8	17,355	17,4	15,0	VF
895	BATEIAS	500	7.867,48	-86,5	9,085	7.900,66	-85,8	9,123	9,1	15,0	
896	CASCAVEL OESTE	500	6.269,04	-87,1	7,239	6.114,06	-85,4	7,060	7,2	15,0	
897	SALTO CAXIAS	500	9.402,15	-88,1	10,857	10.520,46	-87,9	12,148	12,1	15,0	
898	FOZ DO CHOPIN	230	3.478,54	-85,0	8,732	3.305,54	-83,5	8,298	8,7	15,0	
904	ITÁ	13,8	10.268,79	-89,4	429,615	7.740,23	-88,9	323,828	429,6	x	
915	MACHADINHO	13,8	8.888,37	-89,6	371,863	5.518,68	-88,7	230,885	371,9	x	
919	SALTO OSÓRIO	13,8	4.865,37	-88,3	203,552	4.130,83	-88,6	172,821	203,6	x	
925	SALTO SANTIAGO	13,8	11.089,00	-89,7	463,930	7.435,74	-88,9	311,089	463,9	x	
933	AREIA	500	13.565,13	-87,8	15,664	13.775,87	-86,9	15,907	15,9	15,0	VF
934	AREIA	230	5.938,30	-87,9	14,906	5.897,11	-87,6	14,803	14,9	15,0	VF
938	BLUMENAU	500	5.381,24	-85,9	6,214	6.065,86	-86,0	7,004	7,0	15,0	
939	BLUMENAU	230	4.564,21	-86,3	11,457	5.195,19	-86,5	13,041	13,0	15,0	
955	CAMPOS NOVOS	500	9.462,01	-87,3	10,926	7.785,87	-83,3	8,990	10,9	15,0	
959	CURITIBA	500	7.602,12	-86,4	8,778	7.996,44	-85,7	9,233	9,2	15,0	
960	CURITIBA	230	5.453,55	-86,9	13,690	5.826,51	-86,6	14,626	14,6	15,0	VF
964	CAXIAS	500	5.497,90	-87,0	6,348	5.904,03	-86,1	6,817	6,8	15,0	
965	CAXIAS	230	4.114,14	-87,7	10,327	4.779,65	-87,3	11,998	12,0	15,0	
976	GRAVATAÍ	500	4.537,97	-86,7	5,240	5.239,37	-86,6	6,050	6,0	15,0	
995	ITÁ	500	10.780,12	-88,1	12,448	11.404,47	-87,5	13,169	13,2	15,0	
1015	JOINVILLE	230	2.771,08	-82,5	6,956	2.043,88	-75,5	5,131	7,0	15,0	
1030	MACHADINHO	500	9.976,86	-87,9	11,520	9.591,17	-86,6	11,075	11,5	15,0	
1047	SALTO OSÓRIO	230	4.332,27	-86,3	10,875	4.945,32	-86,7	12,414	12,4	15,0	
1060	SALTO SANTIAGO	500	14.103,07	-88,3	16,285	14.048,25	-87,1	16,222	16,3	15,0	VF
1210	GRAVATAÍ	230	3.787,50	-87,2	9,507	4.590,81	-87,3	11,524	11,5	15,0	

BARRA	NOME	TENSÃO kV	CURTO TRIFÁSICO			CURTO MONOFÁSICO			MAX kA	DISJ kA	VF
			POTÊNCIA		CORREN	POTÊNCIA		CORREN			
			MÓD	ÂNG	MÓD	MÓD	ÂNG	MÓD			
			MVA	GRAU	kA	MVA	GRAU	kA			
1503	ITAJUBÁ	500	3.946,65	-86,9	4,557	3.437,41	-86,4	3,969	4,6	15,0	
1504	ITAJUBÁ	138	1.388,61	-88,9	5,810	1.812,24	-88,9	7,582	7,6	15,0	
2458	CASCADEL	230	4.380,45	-87,2	10,996	4.793,38	-86,5	12,032	12,0	15,0	
4501	BARRA DO PEIXE	230	956,83	-83,3	2,402	544,61	-75,7	1,367	2,4	15,0	
4521	ITIQUIRA	230	673,36	-83,0	1,690	770,25	-83,5	1,933	1,9	15,0	
4522	RONDONÓPOLIS	230	1.063,98	-84,1	2,671	1.221,59	-83,9	3,066	3,1	15,0	
4523	ITIQUIRA	13,8	430,26	-87,6	18,001	507,27	-87,9	21,223	21,2	x	
4530	COXIPÓ-CE	12	460,33	-89,2	22,148	488,13	-89,2	23,485	23,5	x	
4532	COXIPÓ	230	1.346,28	-87,6	3,379	1.615,30	-87,5	4,055	4,1	15,0	
4533	COXIPÓ	138	1.442,72	-88,1	6,036	1.910,81	-88,2	7,994	8,0	15,0	
4542	NOBRES	230	699,43	-84,8	1,756	677,40	-82,1	1,700	1,8	15,0	
4552	NOVA MUTUM	230	394,30	-82,9	0,990	233,28	-78,4	0,586	1,0	15,0	
4562	SORRISO	230	253,05	-82,1	0,635	144,96	-77,8	0,364	0,6	15,0	
4572	LUCAS RIO VERDE	230	295,40	-82,3	0,742	170,84	-78,0	0,429	0,7	15,0	
4582	SINOP	230	212,77	-81,8	0,534	120,80	-77,7	0,303	0,5	15,0	
4592	MANSO	230	569,65	-84,9	1,430	753,21	-85,4	1,891	1,9	15,0	
4596	UTE CUIABÁ -GÁS	13,8	1.763,86	-88,9	73,795	1.771,04	-89,2	74,095	74,1	x	
4623	RONDONÓPOLIS	138	811,11	-84,6	3,393	1.024,55	-84,9	4,286	4,3	15,0	
4703	CUIABÁ	138	1.232,87	-85,2	5,158	1.165,63	-82,5	4,877	5,2	15,0	
4804	GUAPORÉ	13,8	705,52	-88,4	29,517	882,09	-88,7	36,904	36,9	x	
4805	GUAPORÉ	138	649,35	-86,3	2,717	797,47	-86,7	3,336	3,3	15,0	
4807	JAURU	138	686,63	-86,6	2,873	746,30	-86,4	3,122	3,1	15,0	
4862	JAURU	230	726,26	-86,3	1,823	726,19	-86,2	1,823	1,8	15,0	

VF = Verificar MAX = Corrente máxima DISJ = Disjuntor

Para auxiliar nessa análise, foram criadas três colunas na extremidade à direita da Tabela 6.4. A primeira (MAX) indicando o valor máximo da corrente (em kA) considerando os tipos de curto trifásico e monofásico. Outra coluna (DISJ) onde foi colocado o valor da capacidade dos disjuntores considerados (15 kA), exceto nas barras de usinas, síncronos ou estáticos nas quais foi posto um “x” para indicar que aquela barra não será avaliada. Em geral não se instala disjuntor neste tipo de barra pelo elevado nível de curto-circuito, sendo a eliminação de defeito feita pelo disjuntor de alta tensão do transformador elevador. Na última coluna é verificado se o valor máximo da corrente de curto na barra, aumentada de 10% de margem de segurança, supera a capacidade do menor disjuntor ligado à barra. Os casos onde esse valor superou o valor do disjuntor, foram indicados com o *status* VF (verificar). Esses disjuntores são selecionados para serem acompanhados em detalhes, e verificados sobre o aspecto das correntes de contribuição de curto, conforme o exemplo apresentado na Figura 6.4 para a subestação de Marimbondo 500kV, que possui corrente total de curto de 13,675 kA.

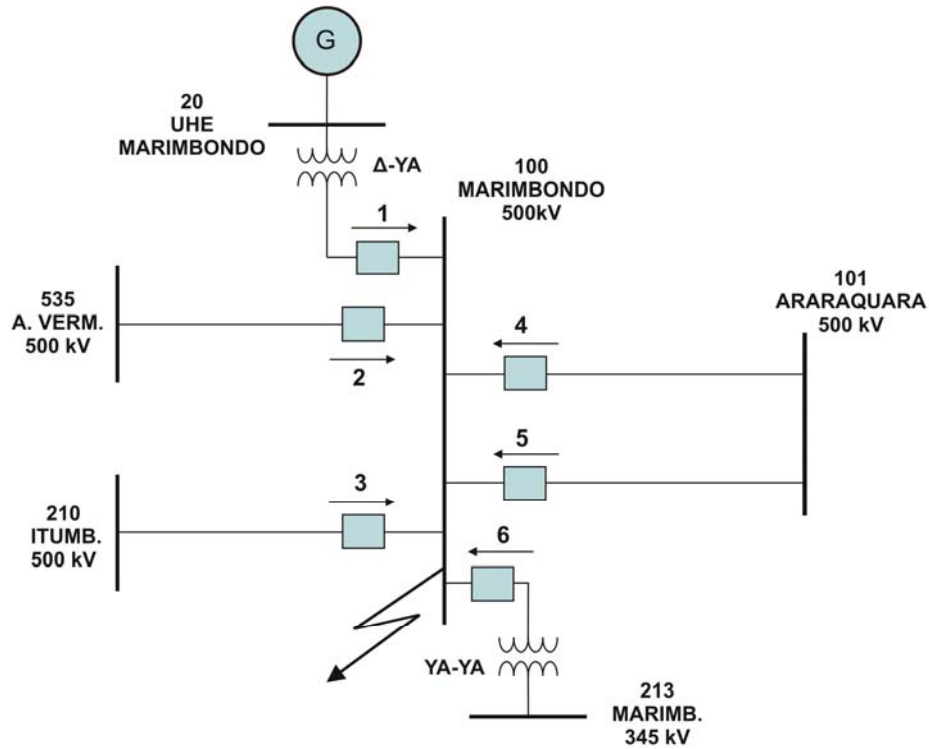


Figura 6.4 – Curto-circuito na barra de 500kV de Marimbondo

Supondo um curto-circuito monofásico na barra de 500kV de Marimbondo, as correntes de contribuição vindas dos diferentes pontos, e que passam pelos respectivos disjuntores, estão mostradas na Tabela 6.5.

Tabela 6.5 – Contribuição das correntes de curto-circuito para a barra de Marimbondo-500kV

Contribuição de curto			
Barras	Circuito	Corrente (A)	Nº Disjuntor
101 – 100	LT Araraquara-Marimbondo C1	967	4
101 – 100	LT Araraquara-Marimbondo C2	974	5
210 – 100	LT Itumbiara-Marimbondo	2208	3
535 – 100	LT A. Vermelha-Marimbondo	2209	2
13 – 100	TR 500/345kV Marimbondo	1198	6
20 – 100	UHE Marimbondo	3853	1
0	Referência	2272	
Total		13681	

Analisando as contribuições, observa-se que nesta situação, curto na barra, os módulos das correntes que passam pelos disjuntores não superam a sua capacidade de interrupção.

A contribuição vinda da referência se deve à ligação dos transformadores elevadores da usina de Marimbondo, que faz com que o curto fase-terra seja maior que o trifásico.

A Figura 6.5 mostra uma situação mais crítica, com o curto-circuito ocorrendo na LT 500kV Marimbondo-Araraquara C.2, após o disjuntor.

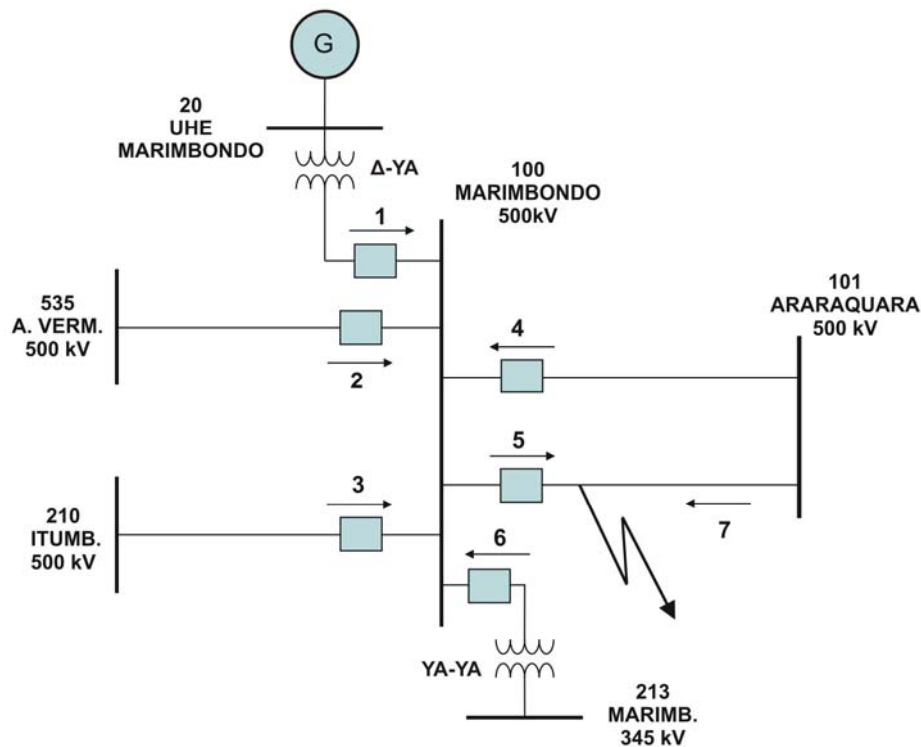


Figura 6.5 – Curto depois do disjuntor nº 5 da LT 500kV Marimbondo-Araraquara

Nesta situação, o disjuntor 5 tem que ser capaz de interromper as correntes de curto vindas dos pontos 1, 2, 3, 4, 6 e da referência ou o curto total na barra menos a contribuição vinda do ponto 7. Da Tabela 6.4 obtemos os valores de cada uma delas, e seu total corresponde a 12.707 A. Neste caso, o valor está abaixo do valor nominal do disjuntor, o que demonstra que ainda não ocorreu superação da capacidade de nenhum disjuntor no barramento de 500kV desta subestação.

6.4.3. Cálculo do Reator de Curto-Circuito para Uso nas Simulações de Estabilidade

Neste estudo será exemplificado o cálculo do reator equivalente de curto-circuito para utilização no programa ANATEM em simulação dinâmica de defeitos no sistema.

Este procedimento é realizado devido ao fato do sistema utilizado nos estudos de fluxo de potência possuir apenas representação da rede de seqüência positiva. Para simular as redes de seqüência negativa e zero recorre-se ao procedimento a seguir, que é válido em virtude da potência elétrica em componentes de fase ser igual à potência elétrica em componente de seqüência. Uma justificativa dessa afirmação pode ser encontrada na referência [25].

Para o cálculo dos reatores de curto foram utilizadas as equações abaixo. O uso das mesmas é a seguir exemplificado para a barra de Ibiúna (vide primeira linha da Tabela 6.6):

$$\text{Impedância } Z = (Z_2 + Z_0) \text{ pu} \quad (6.4.3.1)$$

$$\text{Mas } (Z_2 = Z_1), \text{ então } Z = (Z_1 + Z_0) \text{ pu e } Z = R + jX$$

$$\text{Como a potência } S = VI \text{ e a corrente } I = \frac{V}{Z}, \text{ substituindo fica: } S = \frac{V^2}{Z} \quad (6.4.3.2)$$

$$\text{Com } V = 1 \text{ pu e } S_{\text{Base}} = 100 \text{ MVA}$$

$$S = \frac{(1)^2}{(Z_1 + Z_0)} \text{ pu} \quad (6.4.3.3)$$

$$S^* (\text{MVA}) = 100 \times \frac{(1)^2}{(Z_1 + Z_0)} \quad (6.4.3.4)$$

$$Z_1 = Z_1 \times \cos(\theta_1) + j Z_1 \times \text{sen}(\theta_1) \quad (6.4.3.5)$$

$$Z_0 = Z_0 \times \cos(\theta_0) + j Z_0 \times \text{sen}(\theta_0) \quad (6.4.3.6)$$

$$Z_1 + Z_0 = (Z_1 \times \cos(\theta_1) + Z_0 \times \cos(\theta_0)) + j(Z_1 \times \text{sen}(\theta_1) + Z_0 \times \text{sen}(\theta_0)) \quad (6.4.3.7)$$

$$Z_1 + Z_0 = R + jX \quad (6.4.3.8)$$

$$S^*(MVA) = \frac{100}{(R + jX)} = \frac{100 \times (R - jX)}{(R + jX) \times (R - jX)} \quad (6.4.3.9)$$

$$S^*(MVA) = \frac{100 \times (R - jX)}{R^2 + X^2} \quad (6.4.3.10)$$

$$S^*(MVA) = \frac{100 \times R}{R^2 + X^2} - j \frac{100 \times X}{R^2 + X^2} \quad (6.4.3.11)$$

Como desejamos calcular o reator equivalente de curto, será utilizada apenas a parte imaginária da expressão 6.4.3.11, conforme exemplificado para a barra de Ibiúna 345 kV.

$$\text{Reator (Mvar)} = \frac{100 \times 0,02718835}{(0,00074287^2 + 0,02718835^2)} = 3675,3 \text{ Mvar}$$

A seguir são mostrados na Tabela 6.6 os valores das impedâncias de curto obtidas para o sistema-teste de 107 barras. Nesta mesma tabela, são calculados os valores dos reatores equivalentes para aplicação de curtos monofásicos em programas que são utilizados na simulação de defeito nos estudos de estabilidade transitória.

Tabela 6.6 – Impedâncias de curto-circuito do sistema-teste 107 Barras

BARRA	NOME	TENSÃO	SEQUÊNCIA POSITIVA		SEQUÊNCIA NEGATIVA		R ₁₀	X ₁₀	REATOR DE CURTO
			IMPEDÂNCIA		IMPEDÂNCIA				
			MÓD	ÂNG	MÓD	ÂNG			
			PU	GRÁU	PU	GRÁU			
		kV					PU	Mvar	
86	IBIÚNA	345,0	0,0173	87,98	0,0099	89,23	0,00074287	0,02718835	3675,3
100	MARIMBONDO	500,0	0,0095	88,05	0,0063	88,49	0,00048929	0,01579231	6326,1
101	ARARAQUARA	500,0	0,0146	87,24	0,0438	82,34	0,00654139	0,05799221	1702,7
102	POÇOS	500,0	0,0204	87,37	0,0383	83,13	0,00551748	0,05840352	1697,1
103	CAMPINAS	500,0	0,0156	87,05	0,0308	81,24	0,00549362	0,04602004	2142,4
104	CACH. PAULISTA	500,0	0,0247	86,85	0,0434	83,67	0,00614241	0,06779808	1463,0
106	ADRIANÓPOLIS	500,0	0,0358	86,48	0,0526	83,92	0,00776935	0,08803657	1127,1
120	POÇOS DE CALDAS	345,0	0,0173	86,88	0,0306	80,71	0,00588146	0,04747300	2074,6
122	IBIÚNA	500,0	0,0118	87,59	0,0045	89,22	0,00055747	0,01628915	6131,9
123	CAMPINAS	345,0	0,0284	87,47	0,0371	84,51	0,00480316	0,06530213	1523,1
126	GUARULHOS	345,0	0,0211	87,18	0,0573	76,14	0,01476441	0,07670608	1257,1
131	M. MORAES	345,0	0,0165	86,89	0,0211	84,06	0,00307880	0,03746241	2651,4
134	L.C.BARRETO	345,0	0,0115	87,93	0,0060	87,31	0,00069700	0,01748588	5709,8
136	FURNAS	345,0	0,0142	87,34	0,0083	87,52	0,00101818	0,02247692	4439,9
138	ITUTINGA	345,0	0,0337	85,91	0,1080	73,17	0,03367332	0,13698828	688,4
140	ADRIANÓPOLIS	345,0	0,0381	86,45	0,0475	84,37	0,00701918	0,08529775	1164,5
210	ITUMBIARA	500,0	0,0077	88,46	0,0035	88,36	0,00030712	0,01119578	8925,2
213	MARIMBONDO	345,0	0,0219	87,94	0,0225	88,83	0,00124670	0,04438115	2251,4
216	P.COLOMBIA	345,0	0,0185	86,77	0,0403	83,56	0,00556260	0,05851631	1693,6
217	ITUMBIARA	345,0	0,0114	88,51	0,0072	88,43	0,00049372	0,01859344	5374,5
218	BANDEIRANTES	345,0	0,0254	86,35	0,0952	81,95	0,01494869	0,11961038	823,2
219	BRÁSILIA SUL	345,0	0,0227	86,84	0,0377	82,25	0,00633528	0,06002112	1647,7

BARRA	NOME	TENSÃO	SEQUÊNCIA POSITIVA		SEQUÊNCIA NEGATIVA		R ₁₀	X ₁₀	REATOR DE CURTO
			IMPEDÂNCIA		IMPEDÂNCIA				
			MÓD	ÂNG	MÓD	ÂNG			
			kV	PU	GRÁU	PU			
220	CORUMBÁ	345,0	0,0244	86,80	0,0206	85,68	0,00291383	0,04490342	2217,7
225	ITUMBIARA	230,0	0,0221	88,98	0,0142	89,28	0,00057190	0,03629538	2754,5
228	BRÁSILIA SUL	230,0	0,0586	88,78	0,0480	86,41	0,00425340	0,10649252	937,5
231	RIO VERDE	230,0	0,0787	83,57	0,2933	69,11	0,11339736	0,35222524	257,2
233	SAMAMBAIA	500,0	0,0198	86,85	0,0357	82,99	0,00544500	0,05520322	1794,0
234	SAMAMBAIA	345,0	0,0212	86,97	0,0331	83,38	0,00493657	0,05404966	1834,8
320	EMBORCAÇÃO	500,0	0,0112	88,12	0,0067	86,97	0,00072161	0,01788460	5582,3
325	JAGUARA	500,0	0,0119	88,16	0,0106	85,42	0,00122854	0,02246001	4439,1
326	JAGUARA	345,0	0,0121	87,88	0,0097	84,26	0,00141778	0,02174308	4579,7
360	NOVA PONTE	500,0	0,0132	87,92	0,0091	86,16	0,00108855	0,02227087	4479,5
370	SÃO SIMAO	500,0	0,0096	88,41	0,0079	87,07	0,00067021	0,01748598	5710,5
396	VOLTA GRANDE	345,0	0,0157	87,16	0,0113	87,05	0,00135947	0,02696574	3699,0
535	A.VERMELHA	500,0	0,0116	88,12	0,0057	88,45	0,00053476	0,01729167	5777,6
536	A.VERMELHA	440,0	0,0288	89,24	0,0129	89,53	0,00048788	0,04169703	2397,9
814	BATEIAS	230,0	0,0187	87,68	0,0116	86,49	0,00146721	0,03026291	3296,6
824	G. B. MUNHOZ	500,0	0,0076	87,78	0,0074	85,40	0,00088789	0,01497046	6656,4
834	SÃO MATEUS	230,0	0,0727	80,42	0,1746	73,77	0,06089896	0,23932782	392,4
839	CASCADEL	230,0	0,0248	86,18	0,0374	75,86	0,01078883	0,06101173	1589,3
840	CASCADEL	138,0	0,0581	88,37	0,0563	83,05	0,00846528	0,11396279	872,7
848	FOZ DO CHOPIM	138,0	0,0923	88,44	0,0826	87,17	0,00659117	0,17476504	571,4
856	SEGREDO	500,0	0,0070	88,24	0,0060	86,63	0,00056771	0,01298632	7685,7
895	BATEIAS	500,0	0,0124	86,49	0,0126	84,21	0,00203031	0,02491246	3987,6
896	CASCADEL OESTE	500,0	0,0159	87,10	0,0172	82,17	0,00314770	0,03291927	3010,2
897	SALTO CAXIAS	500,0	0,0106	88,10	0,0072	87,09	0,00071699	0,01778489	5613,6
898	FOZ DO CHOPIM	230,0	0,0287	84,98	0,0333	80,92	0,00776661	0,06147262	1601,2
904	ITÁ	13,8	0,0097	89,40	0,0193	88,43	0,00063040	0,02899222	3447,6
933	AREIA	500,0	0,0073	87,80	0,0070	84,84	0,00090981	0,01426625	6981,2
934	AREIA	230,0	0,0168	87,88	0,0172	87,16	0,00147373	0,03396737	2938,5
938	BLUMENAU	500,0	0,0184	85,86	0,0123	86,43	0,00209430	0,03062812	3249,8
939	BLUMENAU	230,0	0,0217	86,25	0,0139	87,06	0,00213223	0,03553524	2804,0
955	CAMPOS NOVOS	500,0	0,0105	87,32	0,0175	78,36	0,00402182	0,02762862	3544,3
959	CURITIBA	500,0	0,0129	86,31	0,0112	84,16	0,00196986	0,02401513	4136,2
960	CURITIBA	230,0	0,0181	86,93	0,0148	85,78	0,00205848	0,03283390	3033,7
964	CAXIAS	500,0	0,0182	86,96	0,0145	83,87	0,00251362	0,03259148	3050,1
965	CAXIAS	230,0	0,0243	87,73	0,0142	86,01	0,00195061	0,03844651	2594,3
976	GRAVATAI	500,0	0,0220	86,68	0,0132	86,40	0,00210295	0,03513703	2835,8
995	ITÁ	500,0	0,0093	88,11	0,0078	86,09	0,00083862	0,01707678	5841,8
1015	JOINVILLE	230,0	0,0359	82,43	0,0756	68,91	0,03193293	0,10612312	864,1
1030	MACHADINHO	500,0	0,0100	87,85	0,0112	84,24	0,00149924	0,02113641	4707,5
1047	SALTO OSÓRIO	230,0	0,0231	86,31	0,0145	87,91	0,00201553	0,03754246	2656,0
1060	SALTO SANTIAGO	500,0	0,0071	88,28	0,0072	84,84	0,00086067	0,01426762	6983,5
1210	GRAVATAI	230,0	0,0264	87,23	0,0125	87,40	0,00184291	0,03885628	2567,8
1503	ITAJUBÁ	500,0	0,0256	86,96	0,0374	85,65	0,00419448	0,06285623	1583,9
1504	ITAJUBÁ	138,0	0,0723	88,92	0,0216	88,81	0,00181145	0,09388250	1064,8
2458	CASCADEL	230,0	0,0228	87,18	0,0169	84,73	0,00267403	0,03960095	2513,7
4501	BARRA DO PEIXE	230,0	0,1045	83,26	0,3448	71,05	0,12423637	0,42989031	214,7
4521	ITIQUEIRA	230,0	0,1485	83,04	0,0925	85,02	0,02602473	0,23955649	412,6
4522	RONDONÓPOLIS	230,0	0,0940	84,08	0,0576	83,11	0,01660522	0,15068270	655,7
4532	COXIPÓ	230,0	0,0743	87,62	0,0372	86,76	0,00518808	0,11137644	895,9
4533	COXIPÓ	138,0	0,0693	88,09	0,0184	88,72	0,00272088	0,08765690	1139,7
4542	NOBRES	230,0	0,1430	84,84	0,1578	77,16	0,04792916	0,29627455	328,9
4552	NOVA MUTUM	230,0	0,2536	82,94	0,7814	75,39	0,22826976	1,00781050	94,4
4562	SORRISO	230,0	0,3952	82,06	1,2827	75,21	0,38203703	1,63161242	58,1
4572	LUCAS RIO VERDE	230,0	0,3385	82,33	1,0822	75,26	0,32052781	1,38205634	68,7
4582	SINOP	230,0	0,4700	81,81	1,5474	75,16	0,46327774	1,96099219	48,3
4592	MANSO	230,0	0,1755	84,90	0,0473	88,89	0,01651752	0,22209631	447,8
4623	RONDONÓPOLIS	138,0	0,1233	84,64	0,0463	86,39	0,01443333	0,16896897	587,5
4703	CUIABÁ	138,0	0,0811	85,19	0,0956	77,95	0,02675854	0,17430788	560,5
4805	GUAPORÉ	138,0	0,1540	86,26	0,0682	88,67	0,01162852	0,22185364	449,5
4807	JAURU	138,0	0,1456	86,63	0,1107	85,75	0,01676304	0,25574379	389,3
4862	JAURU	230,0	0,1377	86,25	0,1377	86,04	0,01851593	0,27477639	362,3

6.4.4. Curto-Circuito em Linha Paralela

Neste estudo foi investigado o efeito da indutância mútua numa linha de transmissão com dois circuitos que correm em paralelo ao longo de toda a linha, mostrado na Figura 6.6. Um dos circuitos está desligado para manutenção numa das torres localizada no ponto M, conforme mostra a Figura 6.7. Ocorrendo um curto-circuito monofásico no circuito que está em operação, aparece uma circulação de corrente de curto na linha que está em manutenção.

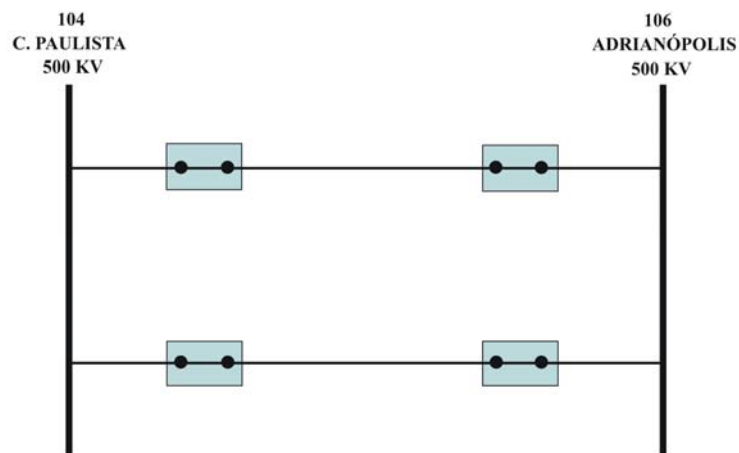


Figura 6.6 – LT 500kV C.Paulista-Adrianopolis C.1 e C.2 em operação

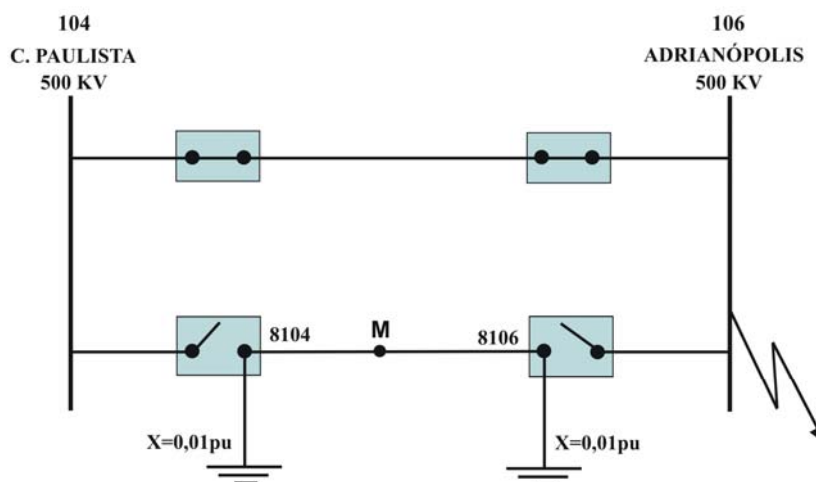


Figura 6.7 – LT 500kV C.Paulista-Adrianopolis C.2 em manutenção

A simulação foi feita no **sistema-teste de 107 barras**, com a LT 500kV Cachoeira Paulista-Adrianópolis C.2 desconectada do sistema nas duas extremidades e aterradas através de uma reatância de seqüência zero muito pequena para não influenciar o resultado. Para demonstrar esse efeito, criou-se as barras 8104 e 8106 onde o circuito 2 foi conectado e essas barras foram ligadas à referência (terra). Também foi representada a indutância mútua com a nova numeração.

Em seguida foi aplicado um curto-circuito fase-terra na barra de Adrianópolis 500kV na fase A do circuito 1, que provocou no circuito desligado, uma tensão e uma corrente induzida pelo circuito ligado que corre em paralelo, conforme mostrado na Figura 6.8.

Observa-se que a linha desconectada para manutenção, no momento do curto, passa a ter tensão de 288,7 kV induzida, e circula uma corrente induzida de 83 A da barra 8106 para a barra 8104.

```

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
ANAFAS - Programa de Análise de Falhas Simultâneas

Sistema Teste - 107 Barras

  T E N S O E S   E   C O R R E N T E S   D E   C O N T R I B U I C A O

Bar.8104 (C.PAUL2 -500) TEN.(kV)
  mod.   ang.      mod.   ang.
A 288.7   0.0    Z  0.0    0.0
B 288.7 -120.0   P 288.7   0.0
C 288.7  120.0   N  0.0    0.0

Bar.8106 (ADRIAN2--500) TEN.(kV)   Cir. 2 (      ) CORR.( A ) p/8104
  mod.   ang.      mod.   ang.      mod.   ang.      mod.   ang.
A 288.7   0.0    Z  0.0    0.0    A    83  -91.9   Z    83  -91.9
B 288.7 -120.0   P 288.7   0.0    B    83  -91.9   P     0   0.0
C 288.7  120.0   N  0.0    0.0    C    83  -91.9   N     0   0.0

```

Figura 6.8 – Tensão e corrente induzidas pela LT 500 kV C.Paulista-Adrianopolis C.1

Este exemplo demonstra uma situação prática que pode ocorrer durante procedimentos de manutenção, exigindo cuidado da equipe que vai realizar o serviço em seguir os procedimentos de segurança. Tais procedimentos incluem o aterramento das extremidades da linha em manutenção e do ponto onde será feita a intervenção.

6.4.5. Comparação entre curto-bifásico e curto bifásico-terra

Neste item foi feita uma comparação entre estes dois tipos de curto-circuito, buscando mostrar as diferenças entre eles. Embora ambos sejam assimétricos e provoquem circulação de corrente desequilibrada no sistema, no curto-circuito bifásico envolvendo a terra surge a presença da corrente de seqüência zero, enquanto que, no curto bifásico, sem a participação da terra, ela não ocorre. Para ilustrar esta situação, foi utilizado o **sistema-teste de 9 barras**.

A Figura 6.9 mostra os resultados do cálculo de um curto-circuito bifásico, sem a participação da terra, nas fases B e C da barra 9. Nela são apresentados os valores de tensão em kV e corrente em A, em componentes de seqüência (Z, P, N) zero, positiva e negativa, e em valores de fase (A, B, C).

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Eletrica
ANAFAS - Programa de Análise de Falhas Simultâneas

Sistema-Teste 9 barras

T E N S O E S E C O R R E N T E S D E C U R T O

Barra 9 (BAR-9 CAR5)

TENSAO(kV)				CORRENTE(A)							
	mod.	ang.		mod.	ang.	mod.	ang.	mod.	ang.		
A	132.8	0.0	Z	0.0	0.0	A	0	0.0	Z	0	0.0
B	66.4	-180.0	P	66.4	0.0	B	895	-176.5	P	517	-86.5
C	66.4	-180.0	N	66.4	0.0	C	-895	-176.5	N	-517	-86.5

Igual a zero

Figura 6.9 – Tensão e corrente para curto bifásico na barra 9 – fases B e C

A Figura 6.10 exibe de modo semelhante para fins de comparação o cálculo de um curto-circuito bifásico, agora com a participação da terra.

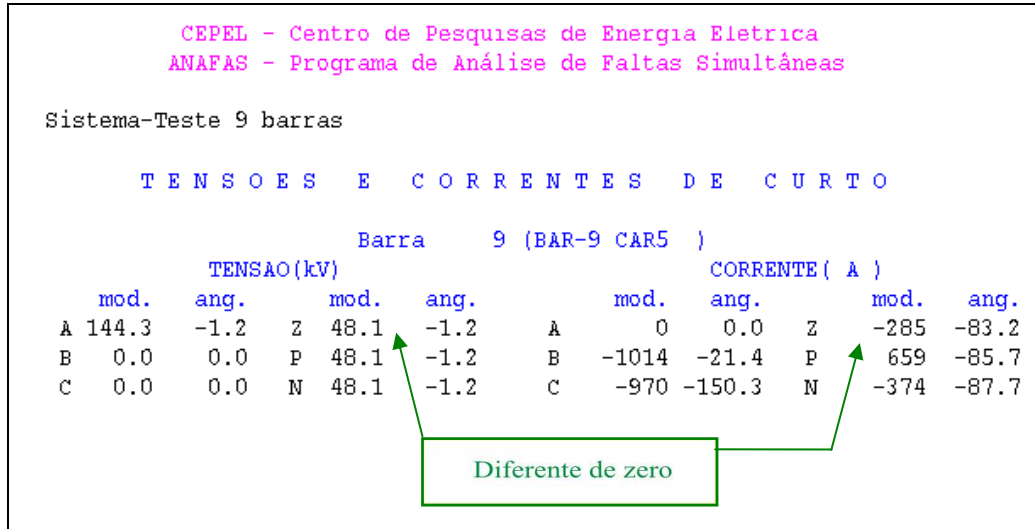


Figura 6.10 – Tensão e corrente para curto bifásico-terra na barra 9 – fases B e C

Conforme indicado nas respectivas figuras, quando o curto-circuito é bifásico para terra, aparece a componente de seqüência zero. Esta diferença entre os dois tipos de curto-circuito, contribui para que o curto bifásico à terra seja mais severo em termos de valores de corrente de curto e tensão na fase sem defeito.

6.5. SUMÁRIO

Um fator importante notado nos estudos de curto-circuito foi que o valor de curto monofásico nos barramentos das usinas pode superar o valor de curto trifásico, pelo fato de que os transformadores elevadores dessas usinas são ligados na sua maioria em delta / estrela aterrado elevando o valor do curto monofásico por se ter uma menor impedância vista pelo defeito. Logo, pode ocorrer que os disjuntores dessas subestações devam ser projetados para interromper uma corrente de curto monofásica ao invés da trifásica.

Um outro fator relevante constatado foi a importância de possuir arquivos de curto-circuito perfeitamente compatíveis com os arquivos de fluxo de potência, para que a cada nova alternativa de expansão do sistema, alteração física ou topológica na configuração de linhas ou subestações possa-se imediatamente estudar as suas conseqüências sobre os níveis de curto-circuito. Os disjuntores são projetados para funcionar numa determinada corrente máxima de curto e sabe-se que nos sistemas a corrente de curto muda conforme a expansão do sistema (tais como a entrada das novas usinas). Esse fato pode provocar a

superação da capacidade de interrupção de curto pelos disjuntores, implicando em estudos de alternativas, tais como separação de barramentos ou mesmo troca de disjuntores.

Este capítulo exemplificou o uso dos sistemas-teste propostos de 9 e 107 barras em estudos de rede em condições anormal de operação. As simulações realizadas encontram-se registradas nos arquivos dentro da pasta “Capítulo 6” no CD em apenso.

* * *

7.1. INTRODUÇÃO

Um sistema de potência em regime estacionário na verdade não existe no sentido estrito do termo pois a todo o momento ocorrem perturbações, tais como: variações de carga, manobras de reatores e capacitores e ajustes de geração. Por outro lado, o sistema pode estar sujeito a eventos de maiores proporções como por exemplo, curto-circuito na rede, falha de equipamento, variação grande de carga, perda de unidade geradora e perda de linha de transmissão. Cada uma destas mudanças significa a mudança do estado de equilíbrio do sistema para outro estado que é alcançado após acomodação do mesmo.

Um estudo do regime dinâmico transitório de um sistema de potência consiste na análise da capacidade de todas as máquinas síncronas permanecerem em sincronismo num novo estado de equilíbrio, após uma perturbação. A perturbação provoca uma fase de transição a partir do estado estacionário para um estado final, que depende das forças de restauração, podendo retornar o sistema para uma nova condição de equilíbrio ou afastá-lo ainda mais da sua condição inicial, tornando-o instável.

Segundo a referência [26], estabilidade em regime transitório, chamada abreviadamente de estabilidade transitória, é a propriedade de o sistema permanecer em sincronismo após determinado impacto. Normalmente os impactos mais comuns que ocorrem em sistema de potência são curtos-circuitos, seguidos da abertura do elemento defeituoso.

O parâmetro mais adequado para a determinação da estabilidade do sistema é o ângulo relativo entre os rotores das máquinas. Quando os ângulos entre as máquinas crescem indefinidamente ou não amortecem, ou seja, as amplitudes das oscilações são crescentes, isso é um indicativo de perda de sincronismo.

Os estudos de estabilidade se fazem necessários uma vez que os sistemas elétricos vêm evoluindo através da entrada de novas usinas, aumento da demanda, modernização de sistemas de controle, dentre outros.

Este capítulo tem como objetivo utilizar os sistemas-teste elaborados em aplicações realistas, abordando problemas típicos estudados nas empresas sob o enfoque de regime dinâmico transitório.

7.2. FERRAMENTA COMPUTACIONAL

O programa de estabilidade transitória utilizado para análise dos sistemas-teste, foi o ANATEM (Análise de Transitório Eletromecânico) desenvolvido pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) [14], que é voltado à realização de estudos de estabilidade eletromecânica à frequência fundamental, tendo como objetivo a avaliação do desempenho dinâmico do sistema, quando submetido a perturbações. Ele necessita de um banco de dados de modelos de controladores e geradores. Possui modelos pré-definidos e também permite que o usuário desenvolva seus modelos baseados em diagramas de blocos.

É permitido representar transformadores com comutação sob carga que são fundamentais para a análise dinâmica no tempo dos fenômenos de estabilidade de tensão. Possui ainda diversos modelos de relés de proteção, que podem ser representados para uma adequada monitoração das condições do sistema, sendo um recurso importante para simular a atuação dos sistemas de proteção nos estudos de estabilidade.

7.3. PROCEDIMENTOS

Os casos utilizados nos estudos deste capítulo foram ajustados num ponto de operação onde as tensões ficaram dentro da faixa operativa, não violando nenhum limite. Além disso, foram consideradas nos estudos as seguintes premissas:

- Foram aplicados curtos-circuitos monofásicos em barras pelo tempo de 100ms (6 ciclos) que corresponde ao tempo de atuação do sistema de proteção, com remoção do defeito através da retirada do elemento defeituoso.

- Para a aplicação de defeitos foi utilizado o método de adição de reator na barra, simulando um curto-circuito na barra, com posterior retirada do defeito. O valor da potência de curto-circuito equivalente no ponto de defeito foi determinado no Capítulo 6, sendo que os valores em todas as barras, para todos os sistemas-teste estudados, são mostrados no Anexo II.
- As cargas foram modeladas com 75% da potência ativa e 100% da potência reativa variando com o quadrado da tensão.

7.3.1. Caso de fluxo de potência

É o ponto de operação considerado no estudo de estabilidade, onde temos representado um sistema de potência ajustado numa determinada condição de operação.

Nesta etapa são definidas todas as condições do sistema de potência a ser avaliado, tais como:

- Topologia da rede e condições de carregamento do sistema;
- Entrada de unidades geradoras ou usinas;
- Entrada de transformadores ou linhas de transmissão;
- Indisponibilidade de equipamentos (rede alterada);
- Limites de intercâmbio ou carregamento;
- Ajuste de sistema de proteção.

7.3.2. Banco de dados dinâmicos

Além dos casos de fluxo de potência convergidos e ajustados, para um estudo de estabilidade, é necessário a utilização de um banco de dados de modelos das máquinas, de seus controladores e dos equipamentos que tenham alguma influência dinâmica.

O ANATEM trabalha com 3 modelos de máquinas, o modelo clássico (tensão constante atrás da reatância), o modelo de pólos lisos e o modelo de pólos salientes.

Os controladores utilizados são basicamente reguladores de tensão, reguladores de velocidade e estabilizadores que atuam da seguinte forma:

- Regulador de tensão (RAT): controla a corrente de campo da máquina e atua, dentro dos seus limites, para manter a tensão terminal da máquina num valor de referência;
- Estabilizador de sistema de potência (ESP): atua no sistema de excitação para amortecimento das oscilações eletromecânicas;
- Regulador de velocidade (RAV): é um controle mais lento em relação aos anteriores e atua no controle da rotação da turbina (frequência). Conseqüentemente, varia a potência ativa produzida pelo gerador, ajustando o balanço carga versus geração.

O ANATEM permite a representação de modelos pré-definidos de reguladores “*Built-in*”, considerando até 24 modelos de reguladores de tensão (RAT), até 7 modelos de reguladores de velocidade (RAV) e até 12 modelos de estabilizadores (ESP), bastando somente informar os respectivos parâmetros. Além dos controladores acima, o programa permite o desenvolvimento de modelos específicos, denominados de CDU (controladores desenvolvidos pelo usuário) que são montados a partir da codificação dos diagramas de bloco informados pelos fabricantes dos equipamentos para o formato utilizado pelo ANATEM. A maior parte dos modelos implementados no programa ANATEM pelas empresas são do tipo CDU, pela facilidade de alterar a estrutura do modelo e os valores dos parâmetros. Além disso, os sistemas de controle empregados pelas empresas dificilmente correspondem a modelos padrões catalogados no programa.

Após o processo de montagem dos diagramas de blocos, realizam-se testes de validação dos modelos de controladores, procedendo-se os devidos ajustes até que os modelos estejam funcionando adequadamente.

7.3.3. Compatibilização do número de máquinas

Para realizar uma simulação dinâmica é necessário ainda, compatibilizar o número de máquinas de cada usina com o respectivo despacho e a reatância dos transformadores elevadores das máquinas das usinas.

Este procedimento pode ser feito manualmente ou utilizando-se uma ferramenta de auxílio, o programa ANATO [27], que usando uma base de dados previamente gravada

com os dados dos equipamentos, lê o caso de fluxo de potência e gera um novo caso com as correções das reatâncias dos transformadores elevadores das usinas.

A curva de capacidade das máquinas pode ou não ser levada em conta no processo de ajuste do número de máquinas despachadas em cada usina, com o valor de potência ativa e reativa despachadas. Neste trabalho esse recurso não é utilizado.

O resultado deste processo é um arquivo contendo as informações das máquinas existentes no caso base, que foram devidamente representadas, associadas aos seus respectivos modelos. Aquelas não modeladas serão convertidas pelo programa ANATEM em carga negativa, significando menos inércia no sistema.

7.3.4. Preparação do arquivo para simulação

Deverá ser preparado um arquivo em formato texto com as informações mostrada na Tabela 7.1. Este arquivo deve ser submetido ao programa para que a simulação seja realizada.

Tabela 7.1 – Informações necessárias para simulação

Conjunto de dados do ANATEM
Constantes do programa
Caso de fluxo de potência
Banco de dados dos controladores
Banco de dados dos parâmetros das máquinas
Dados de relés de proteção
Representação de carga
Dados de eventos
Variáveis a serem plotadas
Parâmetros da simulação

Esta é uma estrutura básica de referência. Outras informações são encontradas mais detalhadas no manual do programa [14].

Observa-se que cada arquivo montado gera uma simulação referente a um determinado evento. Conforme o número de contingências, patamares de carga, cenários e alternativas a simular e analisar, esta quantidade de arquivos/simulações/análises pode aumentar bastante. Dependendo do tempo disponível para realização do estudo, fica

praticamente impossível cobrir todas as combinações. Diante deste fato uma boa estratégia é fazer uma avaliação das situações existentes e escolher aquelas contingências que apresentem maiores possibilidades de ocorrer, ou sejam potencialmente instáveis, ou possam cobrir as condições mais críticas dos cenários operativos previstos.

7.3.5. Principais grandezas monitoradas

Na Tabela 7.2 são mostradas algumas das grandezas monitoradas pelo programa, que fornecem informações sobre o desempenho do sistema.

Tabela 7.2 – Exemplo de grandezas monitoradas

Grandeza	Função
VOLT	Monitora o módulo da tensão da barra, em pu.
FMAQ	Monitora a frequência da máquina, em Hz.
FREQ	Monitora a frequência da barra, em Hz.
DELT	Monitora o ângulo relativo da máquina, em grau.
PELE, QELE	Monitora as potências ativa e reativa em MW e Mvar respectivamente da máquina.
FLXA, FLXR	Monitora o fluxo de potência ativa e reativa em linhas de transmissão ou transformadores em MW e Mvar respectivamente.
FLXM	Monitora o fluxo de potência em linhas de transmissão ou transformadores, em MVA.

As análises das simulações são feitas através das curvas geradas pelo programa ANATEM, visualizadas pelo aplicativo PLOTCEPEL (programa de visualização de gráficos). Muitas informações podem ser obtidas a partir dessas curvas, porém algumas não são evidentes. Nas referências [11, 15 e 28] alguns critérios são estabelecidos visando auxiliar e padronizar as análises.

Na análise de um caso, recomenda-se que sejam avaliados pelo menos os seguintes itens:

- Ângulos relativos entre as máquinas;
- Frequência de oscilação;
- Variação da potência ativa das máquinas.

Além disso, é importante dispor de informações sobre o sistema em estudo, tais como:

- Número mínimo de máquinas sincronizadas e despacho mínimo;
- Máquinas que podem operar como compensador síncrono;
- Curva de capacidade das máquinas;
- Ajustes das proteções de sub e sobre-frequência;
- Faixa de tensão operativa;
- Fator de potência nominal das máquinas;
- Limites térmicos e de corrente devido a auto-excitação;
- Valores de curto-circuito dos pontos onde vai ser aplicado o defeito;
- Valor de “overshoot” de potência ativa suportável em função de problemas de esforços torsionais (máquinas térmicas);
- No caso de máquinas térmicas a vapor, verificar tempo de retomada.

7.4. ESTUDOS DE PROBLEMAS TÍPICOS

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

- *Análise de contingência simples (N-1);*
- *Estudo do fenômeno de colapso de tensão;*
- *Estudo de máxima transferência de potência;*
- *Influência dos controladores na estabilidade do sistema.*

7.4.1. Análise de Contingência Simples (N-1)

O objetivo é avaliar o comportamento dinâmico, enfatizando a estabilidade eletromecânica frente a contingências. O teste de contingências a ser adotado será o curto-circuito monofásico e espera-se que o sistema suporte a perda de um elemento sem perder o sincronismo (critério n-1).

Um aspecto de interesse refere-se ao estabelecimento de um limite máximo de transferência de potência entre áreas, onde a segurança do sistema fique preservada caso ocorra a perda de elemento na interligação entre as duas áreas, ou em outro ponto do sistema, que acarrete perda de sincronismo. É usual avaliar a adoção de medidas

alternativas para diminuir o impacto da contingência tais como esquemas de emergência, que permitam praticar intercâmbios elevados com segurança.

Foi utilizado neste estudo o **sistema-teste de 33 barras** no mesmo ponto de operação estudado no Capítulo 4 item 4.4.3. Este caso está ajustado num cenário de geração, onde as usinas da área A estão com despachos minimizados e as da área B estão maximizados, provocando um intercâmbio alto entre as áreas, o que acarreta um elevado carregamento nas linhas de interligação.

O desempenho do sistema será analisado perante a simulação de curto-circuito monofásico nos seguintes componentes do sistema elétrico, conforme mostrado na Tabela 7.3 a seguir.

Tabela 7.3 – Lista de contingências

Contingência	Descrição
1	Perda da LT 500kV Salto Santiago – Itá
2	Perda da LT 500kV Salto Caxias – Salto Santiago
3	Perda do Transformador 500/230kV – Areia
4	Perda da LT 500kV Segredo – Areia

7.4.1.1 Análise da contingência 1

Foi aplicado um curto-circuito monofásico na barra de 500kV de Salto Santiago, com abertura permanente da LT 500kV Salto Santiago-Itá. Para esta emergência, no que se refere à estabilidade angular, a Figura 7.1 mostra que o sistema permaneceu estável.

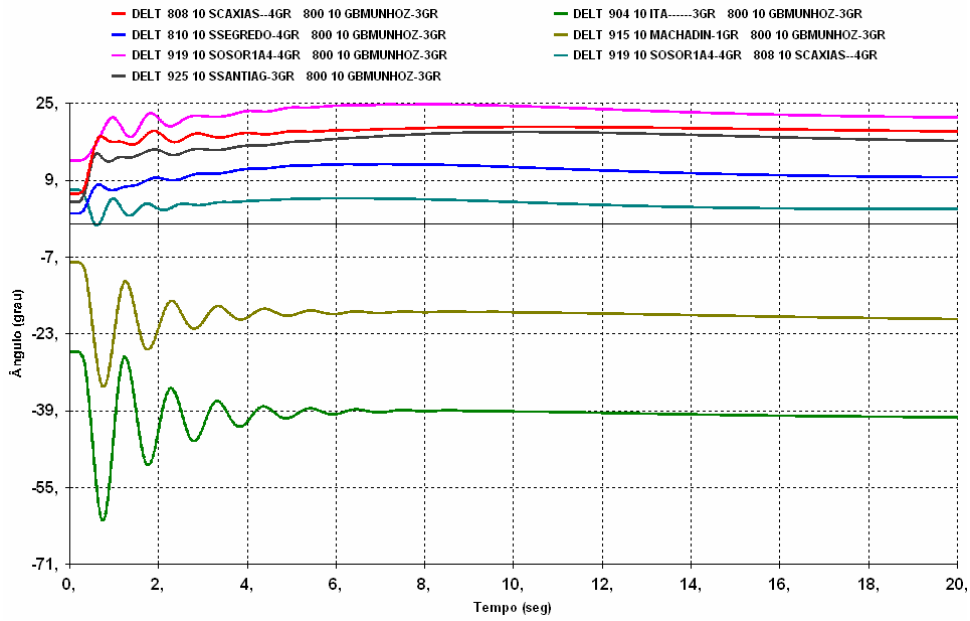


Figura 7.1 – Defasamento angular entre as máquinas do sistema em relação a G.B.Munhoz

Em relação às tensões na área de influência, as mesmas apresentaram oscilações rapidamente amortecidas. Isto pode ser observado na Figura 7.2 que mostra as tensões nos barramentos de 500kV de Areia, Caxias, Salto Santiago e Salto Caxias e nos barramentos de 230kV de Cascavel e Cascavel do Oeste, indicando que o perfil ficou satisfatório.

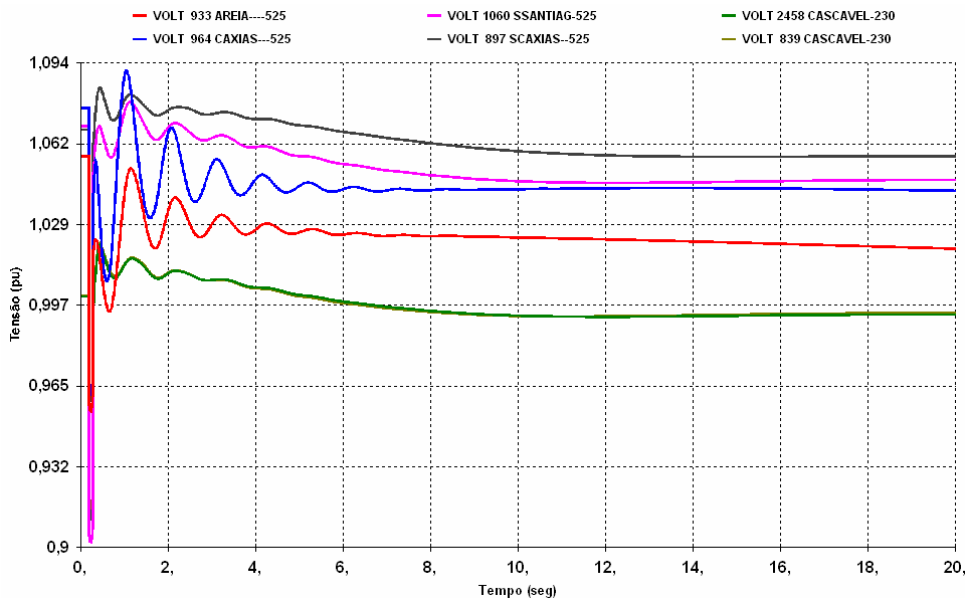


Figura 7.2 – Módulo da tensão nos barramentos de 500kV de Areia, Caxias, Salto Santiago e Salto Caxias e nos barramentos de 230kV de Cascavel e Cascavel do Oeste

O pior problema identificado nesta contingência foi em relação aos carregamentos nos outros pontos da interligação, mais especificamente na LT 500kV Segredo-Areia, que passa

da condição pré-defeito com 1692 MVA para cerca de 2757 MVA no final da simulação, ficando com uma sobrecarga da ordem de 18%, conforme mostrado na Figura 7.3. A figura apresenta uma curva do fluxo na linha em MVA e outra do mesmo fluxo corrigido pela tensão, em razão dos limites dos equipamentos serem definidos para 1 pu de tensão.

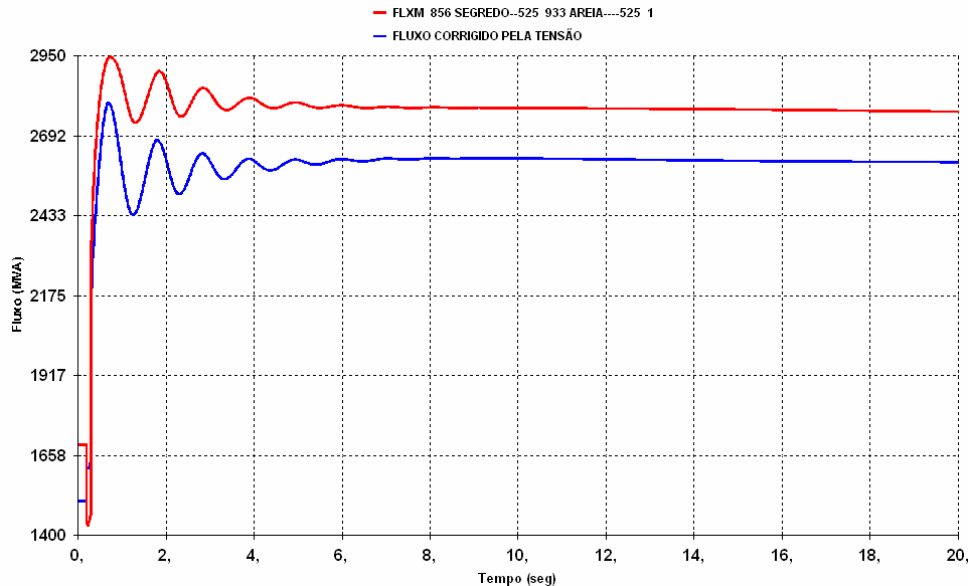


Figura 7.3 – Módulo do fluxo de potência no circuito S.Segredo-Areia 500 kV

Em relação à estabilidade eletromecânica, esta contingência apresentou um bom desempenho, sendo suportada pelo sistema sem maiores problemas. Quanto à sobrecarga mostrada na Figura 7.3, deve-se verificar se existe algum sistema de proteção ajustado para este nível de sobrecarga. Caso exista, deve-se representá-lo e simular novamente para observar o comportamento do sistema diante desta nova situação. Senão existir ou o ajuste for maior que o valor de sobrecarga apresentado, deve-se realizar procedimentos operativos de relocação de geração ou, em último caso, corte de carga para eliminar a sobrecarga verificada.

7.4.1.2 Análise da contingência 2

Foi aplicado um curto-circuito monofásico na barra de 500kV de Salto Santiago, com abertura permanente da LT 500kV Salto Santiago-Salto Caxias. Conforme pode ser observado na Figura 7.4, esta contingência causa a perda de sincronismo das máquinas de Salto Caxias e Salto Osório em relação a todas as outras máquinas do sistema. A curva

mostra que ocorre uma instabilidade angular no sistema, com os ângulos relativos dessas máquinas em relação a G.B. Munhoz, apresentando afastamento superior a 1000°.

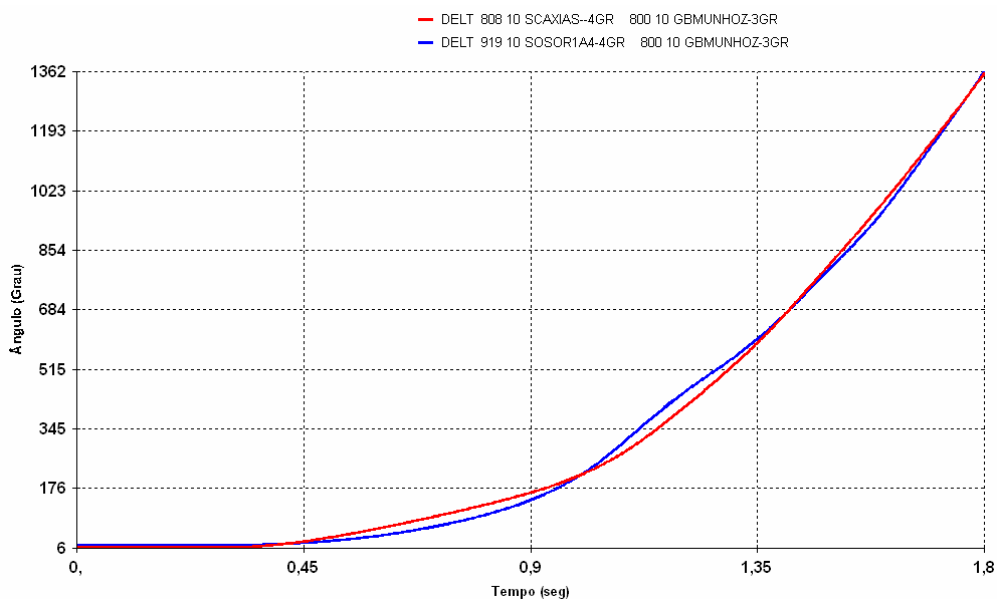


Figura 7.4 – Defasamento angular das máquinas S.Caxias e S.Osório em relação a G.B.Munhoz

Fazendo uma análise mais detalhada do sistema a partir do seu diagrama unifilar, podemos observar que, com a perda desta linha, as máquinas da UHE Salto Caxias e da UHE Salto Osório ficam eletricamente distantes porque estão alimentando as cargas radialmente, ligadas ao sistema através do transformador de Areia. Este fato caracteriza um aumento da impedância do sistema, dificultando a transferência de potência. Assim, ocorrem oscilações de potência nessas máquinas em relação as demais máquinas do sistema, levando à perda de sincronismo provocada pelo aumento da distância elétrica.

Nesta situação, pesquisou-se a medida corretiva mais adequada que foi desligar máquinas nas UHE Salto Osório e Salto Caxias para reduzir o montante de fluxo de potência no trecho do sistema que ficou radializado, reduzindo assim a capacidade de transmissão. Essa estratégia é mostrada a seguir, considerando um ECE para desligar máquinas nas usinas mencionadas. As três alternativas abaixo relacionadas foram analisadas e o comportamento do sistema é mostrado nas Figuras 7.5, 7.6, 7.7 e 7.8.

- Desligando uma máquina na UHE Salto Caxias;
- Desligando duas máquinas na UHE Salto Caxias;
- Desligando uma máquina na UHE Salto Caxias e uma na UHE Salto Osório.

Na Figura 7.5 é mostrada a resposta do sistema ao desligar uma máquina na UHE Salto Caxias.

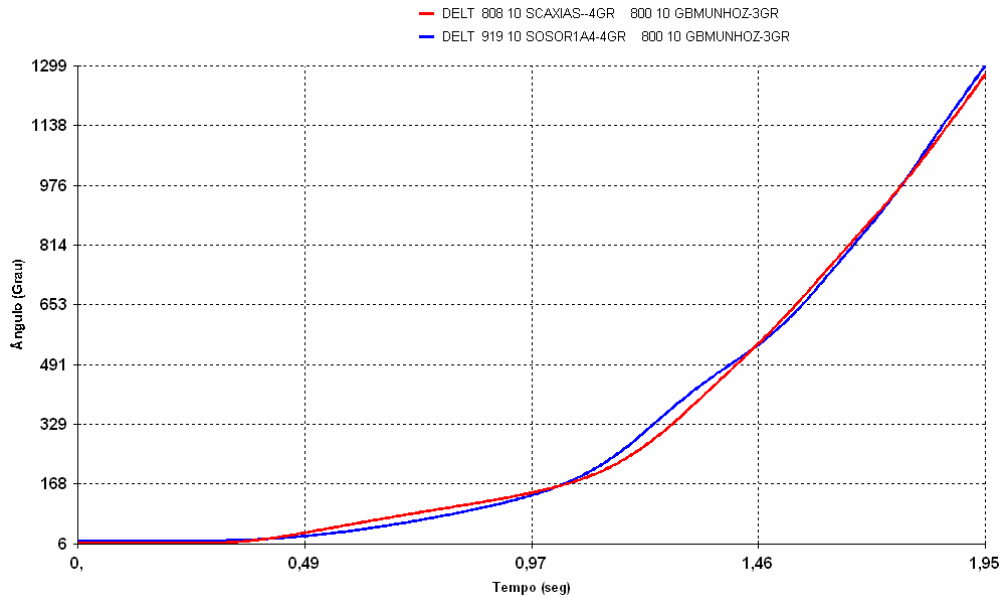


Figura 7.5 – Defasamento angular das máquinas S.Caxias e S.Osório em relação a G.B.M

Observa-se que a medida tomada não foi suficiente para manter o sistema estável.

A Figura 7.6 a seguir, mostra o comportamento dinâmico do sistema desligando duas máquinas na UHE Salto Caxias.

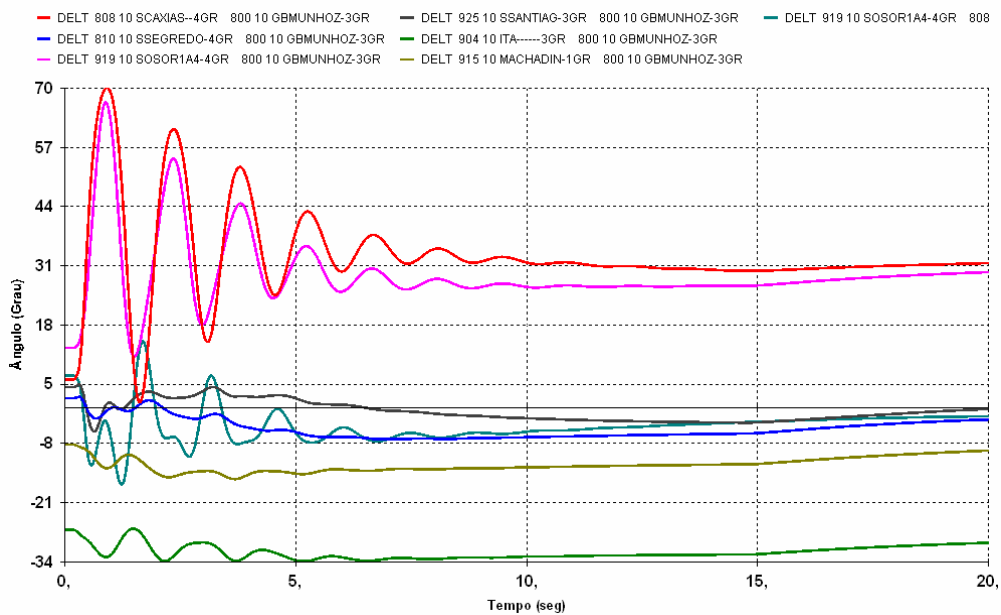


Figura 7.6 – Defasamento angular das máquinas do sistema

Esta medida surtiu efeito e manteve a estabilidade do sistema. Porém houve uma queda no valor da frequência de aproximadamente 1 Hz conforme mostra a Figura 7.7, indicando que a redução de geração obtida com a medida foi maior que a necessária. Neste caso, deve-se avaliar a adoção de medidas que possam recuperar a frequência do sistema, para um valor próximo de 60 Hz, como relocação de geração das usinas da área A, ou da área B, mas preferencialmente em usina fora da região afetada pela contingência. Além disso, o tempo para adoção de tais medidas deve ser suficiente para restabelecer este equilíbrio sem que haja prejuízos ao sistema.

Supondo-se que não tenha disponível equipamento para melhorar o desempenho do sistema, e que também não seja possível a relocação de geração, caracterizando assim o esgotamento total dos recursos, pode-se utilizar o corte de carga, como última medida para restabelecer a condição de equilíbrio entre geração e carga.

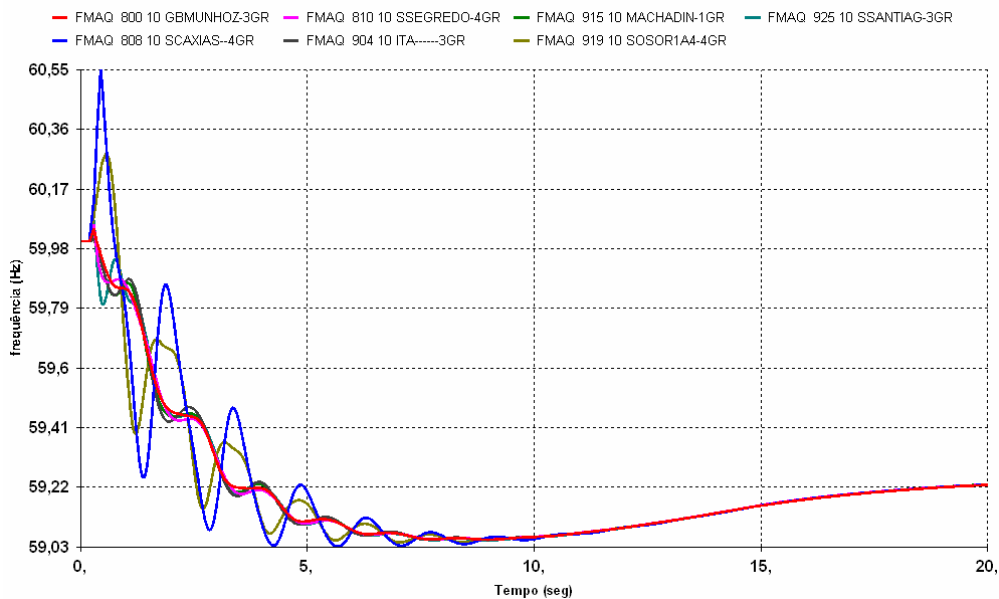


Figura 7.7 – Frequência do sistema

Na Figura 7.8 é mostrado o resultado da medida corretiva que opera o corte de duas máquinas, sendo uma na UHE Salto Caxias e outra na UHE Salto Osório.

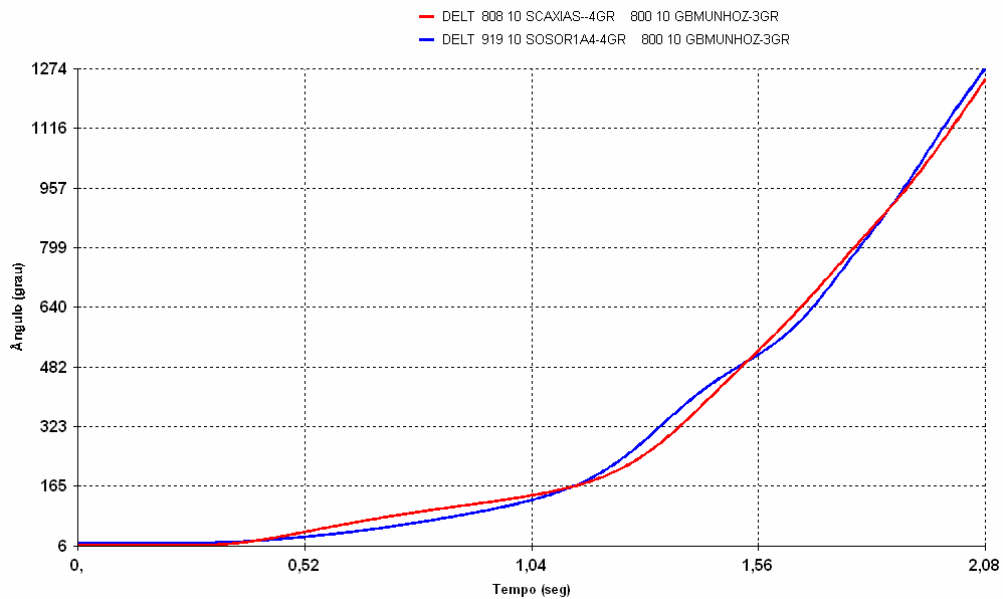


Figura 7.8 – Defasamento angular das máquinas S.Caxias e S.Osório em relação a G.B.M

Com esta medida também não foi obtido um desempenho satisfatório do sistema, pois como Salto Caxias ficou eletricamente mais distante, é mais eficaz desligar máquinas nesta usina.

7.4.1.3 Análise da contingência 3

Foi aplicado um curto-circuito monofásico na barra de 500kV de Areia, com abertura permanente do transformador de 500/230kV de Areia. Esta contingência não acarreta maiores problemas para a estabilidade do sistema, uma vez que o carregamento no transformador de Areia é baixo, em comparação com as outras linhas de interligação entre a área A e a área B (Figura 7.9).

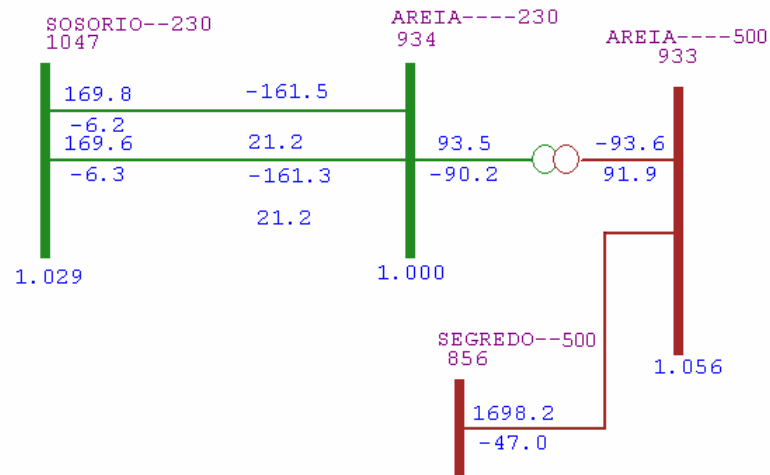


Figura 7.9 – Fluxo de potência ativa no transformador de Areia e na LT Segredo - Areia

A seguir é mostrado na curva da Figura 7.10 o comportamento do ângulo das máquinas, que mostram um sistema estável após ocorrência da contingência.

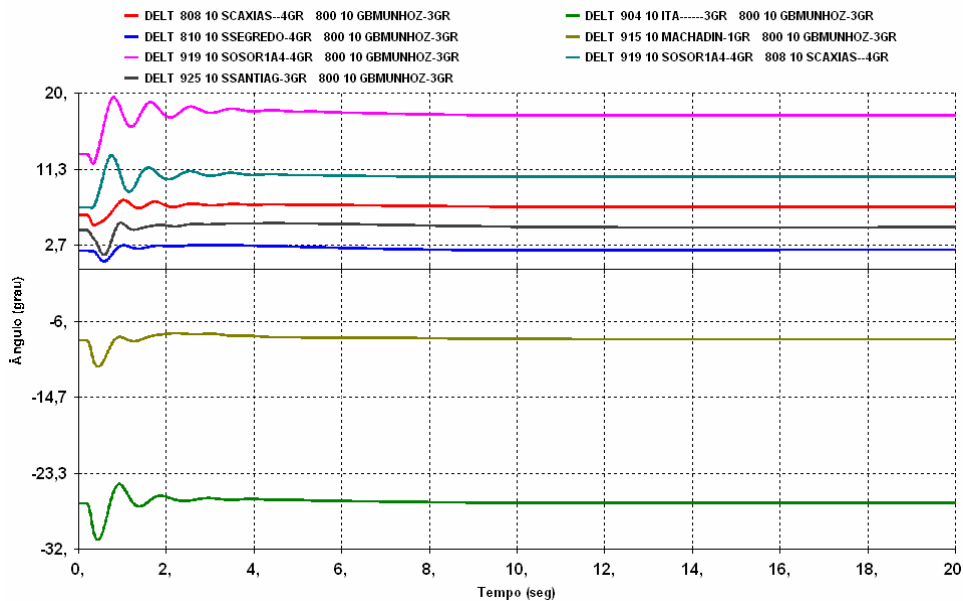


Figura 7.10 – Defasamento angular das máquinas do sistema

7.4.1.4 Análise da contingência 4

Foi aplicado um curto-circuito monofásico na barra de 500kV de Areia, com abertura permanente da LT 500kV Segredo-Areia. Esta contingência provoca uma sobrecarga da ordem de 22% na LT 500kV Salto Santiago – Itá, que passa da condição pré-defeito com 1310 MVA, para cerca de 2575 MVA no final da simulação, conforme

mostrado na Figura 7.11. Quanto ao aspecto dinâmico, no que se refere à estabilidade angular, o sistema permaneceu estável, conforme pode ser observado nas Figuras 7.12 e 7.13, que mostram os ângulos das máquinas em relação a máquina de G.B. Munhoz e a potência elétrica das máquinas, respectivamente.

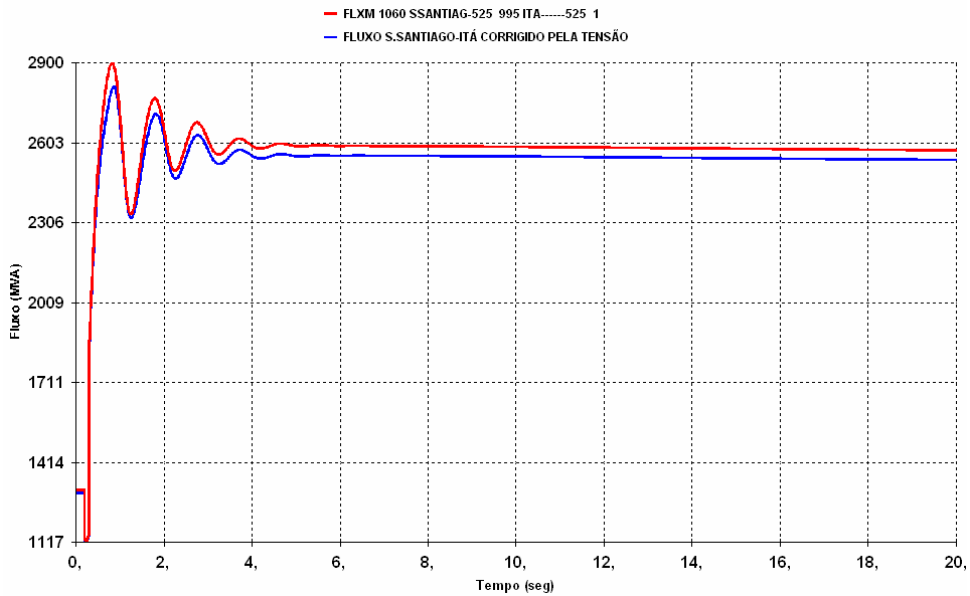


Figura 7.11 – Carregamento na LT 500kV S.Santiago-Itá

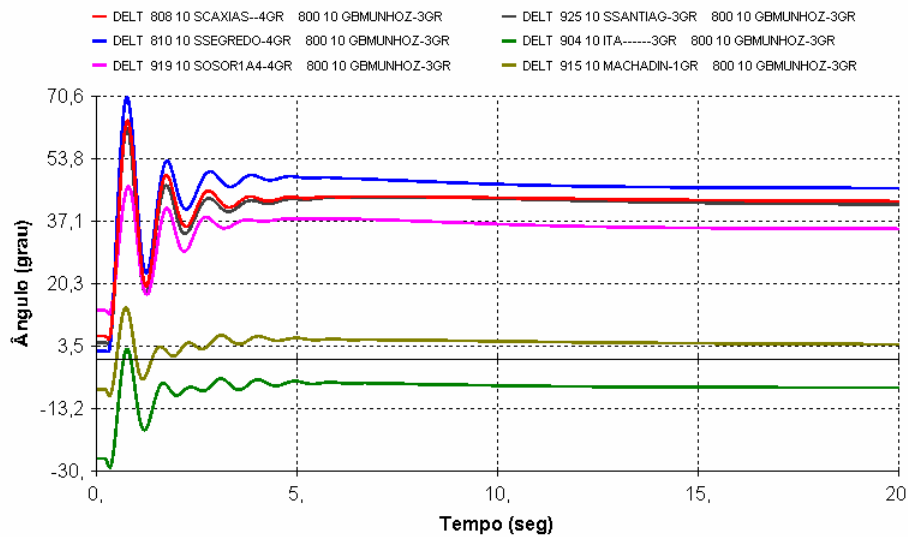


Figura 7.12 – Defasamento angular das máquinas do sistema

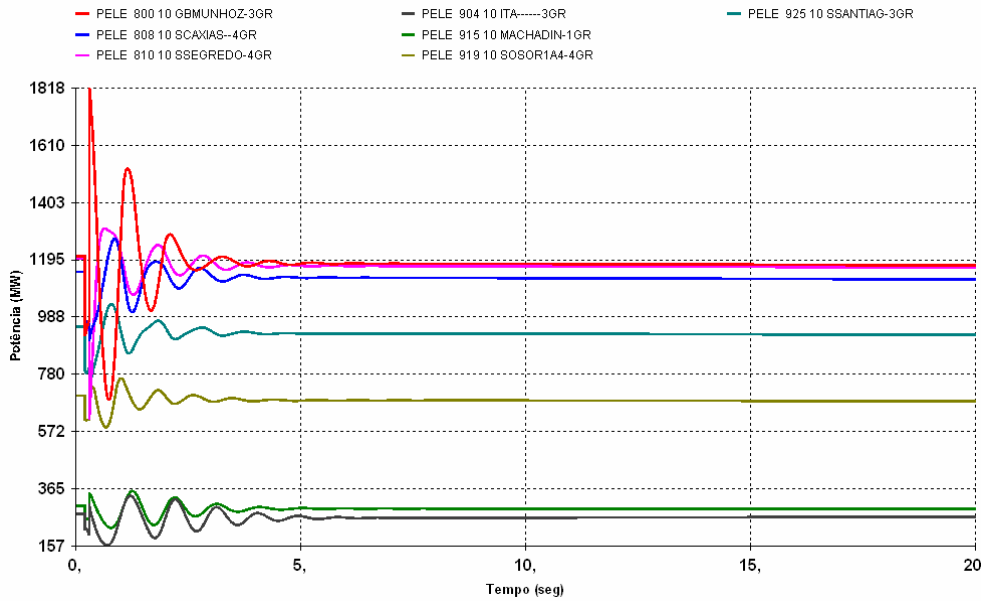


Figura 7.13 – Potência elétrica das máquinas do sistema

Duas medidas corretivas poderiam ser aplicadas para eliminar a sobrecarga na LT 500kV S.Santiago-Itá: a primeira consiste em elevar geração nas UHE's Itá, Machadinho ou G.B. Munhoz, conforme a disponibilidade e o tempo necessário para realizar esse procedimento. A outra é realizar corte de carga na área A, até que o carregamento na linha fique dentro do seu limite de regime contínuo.

7.4.2. Estudo do fenômeno de colapso de tensão

Este fenômeno é um tópico importante na área de análise de sistemas elétricos de potência. Diversos artigos apresentam formas diferentes de determinação do ponto de colapso, tal como [29], que faz uma análise através da matriz jacobiana verificando a singularidade. Este problema resulta da tentativa de suprir as cargas além da capacidade de potência máxima que o conjunto geração e sistema de transmissão pode fornecer. As principais causas desse problema estão relacionadas a:

- Carregamentos excessivos nas linhas de transmissão;
- Fontes de tensão muito afastadas dos centros de carga;
- Insuficiente compensação reativa da carga.

No presente estudo, o objetivo é demonstrar a ocorrência de um evento do tipo colapso de tensão através da aplicação de uma rampa de carga no sistema, provocando um crescimento rápido de carga no tempo.

Para observar o efeito do colapso de tensão foi utilizado o **sistema-teste de 65 barras**, que oferece boas condições topológicas para reprodução do problema. O caso a ser estudado foi ajustado num ponto de operação onde os recursos de potência reativa do sistema apresentavam pouca margem de regulação, com as tensões nas máquinas próximas do seu limite máximo e considerando apenas uma máquina em operação no compensador síncrono de Ibiúna. Os dados referentes a este ponto de operação encontram-se no Anexo I Tabelas 10a e 10b.

Para atingir o ponto de colapso, o subsistema Sudeste (área Um) foi submetido a um rampeamento sucessivo de carga pelo tempo de 40 segundos, totalizando um acréscimo máximo de 20% do montante da carga da área Um, atingindo o esgotamento da capacidade do compensador síncrono de Ibiúna em controlar a tensão.

Por simplicidade, não foram representados os modelos dinâmicos dos transformadores LTC. A representação desses equipamentos mostraria com mais realidade o problema, uma vez que eles contribuem com maior influência para o colapso de tensão.

Durante as oscilações de tensão, a tensão mínima não deve ultrapassar o valor de 80% instantaneamente e 85% por 200 ms, de forma a reduzir a perda natural de carga. A tensão pós-distúrbio deve estabilizar-se entre 90 e 110%.

A Figura 7.14 mostra o comportamento do compensador síncrono de Ibiúna quando da aplicação de rampa de carga no subsistema Sudeste, com atuação do limitador de sobre-excitação e sem medida corretiva no sistema.

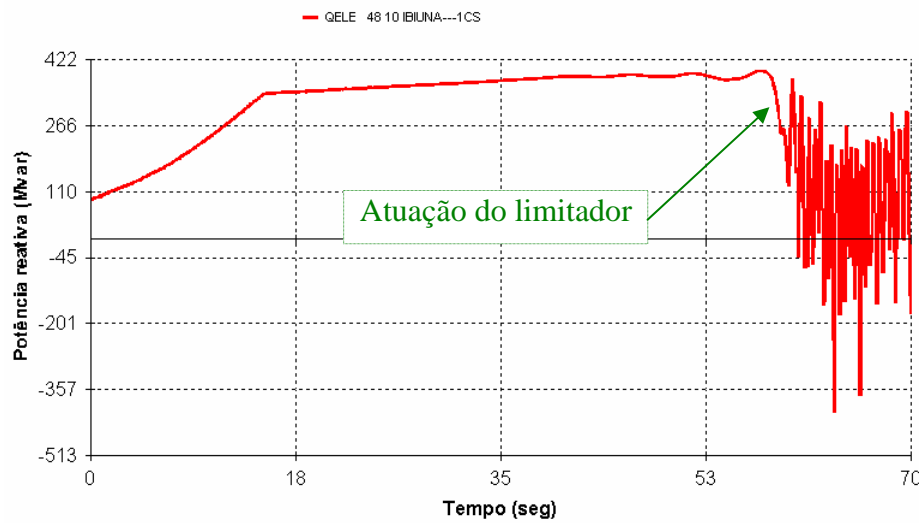


Figura 7.14 – Potência reativa do CS Ibiúna

Observa-se que o compensador síncrono de Ibiúna atinge o seu valor máximo de sobrecarga, permanecendo neste valor por cerca de 60 segundos, período de tempo que o compensador síncrono suporta a sobrecarga. Quando o limitador de sobre-excitação atua para eliminar a sobrecarga, o valor de potência reativa gerada pelo compensador síncrono é reduzido até seu valor nominal. Neste instante, o sistema que está com o perfil de tensão degradado, com a falta da potência reativa gerada pelo compensador síncrono quando em sobrecarga, atinge uma situação de colapso, com afundamento das tensões do sistema, conforme mostra a Figura 7.15.

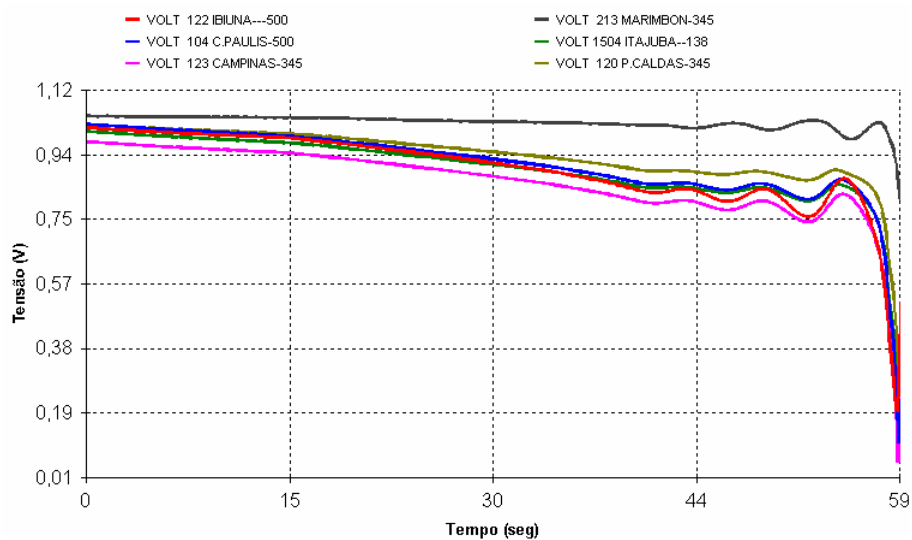


Figura 7.15 – Módulo da tensão nos barramentos da área Um

A seguir serão adotadas algumas medidas corretivas na tentativa de evitar o colapso. Essas medidas consistem na adoção de um esquema de alívio de carga por subtensão que corta automaticamente carga, quando a tensão atinge um determinado valor. Neste estudo foram considerados dois valores como limite mínimo de tensão de corte iguais a 0,85 pu e 0,80 pu.

A Tabela 7.4 apresenta os esquemas de corte de carga considerados com a descrição do que cada um realiza.

Tabela 7.4 – Esquema de corte de carga

Esquema	Descrição
Situação-1A	Corte de 30% da carga nas barras das áreas Um e Dois que atingirem a tensão de corte de 0,85 pu.
Situação-1B	Corte de 30% da carga nas barras das áreas Um e Dois que atingirem a tensão de corte de 0,80 pu.
Situação- 2A	Corte apenas nas barras da região Sudeste (área Um) que apresentaram valores de tensão abaixo de 0,80 pu. O montante de corte e as barras estão apresentados na Tabela 7.5.

A Tabela 7.5 mostra os locais e as barras do sistema onde foram instalados os relés de subtensão. Essas barras foram selecionadas porque apresentaram um perfil de tensão abaixo do nominal durante as simulações. Além disso, tais barras pertencem a uma região do sistema que não dispõe de muitos equipamentos de suporte de potência reativa para realizar um controle de tensão mais efetivo.

Tabela 7.5 – Montante de corte da situação-2A

Barra	Local	Montante de corte (%)	Tensão de corte (pu)
104	Cach.Paulista 500kV	70	0,80
122	Ibiúna 500kV	70	0,80
1504	Itajubá 138kV	50	0,80
123	Campinas 345kV	50	0,80

A Figura 7.16 mostra um gráfico com as curvas das tensões em barras do sistema quando da adoção do esquema da situação-1A que considera 0,85 pu como tensão mínima de corte.

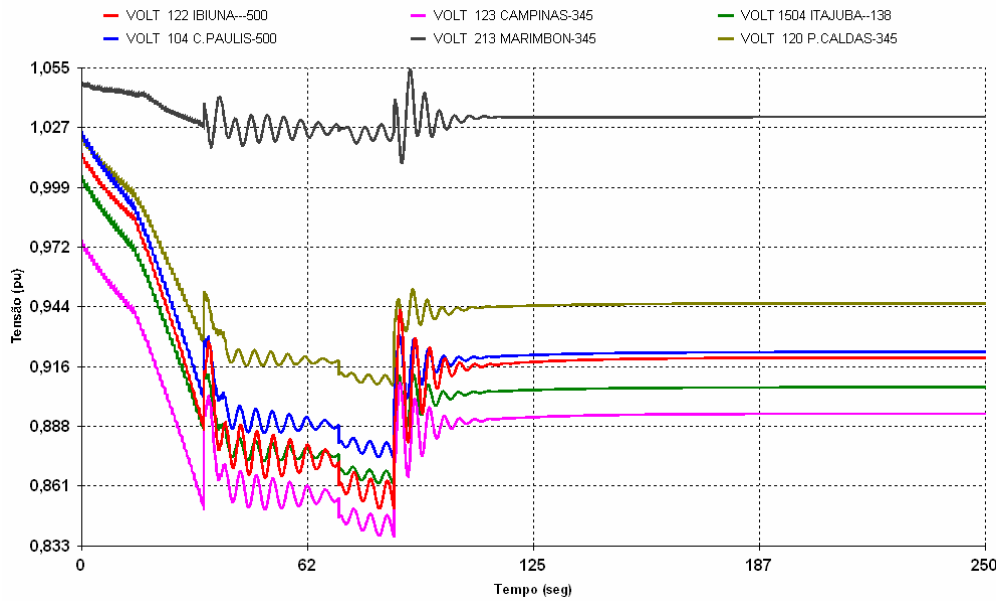


Figura 7.16 – Módulo da tensão em barramentos de carga da área Um

Observa-se que a atuação do relé de subtensão cortando carga evitou o colapso, porém os níveis de tensão em alguns pontos do sistema ainda permanecem críticos, implicando na necessidade de mais corte de carga para sair desta situação.

A Figura 7.17 mostra um gráfico com as curvas das tensões do sistema quando da adoção do esquema da situação-1B, que considera 0,80 pu como tensão mínima de corte e, em seguida, a Figura 7.18 que mostra um gráfico com as curvas dos ângulos das máquinas do sistema quando da adoção do mesmo esquema.

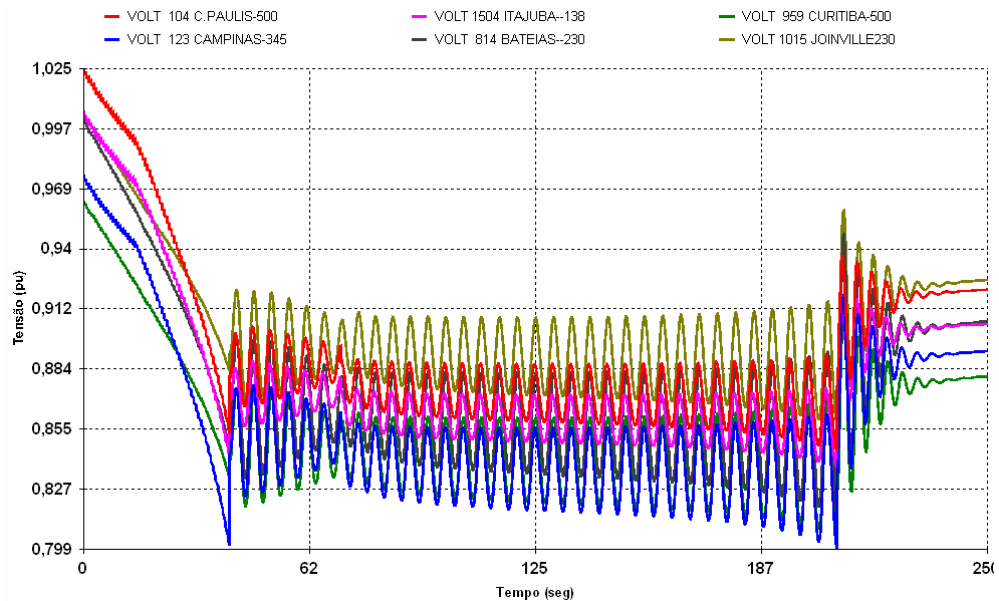


Figura 7.17 – Módulo da tensão em barramentos do sistema

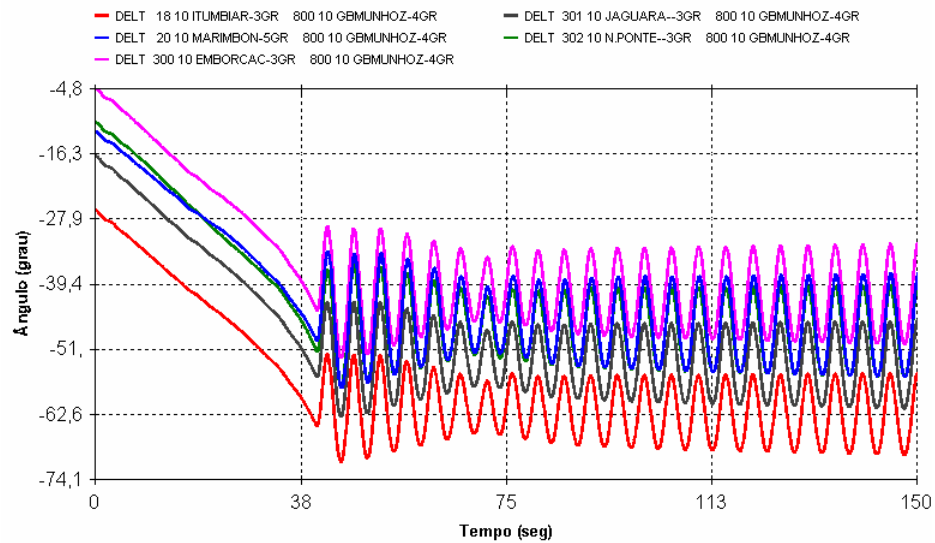


Figura 7.18 – Defasamento angular das máquinas da área Um em relação área Dois

Observa-se neste caso que, como as tensões nas barras de carga praticamente não atingem o valor de 0,80 pu, que provoca a atuação do relé de subtensão, exceção feita para a barra de 345kV de Campinas, o montante de corte de carga realizado não foi suficiente para evitar que o sistema vá para uma condição de colapso. Observa-se também que as tensões oscilam por mais de 1 minuto, caracterizando uma situação inaceitável e conduzindo o sistema a uma condição de instabilidade.

A Figura 7.19 mostra um gráfico com as curvas dos ângulos das máquinas da área Um e a Figura 7.20 da área Dois do sistema quando da adoção do esquema da situação-2A, que possui um outro arranjo que promove cortes de carga localizados em barras que foram previamente selecionadas. Na Figura 7.21 são mostradas as tensões nas barras onde o esquema de corte de carga foi instalado.

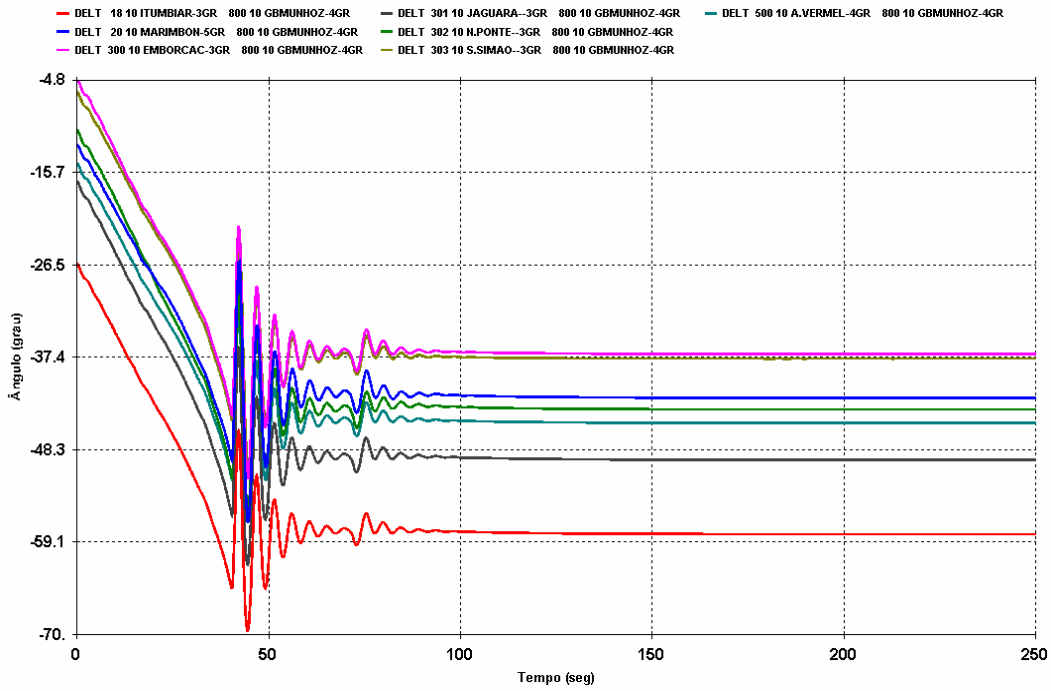


Figura 7.19 – Defasamento angular das máquinas da área Um em relação área Dois

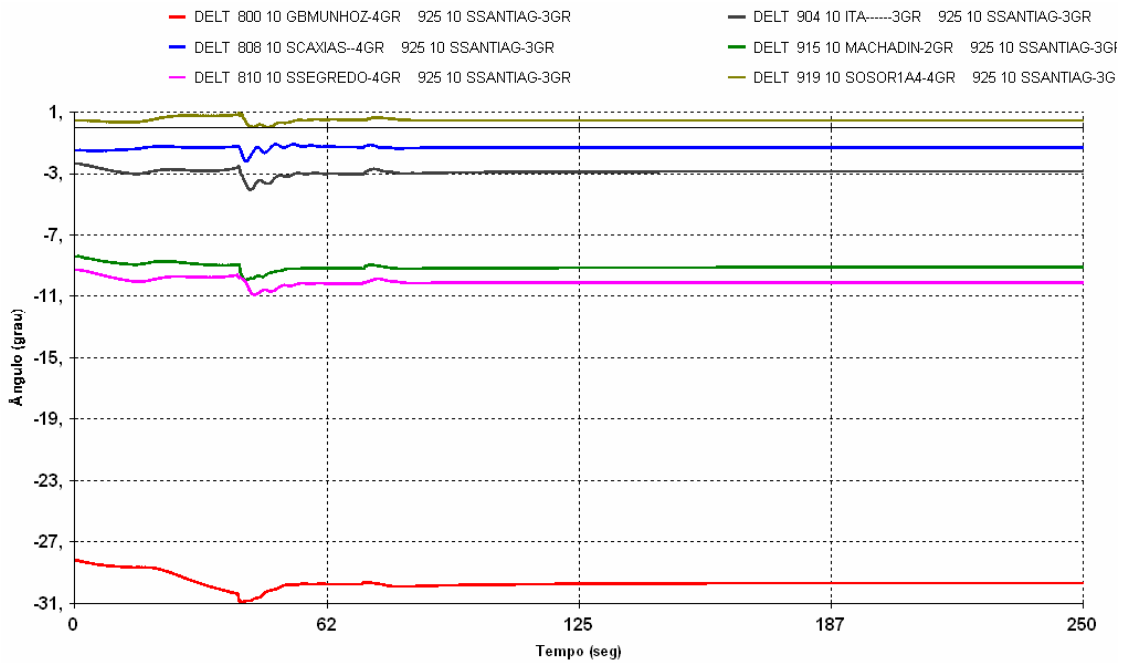


Figura 7.20 – Defasamento angular das máquinas da área Dois

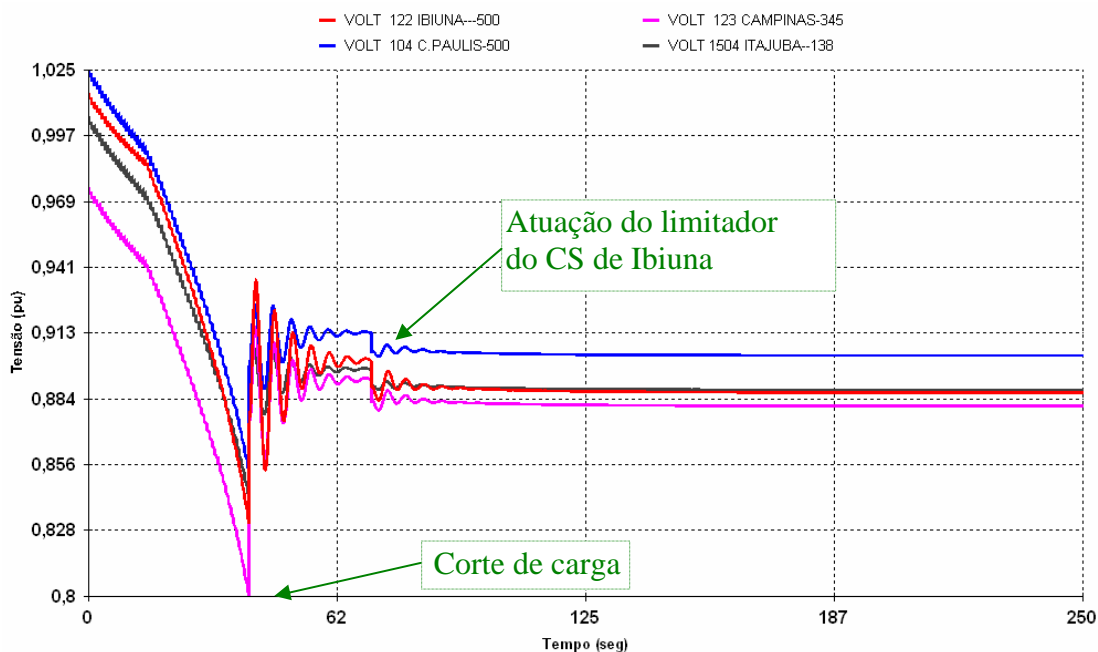


Figura 7.21 – Módulo da tensão em barramentos de carga da área Um

Observa-se neste caso, que a atuação do relé de subtensão no esquema da situação-2A, que corta carga em determinadas barras, evitou o colapso. Porém a Figura 7.21 mostra que o corte foi efetuado apenas na barra de Campinas 345kV no montante de 50% da sua carga. Apesar desta ação, pode ser verificado ainda que os níveis de tensão nessas barras estão abaixo do valor desejado em contingência, precisando de medidas adicionais para retornar para um patamar de segurança.

A seguir serão comentadas outras medidas corretivas que podem ser adotadas para tentar evitar o colapso de tensão. Elas envolvem ações de ligar capacitor ou desligar reator no sistema. Como neste caso, não havia nenhum reator ligado no sistema, foi realizada apenas a ação de ligar capacitor. Os capacitores foram ligados somente na área Um, porque esta área contém barras que apresentam menores valores de tensão. Os locais e montantes onde foram ligados são mostrados na Tabela 7.6.

Tabela 7.6 – Locais e montantes de capacitores

Local	Montante (Mvar)
Cach.Paulista 500kV	200
Ibiúna 500kV	200
Itajubá 138kV	200
Campinas 345kV	200
Poços 345kV	200
Total	1000

A Figura 7.22 mostra o comportamento do compensador síncrono de Ibiúna quando da aplicação de rampa de carga no subsistema Sudeste, ligando capacitores para tentar evitar o colapso em 58 segundos de simulação, após atuação do limitador de sobrecarga do CS de Ibiúna. A Figura 7.23 mostra o comportamento das tensões para esta mesma situação.

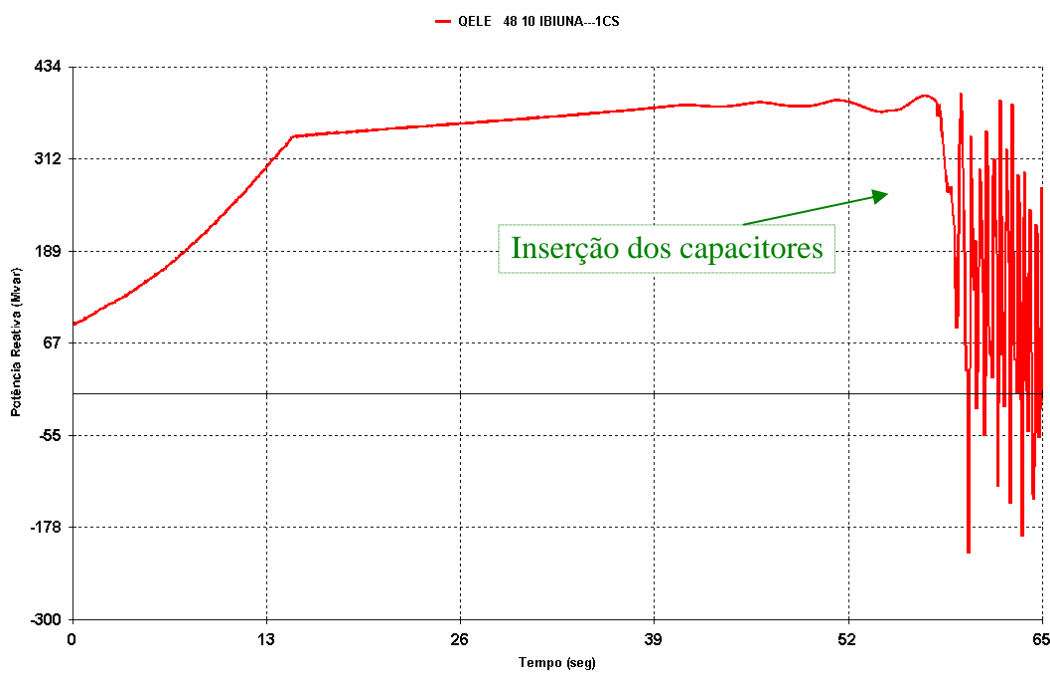


Figura 7.22 – Potência reativa do CS de Ibiúna

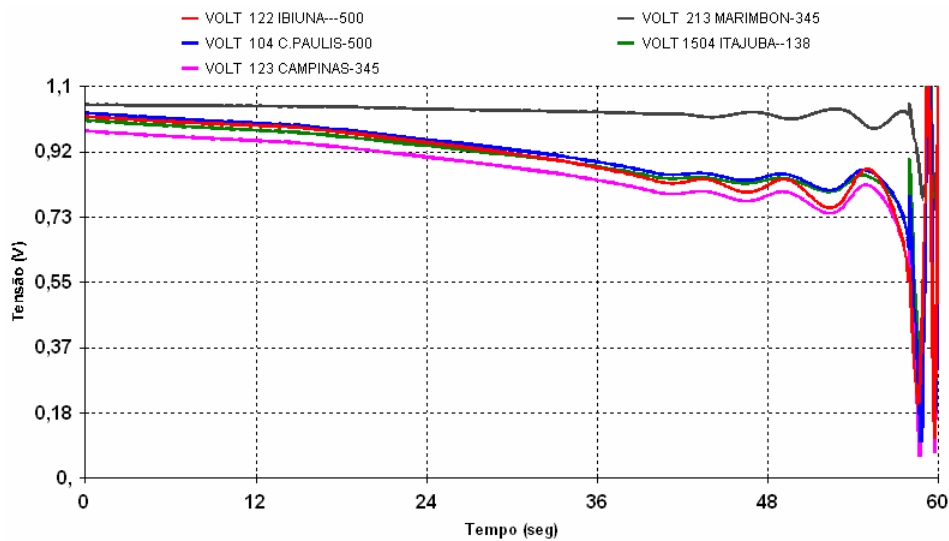


Figura 7.23 – Tensão em barras de carga da área Um

A Figura 7.24 mostra o comportamento do compensador síncrono de Ibiúna quando da aplicação de rampa de carga no subsistema Sudeste, ligando capacitores para tentar evitar o colapso em 32 segundos de simulação, durante o período de sobrecarga do CS de Ibiúna e antes da atuação do limitador. A Figura 7.25 mostra o comportamento das tensões para esta mesma situação.

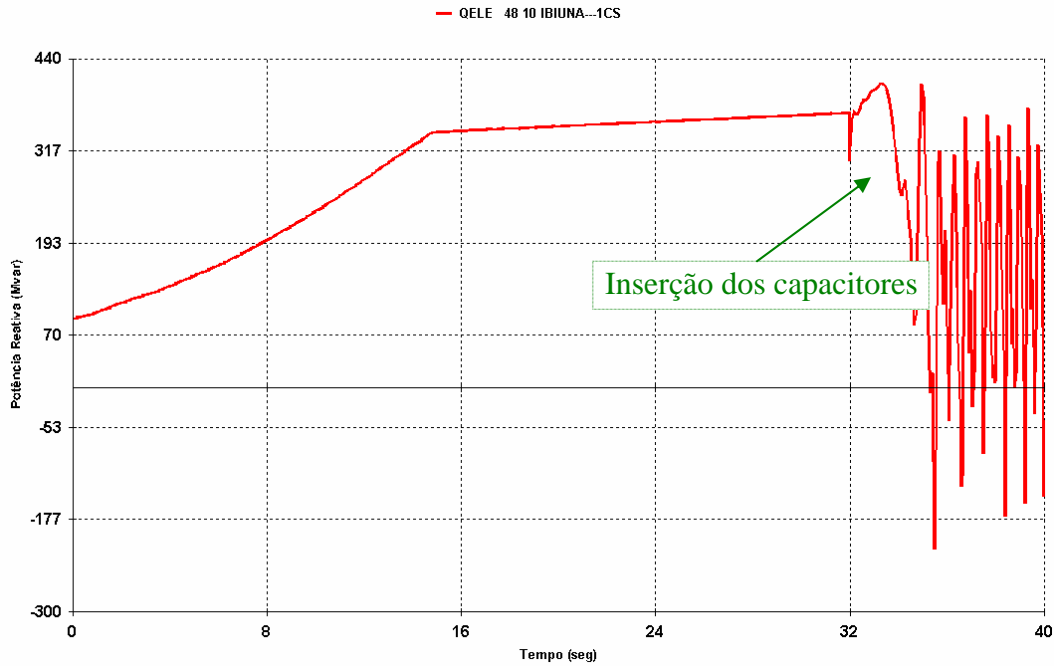


Figura 7.24 – Potência reativa do CS de Ibiúna

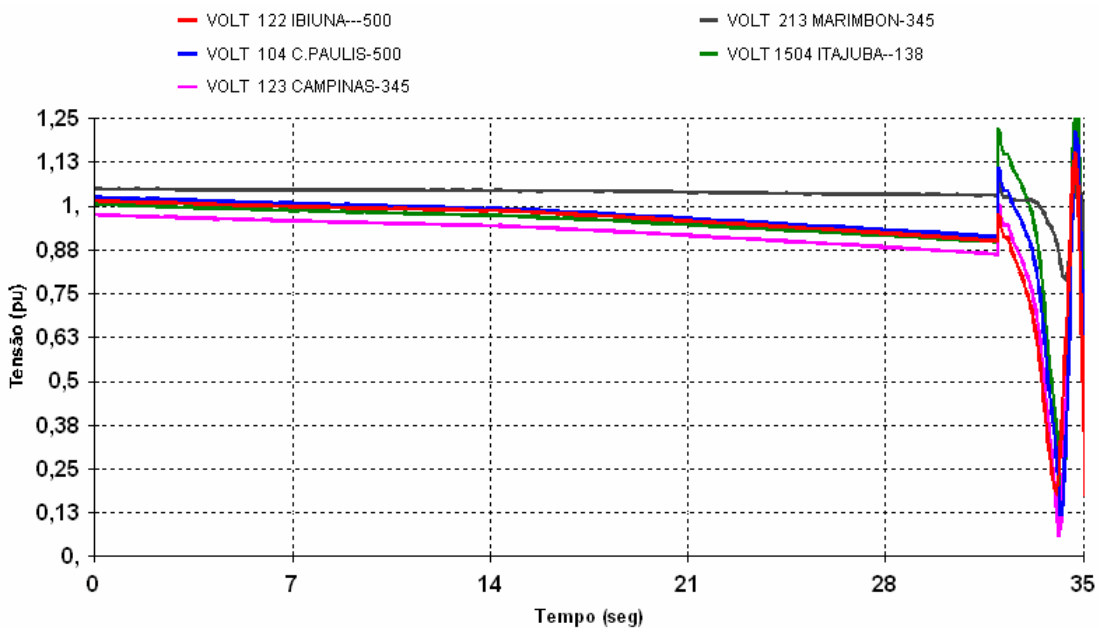


Figura 7.25 – Tensão em barras de carga da área Um

Finalmente, na Figura 7.26 é mostrado o comportamento do compensador síncrono de Ibiúna quando da aplicação de rampa de carga no subsistema Sudeste, ligando capacitores para tentar evitar o colapso em 15 segundos de simulação, no início da sobrecarga do CS de Ibiúna.

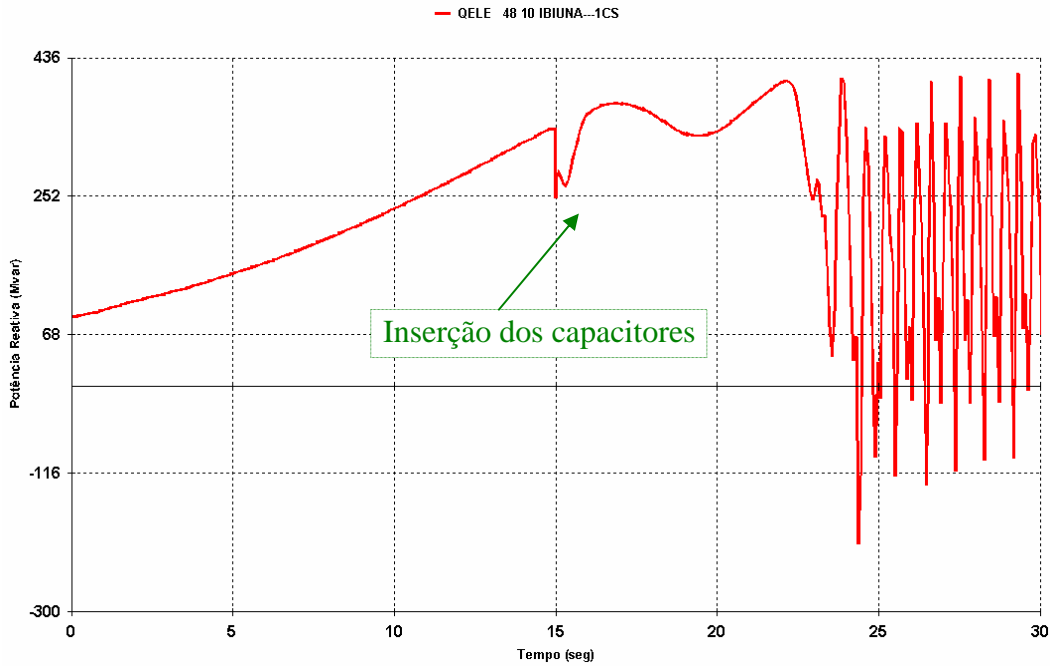


Figura 7.26 – Potência reativa do CS de Ibiúna

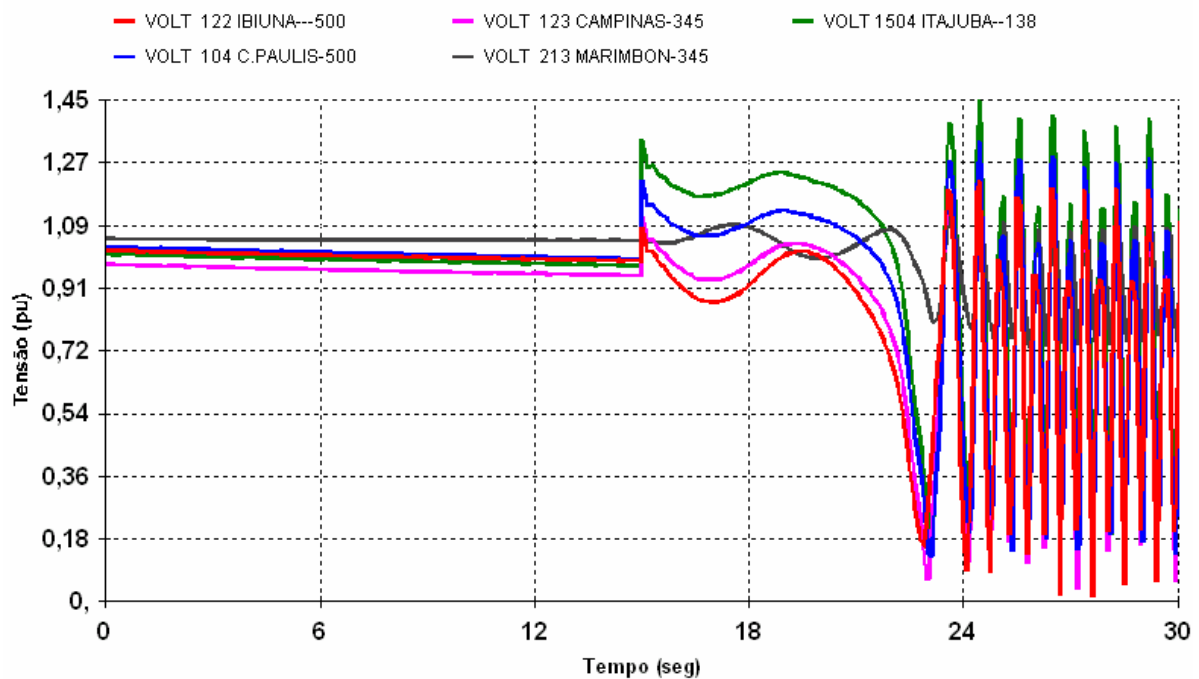


Figura 7.27 – Tensão em barras de carga da área Um

Observando as três situações de inserção de capacitores no sistema, temos que no primeiro caso, onde a inserção foi feita, após a atuação do limitador de sobre-excitação do síncrono, não surtiu efeito em razão das tensões já estarem em nível muito baixo. Como a potência reativa gerada pelo capacitor varia com o quadrado da tensão, quanto menor a tensão, menor é o reativo fornecido por esse elemento.

No segundo caso, também não se conseguiu recuperar a tensão a nível desejado. Houve uma pequena redução na sobrecarga do síncrono, mas como a carga ainda estava crescendo, esse acréscimo de potência reativa inserida no sistema não resolveu o problema. Observa-se que, quando são ligados os capacitores, ocorre uma sobretensão instantânea nessas barras, que podem acarretar a atuação da proteção de sobretensão, dependendo do ajuste.

No terceiro caso, também se observa a ocorrência de sobretensão instantânea nos pontos onde foram inseridos os capacitores e, cerca de 10 segundos depois o sistema entra em colapso. Este exemplo mostra que é importante conhecer a margem de crescimento de carga que o sistema suporta, sem ligar capacitor e ligando capacitor, de modo que as tensões nas barras permaneçam nos valores desejados, sendo esse o limite do sistema.

7.4.3. Estudo de Máxima Transferência de Potência

No planejamento da operação em regime dinâmico, estes estudos visam determinar medidas de segurança quando o sistema estiver operando próximo aos limites de transmissão.

O objetivo é avaliar o desempenho dinâmico da interligação entre as áreas Sul-Sudeste do caso estudado no item 5.4.6 do Capítulo 5, cujo intercâmbio foi maximizado em condição normal através do FLUPOT. Naquele caso, buscou-se obter a máxima transferência de potência entre as áreas considerando a rede completa, sem provocar sobrecarga em equipamentos ou problemas no controle de tensão.

Na situação a ser avaliada, alto carregamento em linhas de interligação, é importante o estabelecimento de um limite de transmissão para que o sistema possa operar de modo a não cair em uma região de operação perigosa caso uma eventual contingência venha a ocorrer. Mesmo com adoção de medidas preventivas, esta situação de carregamentos

excessivos impõe uma redução nas margens de segurança do sistema, tornando-o mais vulnerável a interrupções de serviço.

Como segurança e economia são condições opostas, isso significa que a existência de sistemas totalmente seguros são inviáveis economicamente. Dessa forma, sempre existirá algum grau de risco em qualquer condição de operação.

A seguir a comparação entre o caso inicial e o caso maximizado quando da eventual perda da LT 500 kV Ibiúna-Bateias C.1, considerando a mesma representação da carga usada no processo de maximização realizado no Capítulo 5, ou seja, 50% da potência ativa constante, 50% variando com o quadrado da tensão e 100% da potência reativa variando com o quadrado da tensão.

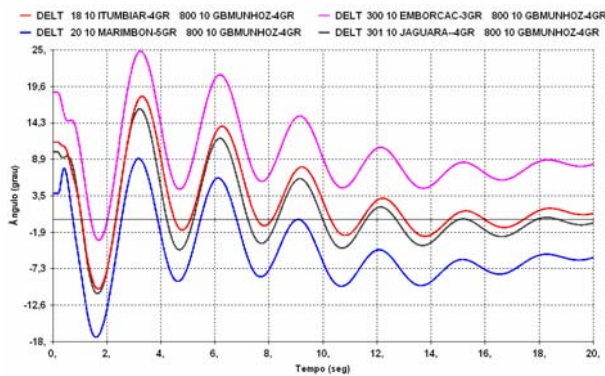


Figura 7.28 – Variação angular dos rotores de Itumbiara, Marimbondo, Emborcação e Jaguara em relação a G.B.Munhoz

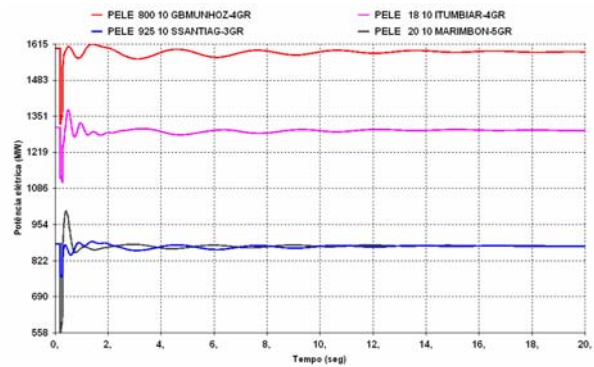


Figura 7.29 – Potência elétrica de G.B.Munhoz, S.Santiago, Itumbiara e Marimbondo

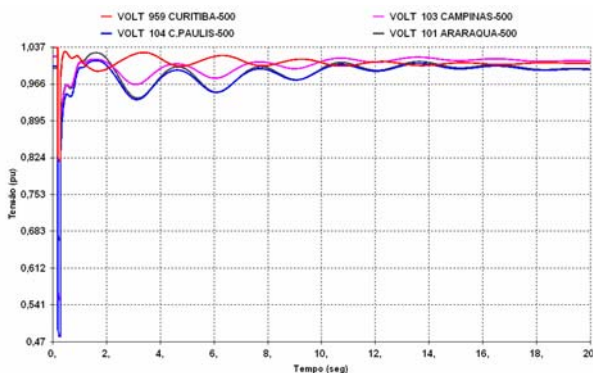


Figura 7.30 – Tensão em Curitiba, C.Paulista, Campinas e Araraquara

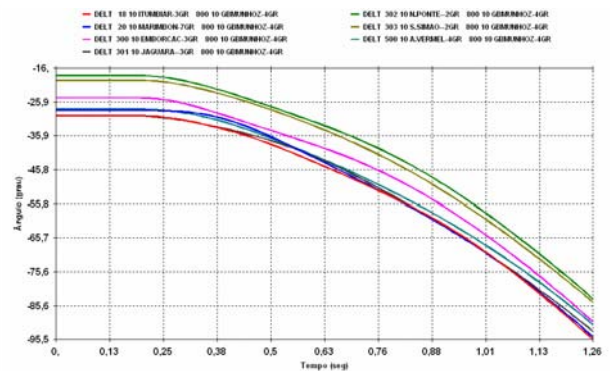


Figura 7.31 – Variação angular dos rotores das máquinas do Sudeste em relação a G.B.Munhoz no Sul

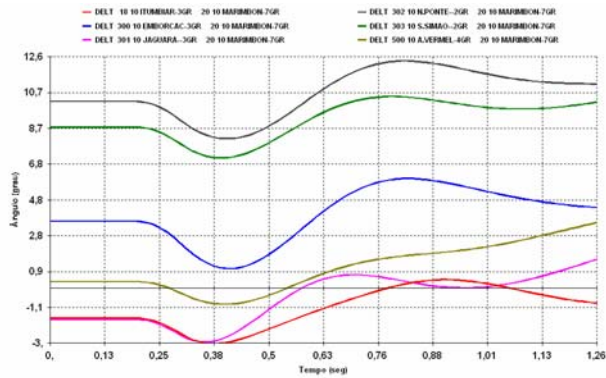


Figura 7.32 – Variação angular dos rotores das máquinas do Sudeste em relação a Marimbondon 7GR

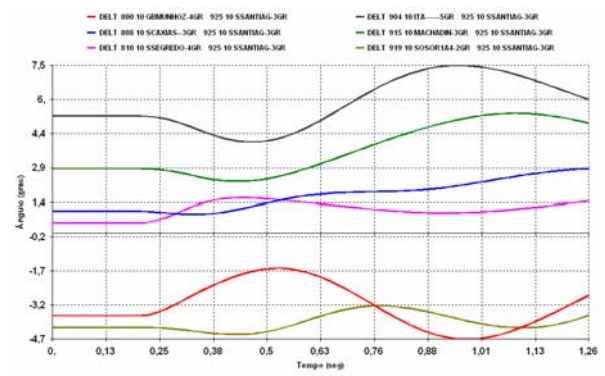


Figura 7.33 – Variação angular dos rotores das máquinas do Sul em relação a S.Santiago 3GR

As Figuras 7.28, 7.29 e 7.30 mostram o comportamento dinâmico do sistema para a condição de carregamento na interligação do caso inicial. Observa-se que para este valor de intercâmbio, o sistema se mantém estável após a perda de uma das linhas da interligação.

Para o caso onde o carregamento foi maximizado, a Figura 7.31 mostra que o sistema perde a estabilidade quando ocorre a abertura de uma das linhas da interligação. Já as Figuras 7.32 e 7.33 mostram o comportamento dinâmico dos geradores de cada área em relação a uma referência na mesma área, antes do programa interromper a simulação do caso em 1,26 segundos pela abertura angular de mais de 360° graus entre as duas áreas. Observa-se nestas curvas um comportamento ligeiramente estável, indicando que o problema está na dificuldade de transmitir potência pela interligação devido às condições extremas de operação. Tais condições levam o sistema a operar com pouca margem de segurança, comprometendo seu desempenho.

Para o caso maximizado, foram avaliadas duas possibilidades de solução para o problema observado na Figura 7.31. A primeira, no âmbito do planejamento da operação, consiste da adoção de um esquema automático de proteção que corte carga na área Sudeste, quando da ocorrência da perda de uma das linhas de transmissão da interligação. Como exemplo, foi considerado um esquema de corte de carga que rejeita um montante de 30% da carga de Campinas e Cachoeira Paulista. A segunda possibilidade de solução, no âmbito do planejamento da expansão, consiste do uso de compensação série nas linhas Ibiúna-Bateias C.1 e C.2 no valor de 60% da reatância total da linha.

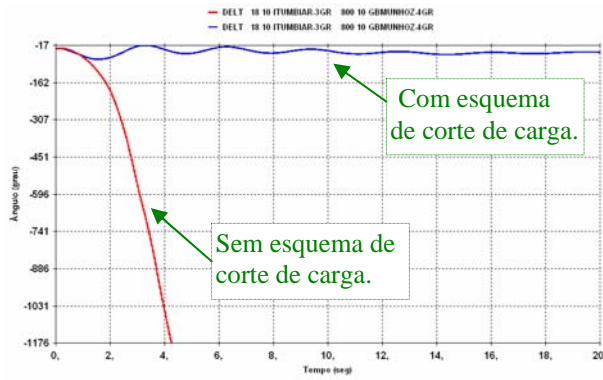


Figura 7.34 – Variação angular dos rotores de Itumbiara em relação a G.B.Munhoz com e sem esquema

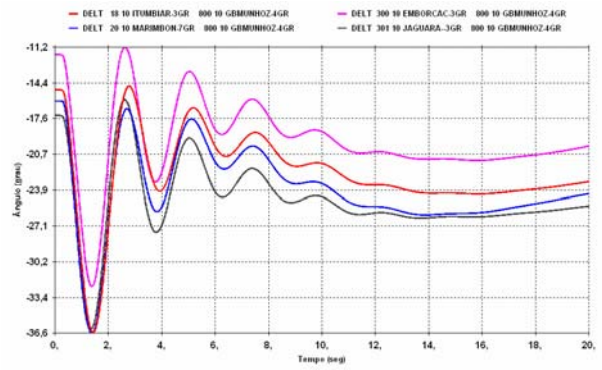


Figura 7.35 – Variação angular dos rotores de Itumbiara, Marimbondo, Emborcação e Jaguará em relação a G.B.Munhoz com compensação na interligação

A Figura 7.34 mostra a comparação do caso maximizado sem o uso de esquema e com esquema de corte de carga. Nota-se que, naquele onde o esquema reduziu carga, o sistema ficou estável.

A Figura 7.35 mostra o efeito da compensação série, que diminui a impedância da linha, aproximando os dois subsistemas e aumentando a capacidade de transmissão das linhas. Observa-se que o sistema ficou estável, indicando que em linhas longas, com alta impedância, a instalação de compensação série pode ser uma boa solução no aumento da capacidade de transmissão.

A comparação feita entre o caso inicial e o caso maximizado, em condições de regime permanente e regime dinâmico, mostrou que a transmissão de potência através de linhas de transmissão está limitada principalmente pelo limite dinâmico.

7.4.4. Influência dos Controladores na Estabilidade do Sistema

Os controladores das máquinas síncronas são projetados para evitar o máximo possível a perda de sincronismo entre as máquinas, quando o sistema é submetido a impactos. Eles são projetados para suportar a maioria dos distúrbios que possam ocorrer no sistema, tais como contingências simples e algumas contingências múltiplas.

Contingências múltiplas mais severas caracterizadas como N-2, N-3, etc. podem provocar a instabilidade do sistema. Para superar este problema lança-se mão de esquemas de emergência que irão desligar geradores e/ou cargas para levar o sistema a uma condição onde os controladores restabelecerão a estabilidade do mesmo.

Para que o sistema possa ser capaz de manter o sincronismo durante e após uma perturbação, é importante que se disponha de equipamentos de controle tais como: regulador automático de tensão (RAT), regulador automático de velocidade (RAV) e estabilizador (ESP) implementados nos geradores. Individualmente, cada controlador tem sua função e em conjunto devem responder às solicitações do sistema buscando manter os geradores operando em sincronismo e o equilíbrio entre carga e geração, condições essenciais ao funcionamento de qualquer sistema elétrico de potência.

Neste exemplo, o objetivo é mostrar a influência exercida pelos controladores (RAT, RAV e ESP) sobre geradores, e os efeitos da presença ou da ausência destes controladores sobre a estabilidade transitória de sistemas elétricos de potência. Observando que, a estabilidade do sistema está associada ao comportamento do ângulo do rotor, da frequência e da tensão do sistema.

Para análise do problema, foi utilizado o caso-base do sistema-teste de 9 barras, com a tensão terminal dos geradores no valor de 1,050 pu. Essa medida operativa visou melhorar o perfil de tensão no sistema, aumentando as margens de operação e o suporte de potência reativa dos geradores. A carga foi representada considerando a potência ativa constante e a potência reativa variando com o quadrado da tensão.

A Tabela 7.7 apresenta a seqüência dos eventos aplicados, conforme a simulação. Os desenvolvimentos e as análises apresentadas neste item foram baseados principalmente nas referências [30, 31 e 32].

Tabela 7.7 – Lista de simulações

Simulação	Descrição
1	Sistema sem distúrbio e com controladores.
2	Sistema com distúrbio e sem controladores.
3	Sistema com distúrbio e RAT.
4	Sistema com distúrbio, RAT e RAV.
5	Sistema com distúrbio, RAT, RAV e ESP.
6	Sistema com distúrbio, RAT, RAV e ESP com ganho alterado de 12 para 100.

7.4.4.1 Análise da simulação 1

Nesta situação, o sistema apresenta um comportamento de regime permanente, sem variações significativas nas grandezas de ângulo, frequência e tensão conforme mostra as Figuras 7.36 e 7.37. Como não houve distúrbios, não ocorreram variações nas grandezas do sistema e o equilíbrio entre a potência elétrica gerada pelas máquinas e a potência elétrica consumida pelas cargas mais as perdas nas linhas foi mantido. Essa simulação é importante para verificar se existe algum modelo ou dado errado nos controladores ou máquinas. Havendo algum erro ocorrerão variações nas grandezas observadas.

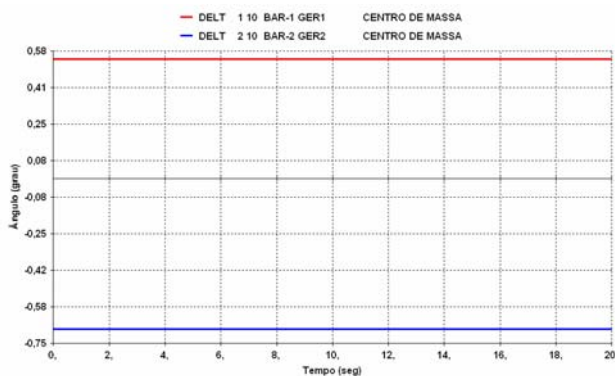


Figura 7.36 – Variação angular dos rotores das máquinas 1 e 2 em relação ao centro de massa

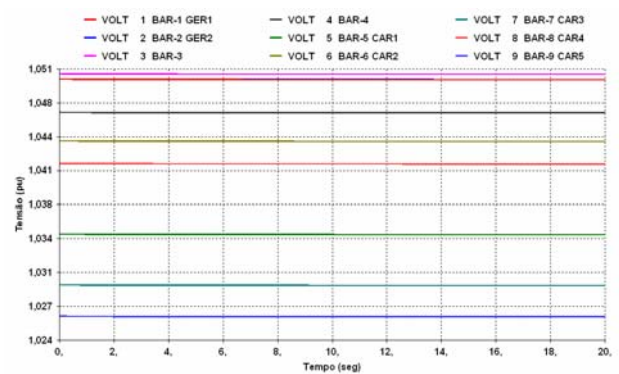


Figura 7.37 – Tensão nas barras do sistema

7.4.4.2 Análise da simulação 2

Aplicando um curto-circuito monofásico através da inserção de um reator de 450 Mvar na barra 3 durante 100ms e removendo-o no mesmo instante da abertura da LT 3-5, resulta no comportamento mostrado na Figura 7.38 onde o distúrbio aplicado provocou a perda de estabilidade do sistema. Neste caso, a Figura 7.39 mostra que ocorre uma instabilidade de

tensão conduzindo ao colapso de tensão e a conseqüente perda de sincronismo entre as máquinas do sistema.

A Figura 7.40 mostra que a tensão de campo das máquinas permanece constante porque não existe regulador de tensão. Dessa forma não ocorre nenhuma ação do sistema de excitação para regular a tensão. Para um gerador sem sistema de excitação, a instabilidade acontece devido a insuficiência de torque sincronizante, provocando aumento do ângulo do rotor.

A Figura 7.41 mostra que ocorre redução da freqüência do sistema, cujo valor nominal é de 60 Hz. Isso ocorre porque durante o período do distúrbio, a potência elétrica fornecida pelos geradores, mostrada na Figura 7.42 aumentou, enquanto que a potência mecânica aplicada ao eixo dos geradores, mostrada na Figura 7.43, permanece constante. Como as máquinas estão sem regulador de velocidade, nenhuma ação de controle para corrigir o desvio da freqüência é realizada. Além disso, a representação da carga contribuiu para a queda da freqüência, uma vez que a potência ativa da carga é mantida constante.

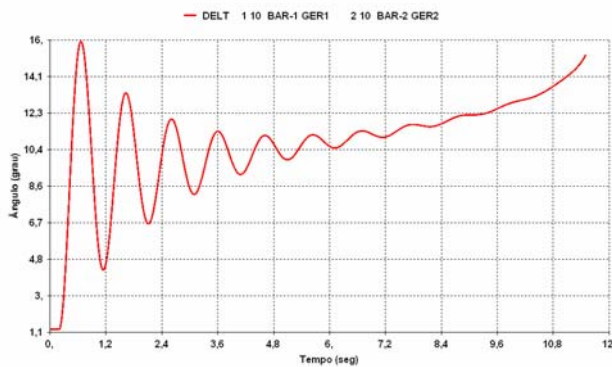


Figura 7.38 – Variação angular dos rotores da máquina 1 contra a máquina 2.

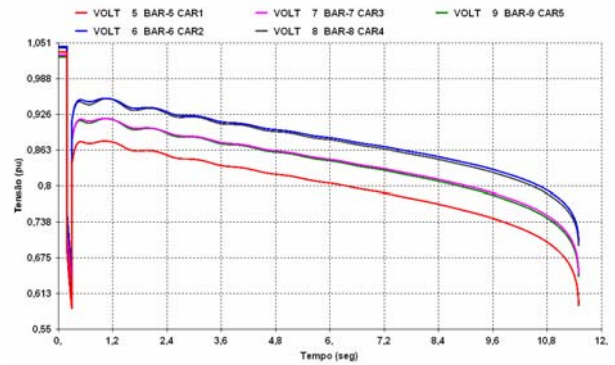


Figura 7.39 – Tensão nas barras de carga.

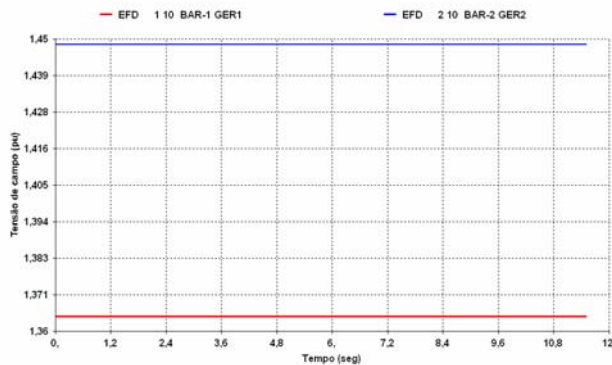


Figura 7.40 – Tensão de campo das máquinas.

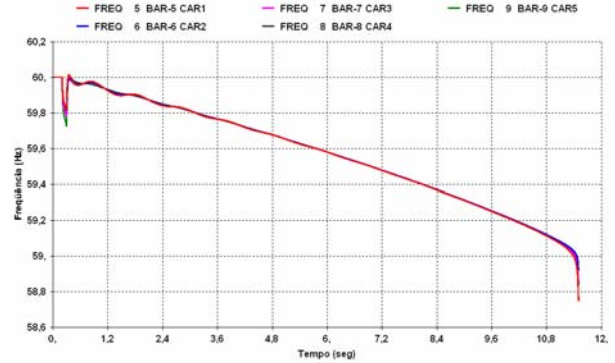


Figura 7.41– Freqüência do sistema medida nas barras de carga.

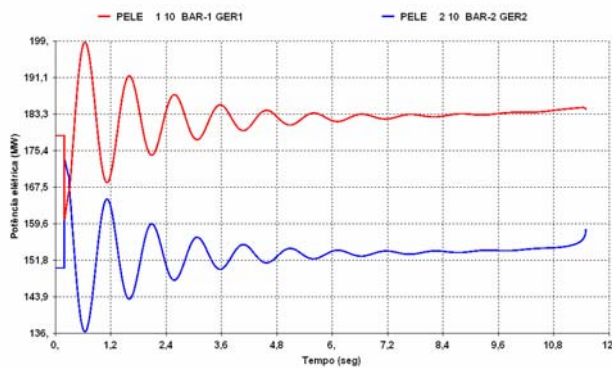


Figura 7.42 – Potência elétrica das máquinas 1 e 2.

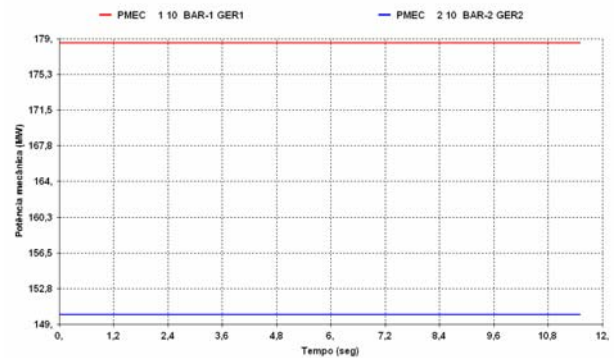


Figura 7.43 – Potência mecânica das máquinas 1 e 2.

7.4.4.3 Análise da simulação 3

Nesta simulação foi considerado o mesmo evento da simulação 2, incluindo nas máquinas ligadas as barras 1 e 2, um regulador de tensão cujo modelo e parâmetros encontra-se no Adendo I, item A-1.7 do Capítulo 3.

Observa-se na Figura 7.44 a influência da inclusão deste controlador. Ele fornece torque sincronizante e mantém a estabilidade do sistema, que pode ser vista na Figura 7.45, que compara o ângulo do rotor da máquina 1 em relação a máquina 2 obtido na simulação 2 (sem RAT) com o obtido na simulação 3 (com RAT).

Quanto às tensões mostradas na Figura 7.46, verifica-se que após os primeiros instantes de oscilações, retornam para um patamar próximo do seu valor inicial. Com relação à frequência, houve uma redução na taxa de queda, porém ainda sem controle efetivo, conforme mostra a Figura 7.47 que compara a frequência ocorrida na simulação 2 (sem RAT) com a frequência da simulação 3 (com RAT).

As Figuras 7.48 e 7.49 mostram o comportamento da potência elétrica e da potência reativa das máquinas respectivamente. Observa-se que a inclusão do RAT melhorou o comportamento da potência reativa fornecida pelas máquinas durante o período do distúrbio, por sua vez este controlador não tem influência na potência mecânica da máquina como mostrando na Figura 7.50.

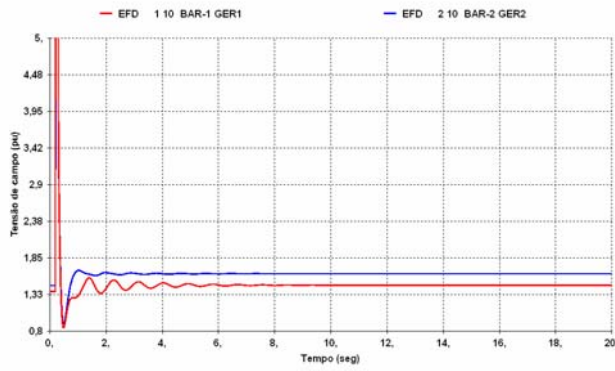


Figura 7.44– Tensão de campo das máquinas.

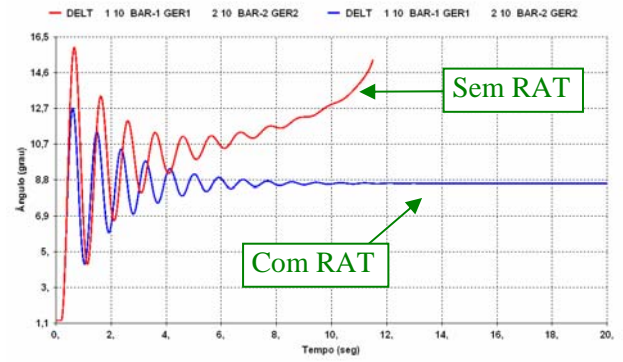


Figura 7.45 – Comparação da variação angular dos rotores da máquina 1 contra a máquina 2 com e sem regulador de tensão.

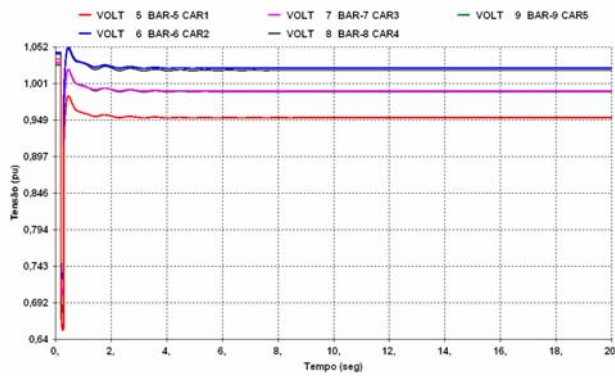


Figura 7.46 – Tensão nas barras de carga.

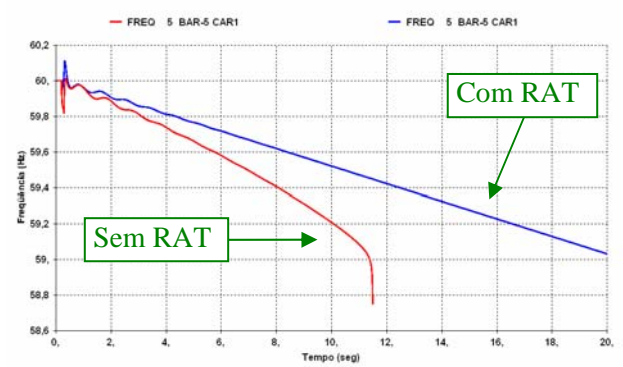


Figura 7.47 – Comparação do comportamento da frequência do sistema medida na barra 5 com e sem regulador de tensão.

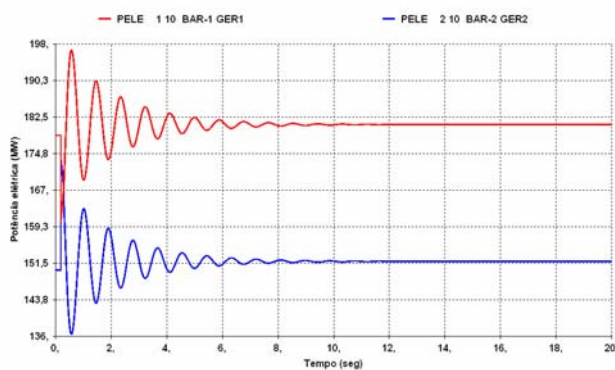


Figura 7.48 – Potência elétrica das máquinas 1 e 2.

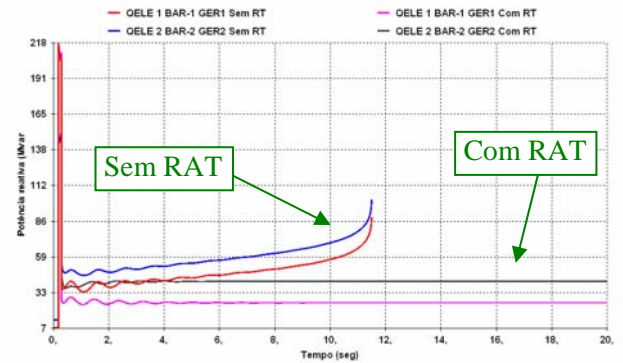


Figura 7.49 – Comparação da potência reativa das máquinas 1 e 2 com e sem regulador de tensão.

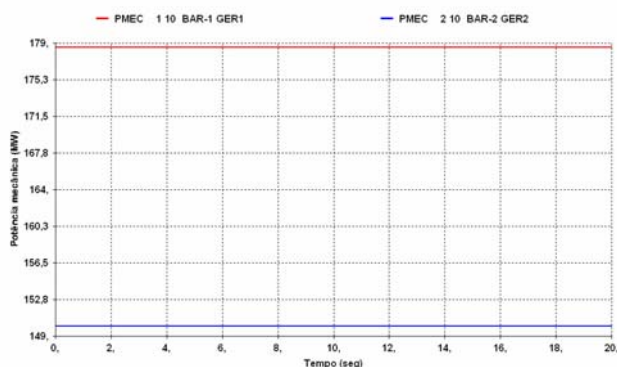


Figura 7.50 – Potência mecânica das máquinas 1 e 2.

7.4.4.4 Análise da simulação 4

Com a mesma configuração da simulação 3, são acrescentados agora às máquinas ligadas às barras 1 e 2, os respectivos reguladores de velocidade, cujo modelo e parâmetros encontram-se no Adendo I, item A-1.8 do Capítulo 3.

Verifica-se então, que é obtido o controle da frequência do sistema como mostrado na Figura 7.51, onde é feita uma comparação da frequência ocorrida na simulação 3 (sem RAV) com a frequência da simulação 4 (com RAV). Observa-se que, após o regime transitório, a frequência estabiliza em torno do valor inicial (60Hz).

Como os reguladores de velocidade em turbinas hidráulicas não atuam no primeiro momento da perturbação, devido a constante de tempo da água ser grande, relacionada ao efeito de “Penstock” ou tempo de transitório hidráulico (T_w), seu efeito se dá num tempo maior como mostrado na Figura 7.52. No início da resposta pode ser verificado que ocorre redução de potência na turbina da máquina 1, devido a turbina hidráulica ser de fase não mínima, que em vez de aumentar, a potência decresce inicialmente, para aumentar somente após certo tempo. Após este período o regulador de velocidade atua aumentando a potência mecânica e conseqüentemente a potência elétrica gerada pela máquina, como mostrado nas Figuras 7.52 e 7.53 respectivamente, na tentativa de restabelecer a frequência do sistema. Quando atinge a condição de regime permanente, a potência elétrica é igual a potência mecânica, não havendo mais variação de potência acelerante, como mostra a Figura 7.54.

Em seguida, são mostradas nas Figuras 7.55 e 7.56 as grandezas de ângulo e tensão, que comparadas em relação a simulação 3, não apresentaram variações significativas.

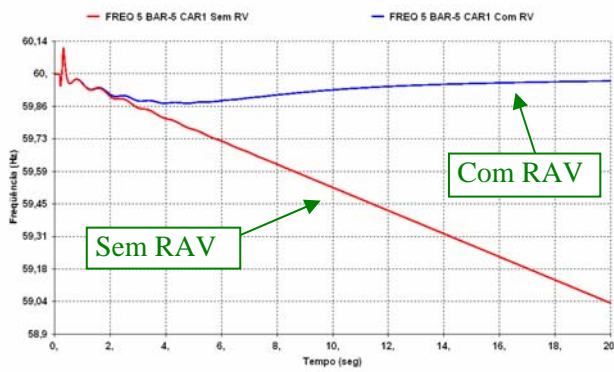


Figura 7.51– Comparação da frequência do sistema medida na barra 5 com e sem regulador de velocidade.

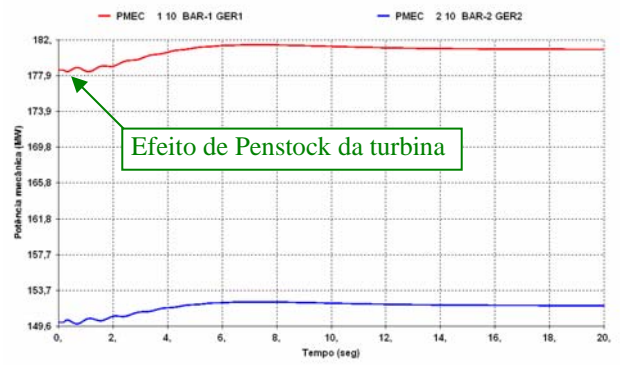


Figura 7.52– Potência mecânica das máquinas 1 e 2.

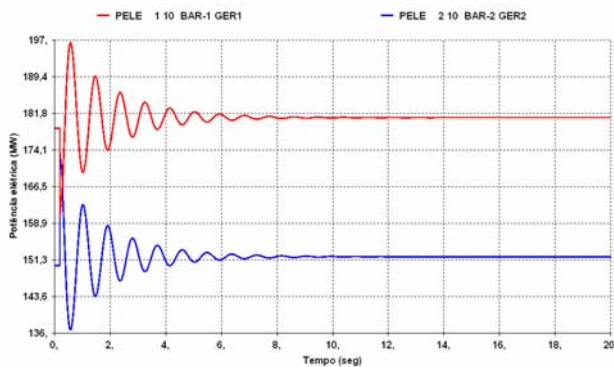


Figura 7.53 – Potência elétrica das máquinas 1 e 2.

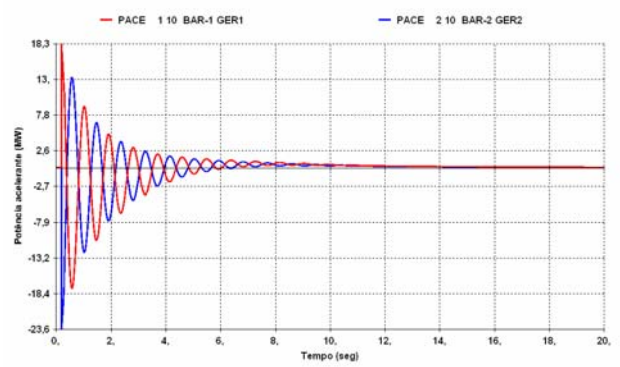


Figura 7.54 – Potência acelerante das máquinas 1 e 2.

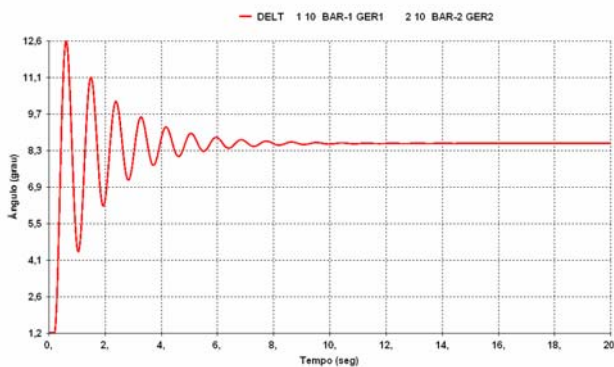


Figura 7.55 – Variação angular dos rotores da máquina 1 contra a máquina 2.

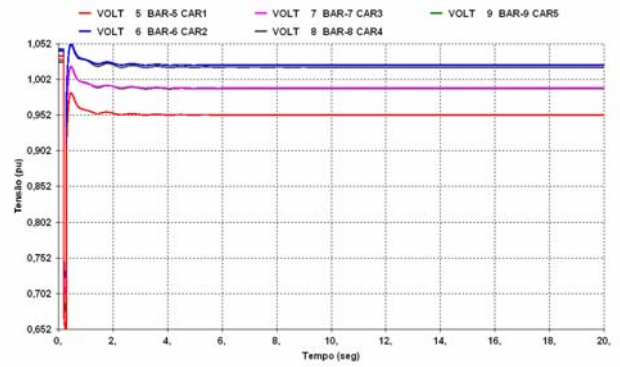


Figura 7.56 – Tensão nas barras de carga.

7.4.4.5 Análise da simulação 5

Com a mesma configuração da simulação 4, são incluídos agora nas máquinas ligadas às barras 1 e 2, seus respectivos estabilizadores, cujo modelo e parâmetros encontram-se no Adendo I, item A-1.9 do Capítulo 3.

Observa-se claramente na Figura 7.57, o efeito da inclusão do estabilizador no amortecimento das oscilações. A diferença pode ser observada, comparando as respostas da variação angular relativa entre os rotores de ambas as máquinas na simulação 4 (sem estabilizador) e a atual (com estabilizador), ocorrendo um maior amortecimento, quando o estabilizador é implementado nas máquinas. As oscilações angulares amortecem em cerca de 4 segundos de simulação.

Na figura 7.58 é comparada a tensão de campo da máquina 1, ocorrida na simulação 4 (sem o estabilizador), em relação a atual (com estabilizador) que fornece sinal adicional estabilizante para aumentar o torque de amortecimento.

A figura 7.59 mostra o comportamento da potência elétrica, também comparada com a simulação 4 (sem o estabilizador) em relação a atual (com estabilizador). Observa-se claramente uma redução da oscilação de potência na máquina 1, devido à ação do estabilizador. Na Figura 7.60 é mostrada, nas mesmas condições de comparação, a tensão da barra 9, onde pode ser observado que o valor da tensão após os 20 segundos de simulação ficam praticamente iguais.

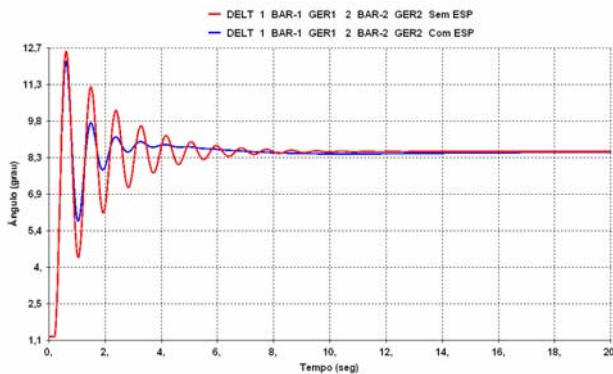


Figura 7.57 – Comparação da variação angular dos rotores da máquina 1 versus máquina 2 com e sem estabilizador.

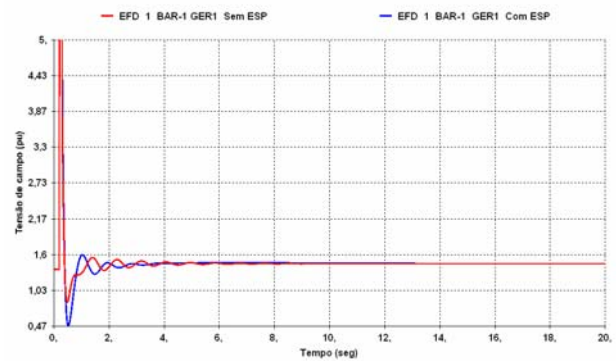


Figura 7.58 – Comparação da tensão de campo da máquina 1 com e sem o estabilizador.

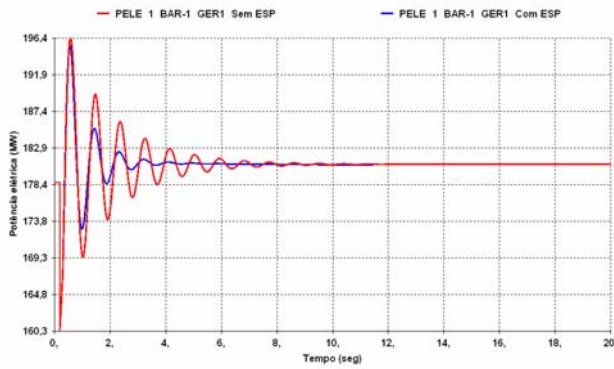


Figura 7.59 – Comparação da potência elétrica das máquinas 1 com e sem o estabilizador.

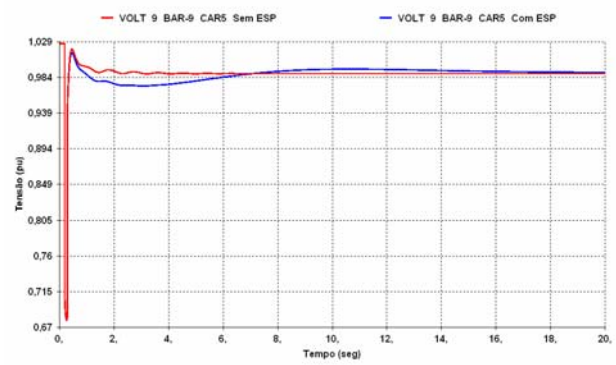


Figura 7.60 – Comparação da tensão da barra 9 com e sem estabilizador.

7.4.4.6 Análise da simulação 6

Nesta análise, foi mantida a mesma configuração da simulação 5, sendo que o valor do ganho dos estabilizadores associados às máquinas 1 e 2 foram alterados de 12 para 100.

A Figura 7.61 mostra o efeito provocado pelo aumento elevado no ganho do estabilizador sobre o amortecimento das oscilações do sistema. Esta situação retrata a importância de ajustes adequados dos parâmetros do estabilizador, para se obter uma ação efetiva, evitando provocar uma instabilidade no sistema resultando em aumento das amplitudes de oscilações. Neste caso pode ser observado que o comportamento do ângulo das máquinas foi degradado.

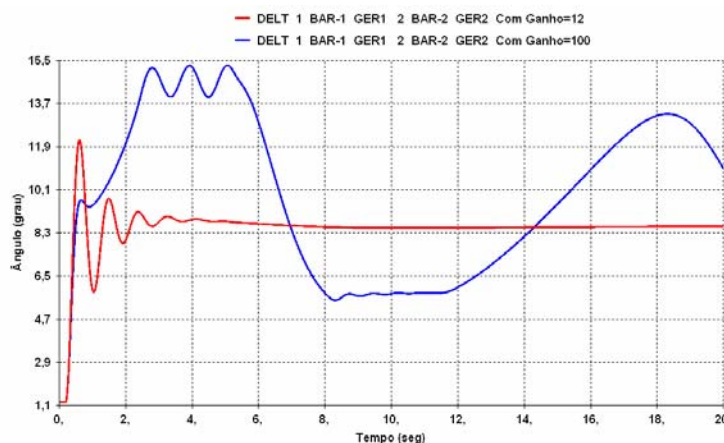


Figura 7.61 – Variação angular dos rotores da máquina 1 versus máquina 2 com ganho do estabilizador normal e elevado.

Com relação às análises realizadas, cabe ressaltar que, quando da análise de um sistema de grande porte, além dos controladores, outros fatos também influenciam no

desempenho e na análise da estabilidade transitória. Portanto, os resultados que foram mostrados nesses exemplos podem variar se as seguintes características forem consideradas:

- Tipo e duração do distúrbio;
- Topologia do sistema antes do distúrbio (indisponibilidade de elementos);
- Condições de carregamento e despacho antes do distúrbio;
- Características dinâmicas das máquinas.

7.5. SUMÁRIO

Estudos de natureza dinâmica ajudam na avaliação da robustez de um sistema, na determinação do quanto ele é capaz de suportar distúrbios sem perder o sincronismo e na determinação do limite dinâmico do sistema. Uma avaliação mais precisa depende da representação dos modelos dos equipamentos que influenciam no processo dinâmico. Nesse aspecto, a utilização dos modelos reais dos controladores se faz necessária, além da representação dos esquemas de proteção existentes.

O estudo de análise de contingências permitiu observar algumas situações onde foi necessário adotar medidas para restabelecer a estabilidade do sistema, realizar o controle de tensão, reduzir sobrecarga e estabelecer limite de intercâmbio. No estudo de colapso de tensão foi possível observar o surgimento do fenômeno e aplicar algumas medidas que afastassem o sistema do ponto de colapso para uma condição operativa aceitável. Porém, foi possível observar que apesar de ser um fenômeno lento no tempo, ele exige medidas rápidas e precisas, pois uma vez iniciado, a reversão do processo fica muito difícil. Por outro lado pode-se determinar a margem de aumento de carga que o sistema pode suportar sem entrar em colapso.

Além dessas, outras duas avaliações foram realizadas neste capítulo, exemplificando o uso dos sistemas-teste propostos de 9, 33 e 65 barras em estudos de rede operando em regime dinâmico transitório. As simulações realizadas encontram-se registradas nos arquivos dentro da pasta “Capítulo 7” no CD em apenso.

* * *

ANÁLISE DO REGIME DINÂMICO A PEQUENAS PERTURBAÇÕES

8.1. INTRODUÇÃO

Nos sistemas de potência são consideradas como pequenas perturbações as variações de carga e geração que acontecem a todo o momento no sistema, quase na totalidade do tempo real de operação. Estas perturbações causam uma mudança pequena no ponto de operação, levando o sistema a operar em uma nova condição, cujo comportamento deseja-se analisar.

Os estudos de estabilidade realizados neste enfoque são feitos através da análise modal do sistema, que consiste na determinação dos seus autovalores a partir de um ponto de operação indicado na simulação do caso de fluxo de potência. Essa análise fornece informações que permitem inferir sobre o estado da estabilidade desse sistema. Se todos os autovalores do sistema tiverem parte real negativa, isso indica que esse ponto de operação é estável. Caso algum autovalor tenha parte real positiva, isso indica a presença de um modo instável, que pode acarretar situações inconvenientes nesse sistema.

Através desse estudo, são definidos ajustes nos controladores das máquinas buscando aumentar seu amortecimento com relação aos modos locais, intra-planta, inter-áreas e multi-máquinas. Estes valores de ajustes definidos nos estudos, são testados e avaliados no campo e, se resultarem em ganhos para o sistema, sua implantação é recomendada.

A otimização dos controladores das usinas se constitui num requisito importante, pois permite uma operação totalmente interligada dos sistemas, proporcionando maior segurança e flexibilidade operativa.

8.2. FERRAMENTA COMPUTACIONAL

O programa de estabilidade a pequenas perturbações utilizado para análise dos sistemas-teste foi o PACDYN, desenvolvido pelo CEPEL [33], que é voltado à realização de estudos de estabilidade frente a pequenas perturbações.

O PACDYN explora diversos métodos de cálculo de autovalores, autovetores, zeros e resíduos de função de transferência, resposta no tempo para pequenas perturbações no sistema linearizado, torques sincronizante e de amortecimento, equivalentes dinâmicos de sistemas externos no domínio da frequência, sendo utilizado em aplicações como:

- Identificação dos locais mais adequados para a instalação de ESP e dispositivos FACTS para amortecimento de oscilações locais e inter-áreas;
- Identificação dos controladores do sistema (RAV, ESP, RAV, elo HVDC e dispositivos FACTS) cujos ajustes são inadequados;
- Projeto de controladores utilizando técnicas de resposta em frequência, *root-locus* (lugar das raízes) e alocação de pólos;
- Determinação das barras e dos circuitos do sistema mais adequados à instalação de dispositivos FACTS, com o objetivo de amortecer oscilações inter-áreas;
- Determinação das malhas de controle e combinação de sinais mais propícios para estabilização do sistema de potência. Determinação das margens de ganho e de fase das várias malhas de controle;
- Resposta no tempo para distúrbios nas referências de controladores ou incrementos de carga aplicados em qualquer parte do sistema. Análise da estabilidade de tensão a pequenas perturbações.

O programa emprega um modelo dinâmico linearizado, que em termos de representação significa utilizar modelos reduzidos, onde por exemplo, os limitadores de sub e sobre-excitação são desconsiderados, porque não atuam em pequenas perturbações.

Essa linearização é feita a partir do ponto de operação do caso convergido de fluxo de potência.

8.3. PROCEDIMENTOS

Para uso do programa são necessários os seguintes arquivos de entrada:

- Arquivo com os dados da rede elétrica e do fluxo de potência convergido no ANAREDE ou FLUPOT;
- Arquivo com os dados de modelos dos controladores dos equipamentos. Esses dados são os equivalentes aos utilizados pelo ANATEM, porém existem algumas diferenças no formato utilizado. O PACDYN faz análise linear e apenas os modelos da malha principal de controle são linearizados.

Em seguida, são calculados os principais modos de oscilação presentes no sistema elétrico de potência [15,34] e avaliado o grau de amortecimento. Normalmente é considerado nos estudos, um fator mínimo de amortecimento de 10%, embora seja difícil o estabelecimento de um número absoluto para isso. O melhor amortecimento é sempre o máximo possível que se pode obter, usando os recursos disponíveis do sistema, podendo em determinados casos serem aceitos valores menores que 10%. Valores abaixo desse limite, normalmente implicam numa avaliação de um reajuste nos ESP, ou mesmo a instalação desse equipamento. Os modos de oscilações passíveis de investigação são os seguintes [15,34]:

- **Modos locais:** São aqueles relacionados às máquinas que apresentam oscilação local, numa mesma área elétrica, localizadas principalmente em uma usina, com o restante do sistema sendo pouco afetado. As frequências naturais dos modos locais ficam na faixa de 0,7 a 2 Hz;
- **Modos intra-planta ou inter-máquinas:** São aqueles relacionados a máquinas que oscilam em relação a outras máquinas da mesma usina, com o restante do sistema sendo pouco afetado. As frequências ficam na faixa de 2 a 3 Hz;

- **Modos inter-áreas:** São aqueles relacionados a máquinas de uma área oscilando contra outras máquinas de outra área do sistema interligadas por ligações fracas. As frequências desse tipo de oscilação ficam na faixa de 0,1 a 0,6 Hz;
- **Modos multi-máquinas ou inter-plantas:** São aqueles relacionados a máquinas oscilando em diversos pontos do sistema, sem um padrão definido;
- **Modos de controle:** Associados, em geral, aos controles dos sistemas de excitação, reguladores de velocidade, conversores HVDC e compensadores estáticos;
- **Modos torsionais:** Associados aos componentes rotacionais dos eixos da turbina e do gerador.

A Figura 8.1 mostra de forma gráfica respostas típicas para as diferentes naturezas dos autovalores [34, 35]. A parte real de um autovalor fornece o amortecimento do modo associado ao mesmo, enquanto que a parte imaginária fornece a frequência de oscilação. Assim, se um dado autovalor não possui componente imaginária (autovalor real) e está no semi-plano esquerdo do plano complexo (negativo), haverá um modo aperiódico (frequência de oscilação nula) decrescente ao longo do tempo. Da mesma forma, se um dado autovalor não possui componente imaginária e está no semi-plano direito do plano complexo (positivo), haverá um modo aperiódico crescente ao longo do tempo. No caso de um par de autovalores complexos conjugados com parte real negativa, existirá um modo de oscilação amortecido. Por outro lado, para um par de autovalores complexos conjugados com parte real positiva, haverá um modo de oscilação com amplitude crescente ao longo do tempo. Se a componente real do autovalor é nula, não há amortecimento das oscilações, o que dá origem a um modo de oscilação com amplitude constante.

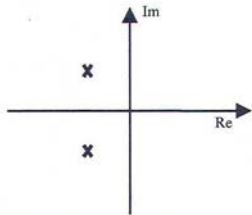
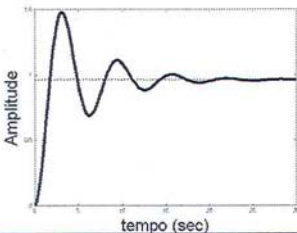
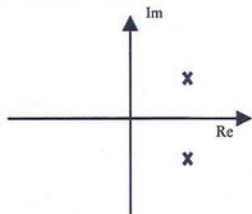
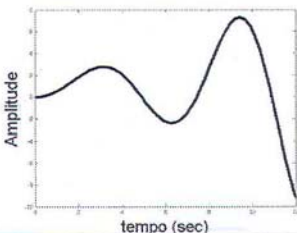
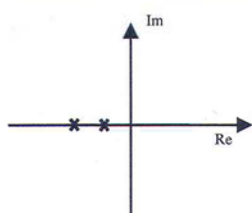
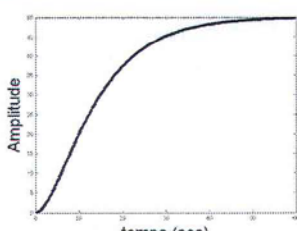
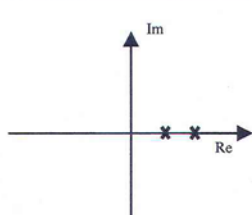
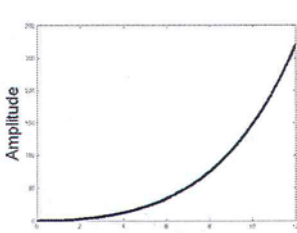
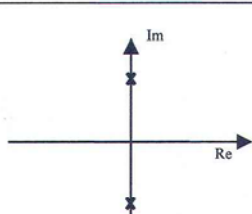
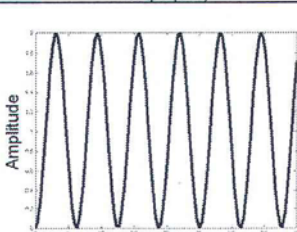
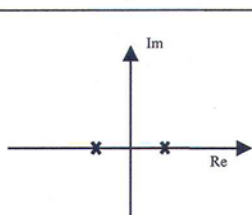
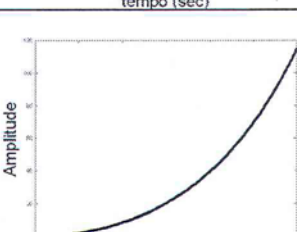
Localização dos autovalores no plano complexo	Resposta Típica	Modo de oscilação
		<p>Estável</p> <p>Oscilatório amortecido</p>
		<p>Instável</p> <p>Oscilatório crescente com o tempo</p>
		<p>Estável</p> <p>Não oscilatório</p>
		<p>Instável</p> <p>Não oscilatório crescente com o tempo</p>
		<p>Estável</p> <p>Oscilatório de amplitude constante</p>
		<p>Instável</p> <p>Não oscilatório crescente com o tempo</p>

Figura 8.1 – Resposta transitória para diferentes localizações de autovalores

A resposta do sistema a uma pequena perturbação depende de diversos fatores, nos quais se incluem: a condição inicial do sistema, a robustez do sistema de transmissão e os sistemas de controle.

8.4. ESTUDOS DE PROBLEMAS TÍPICOS

Foram feitas nesta seção as seguintes análises, com a utilização dos sistemas-teste elaborados:

- *Avaliação do sistema-teste de 9 barras;*
- *Identificação dos modos eletromecânicos;*
- *Análise do melhor local para instalação de estabilizador.*

8.4.1. Avaliação do sistema-teste de 9 barras

O objetivo desta avaliação é verificar as condições de estabilidade do caso utilizado no item 7.4.4 do Capítulo 7, considerando a rede completa e os parâmetros dos controladores apresentados no Adendo I do Capítulo 3.

A simulação será feita inicialmente sem os controladores, em seguida eles serão acrescentados um a um, até que todos os controladores estejam representados. A cada simulação, o efeito sobre o amortecimento do sistema será mostrado. Também serão obtidos todos os autovalores do sistema, usando o método QR [36, 37] com seus fatores de participação.

A Tabela 8.1 apresenta os autovalores obtidos na simulação sem uso de controladores, mostrando a frequência de oscilação e o percentual de amortecimento de cada modo.

Tabela 8.1 – Autovalores do sistema-teste de 9 barras sem controlador

Nº	Pólo	Módulo	Frequência (Hz)	Amortecimento (%)	Fator de Participação
1	$-0,00051 + j0,04812$	0,04812	0,00766	1,0659	DELT BAR-1 GER1
2	$-0,00051 - j0,04812$	0,04812	$-0,00766$	1,0659	
3	$-0,8672 + j7,5355$	7,5853	1,1993	11,433	DELT BAR-2 GER2
4	$-0,8672 - j7,5355$	7,5853	$-1,1993$	11,433	
5	$-14,413 + j0,0$	14,413	0,0	100,00	EQ" BAR-1 GER1
6	$-12,547 + j0,0$	12,547	0,0	100,00	EQ" BAR-2 GER2
7	$-10,708 + j0,0$	10,708	0,0	100,00	ED" BAR-1 GER1
8	$-5,2427 + j0,0$	5,2427	0,0	100,00	ED" BAR-2 GER2
9	$-0,5505 + j0,0$	0,5505	0,0	100,00	EQ' BAR-2 GER2
10	$-0,4190 + j0,0$	0,4190	0,0	100,00	EQ' BAR-1 GER1

Nesta condição, não se observou a presença de nenhum par de pólos complexo conjugado instável, e o menor fator de amortecimento verificado foi de 1,0659 %, conforme destacado, indicando que o modo associado tem baixo amortecimento. O fator de participação indicado na última coluna da tabela, corresponde a uma medida da participação de uma variável de estado em um determinado modo presente no sistema [34].

Na Tabela 8.2 são apresentados os resultados encontrados considerando a presença dos reguladores de tensão das máquinas 1 e 2, e na Figura 8.2 é mostrado o posicionamento no plano complexo, dos pólos que estão mais próximos da origem dos eixos.

Tabela 8.2 – Autovalores do sistema-teste de 9 barras após inclusão do RAT

Nº	Pólo	Módulo	Frequência (Hz)	Amortecimento (%)	Fator de Participação
1	$-0,00002 + j0,04962$	0,04962	0,00790	0,04303	DELT BAR-1 GER1
2	$-0,00002 - j0,04962$	0,04962	$-0,00790$	0,04303	
3	$-0,8662 + j7,5352$	7,5848	1,1993	11,420	WW BAR-2 GER2
4	$-0,8662 - j7,5352$	7,5848	$-1,1993$	11,420	
5	$-0,3452 + j0,1831$	0,3908	0,02914	88,346	VR RT GER1
6	$-0,3452 - j0,1831$	0,3908	$-0,02914$	88,346	
7	$-333,32 + j0,0$	333,32	0,0	100,00	VM RT GER1
8	$-333,31 + j0,0$	333,31	0,0	100,00	VM RT GER2
9	$-14,390 + j0,0$	14,390	0,0	100,00	EQ" BAR-1 GER1
10	$-12,507 + j0,0$	12,507	0,0	100,00	EQ" BAR-2 GER2
11	$-10,709 + j0,0$	10,709	0,0	100,00	ED" BAR-1 GER1
12	$-5,2416 + j0,0$	5,2416	0,0	100,00	ED" BAR-2 GER2
13	$-0,4727 + j0,0$	0,4727	0,0	100,00	EQ' BAR-2 GER2
14	$-0,3112 + j0,0$	0,3112	0,0	100,00	VR RT GER2

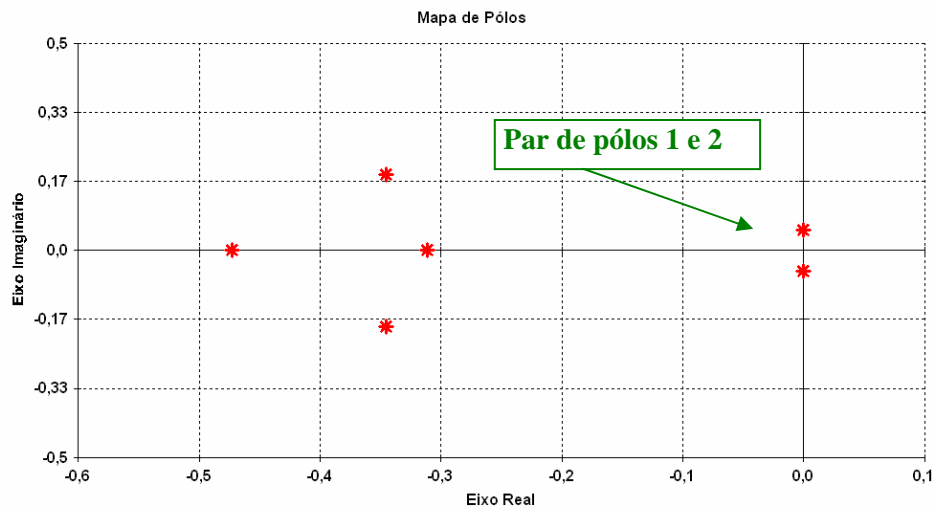


Figura 8.2 – Mapa de pólos do sistema com RAT

A inclusão deste controlador provocou um modo pouco amortecido, com frequência de 0,00790 Hz e fator de amortecimento igual a 0,04303 %. Seu fator de participação refere-se a ângulo (DELTA), porém como o regulador de velocidade não está presente, isto é um indicativo que este modo está relacionado a esta ausência. Quanto ao posicionamento dos pólos, não é observado nenhum no lado direito do gráfico. O mais próximo é o par de pólos 1 e 2, que está praticamente sobre o eixo imaginário.

Na Figura 8.3 é mostrada a resposta no domínio do tempo, considerando os dois geradores do sistema oscilando um contra o outro, sendo aplicado um degrau de 2% na tensão de referência (+ VREF) do gerador ligado na barra 1 e (-VREF) no gerador ligado a barra 2, que são as entradas do regulador de tensão. Como saída, foi observado a potência elétrica (+PT) nos geradores ligados nas barras 1 e 2.

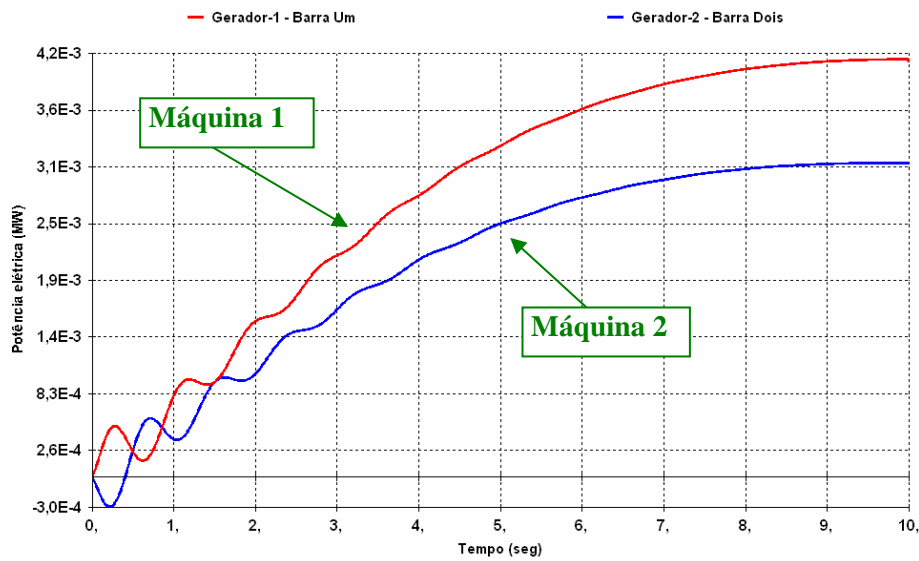


Figura 8.3 – Resposta no domínio do tempo: máquina 1 e máquina 2

Esta resposta da potência elétrica a um degrau de 2% na referência VREF, mostra uma exponencial crescente, com baixo amortecimento, mas estável.

Observando os pólos número 1 e 2 mostrados nas Tabelas 8.1 e 8.2, percebe-se que eles apresentam praticamente o mesmo comportamento, causado possivelmente pela falta do regulador de velocidade. Com o intuito de verificar essa influência, foi incluído nas máquinas 1 e 2, um amortecimento de 0,1, 0,2 e 0,3 e os resultados obtidos estão mostrados resumidamente nas Tabelas 8.3, 8.4 e 8.5 respectivamente.

Tabela 8.3 – Autovalores do sistema-teste de 9 barras com RAT e amortecimento de 0,1

Nº	Pólo	Módulo	Frequência (Hz)	Amortecimento (%)	Fator de Participação
1	$-0,0020 + j 0,04958$	0,04962	0,00789	4,0375	WW BAR-1 GER1
2	$-0,0020 - j 0,04958$	0,04962	$-0,00789$	4,0375	
3	$-0,8684 + j 7,5352$	7,5851	1,1993	11,449	WW BAR-2 GER2
4	$-0,8684 - j 7,5352$	7,5851	$-1,1993$	11,449	

Tabela 8.4 – Autovalores do sistema-teste de 9 barras com RAT e amortecimento de 0,2

Nº	Pólo	Módulo	Frequência (Hz)	Amortecimento (%)	Fator de Participação
1	$-0,00399 + j 0,04946$	0,04962	0,00787	8,0319	WW BAR-1 GER1
2	$-0,00399 - j 0,04946$	0,04962	$-0,00787$	8,0319	
3	$-0,8707 + j 7,5352$	7,5851	1,1993	11,449	WW BAR-2 GER2
4	$-0,8707 - j 7,5352$	7,5851	$-1,1993$	11,449	

Tabela 8.5 – Autovalores do sistema-teste de 9 barras com RAT e amortecimento de 0,3

Nº	Pólo	Módulo	Frequência (Hz)	Amortecimento (%)	Fator de Participação
1	$-0,8730 + j 7,5352$	7,5856	1,1993	11,509	WW BAR-2 GER2
2	$-0,8730 - j 7,5352$	7,5856	$-1,1993$	11,509	
3	$-0,00597 + j 0,04926$	0,04962	0,00784	12,026	WW BAR-1 GER1
4	$-0,00597 - j 0,04926$	0,04962	$-0,00784$	12,026	

Os resultados obtidos para os pólos nº 1 e nº 2 confirmam que os baixos valores de amortecimento desse modo estão associados à não existência do regulador de velocidade, pois o uso de um pequeno valor de amortecimento associado aos parâmetros da máquina, conduziu a um aumento significativo no fator de amortecimento do modo.

A seguir, a Tabela 8.6 mostra o resultado obtido com a inclusão dos reguladores de velocidade das máquinas 1 e 2, e a Figura 8.4 seu respectivo mapa de pólos no plano complexo.

Tabela 8.6 – Autovalores do sistema-teste de 9 barras com RAT após inclusão do RAV

Nº	Pólo	Módulo	Frequência (Hz)	Amortecimento (%)	Fator de Participação
1	$-0,8075 + j 7,4933$	7,5367	1,1926	10,714	DELT BAR-2 GER2
2	$-0,8075 - j 7,4933$	7,5367	$-1,1926$	10,714	
3	$-0,4040 + j 0,4211$	0,5836	0,06702	69,232	WW BAR-1 GER1
4	$-0,4040 - j 0,4211$	0,5836	$-0,06702$	69,232	
5	$-7,1905 + j 5,2451$	8,9002	0,8348	80,790	EQ' BAR-1 GER1
6	$-7,1905 - j 5,2451$	8,9002	$-0,8348$	80,790	
7	$-11,052 + j 0,7308$	11,076	0,1163	99,782	ED" BAR-1 GER1
8	$-11,052 - j 0,7308$	11,076	$-0,1163$	99,782	
9	$-331,94 + j 0,0$	331,94	0,0	100,00	VM RT_GER1
10	$-330,89 + j 0,0$	330,89	0,0	100,00	VM RT_GER2
11	$-22,574 + j 0,0$	22,574	0,0	100,00	X4 RV_MOD10
12	$-22,566 + j 0,0$	22,566	0,0	100,00	VR RV_MOD10
13	$-5,7897 + j 0,0$	5,7897	0,0	100,00	ED" BAR-2 GER2
14	$-3,7907 + j 0,0$	3,7907	0,0	100,00	EQ' BAR-2 GER2
15	$-3,1444 + j 0,0$	3,1444	0,0	100,00	VM RV_MOD10
16	$-2,3785 + j 0,0$	2,3785	0,0	100,00	X9 RV_MOD10
17	$-1,6436 + j 0,0$	1,6436	0,0	100,00	X17 RV_MOD10
18	$-1,1608 + j 0,0$	1,1608	0,0	100,00	VR RT_GER1
19	$-1,0742 + j 0,0$	1,0742	0,0	100,00	VR RT_GER2
20	$-0,1583 + j 0,0$	0,1583	0,0	100,00	VM RV_MOD10
21	$-0,01661 + j 0,0$	0,01661	0,0	100,00	X6 RV_MOD10
22	$-0,00100 + j 0,0$	0,00100	0,0	100,00	DELT BAR-1 GER1

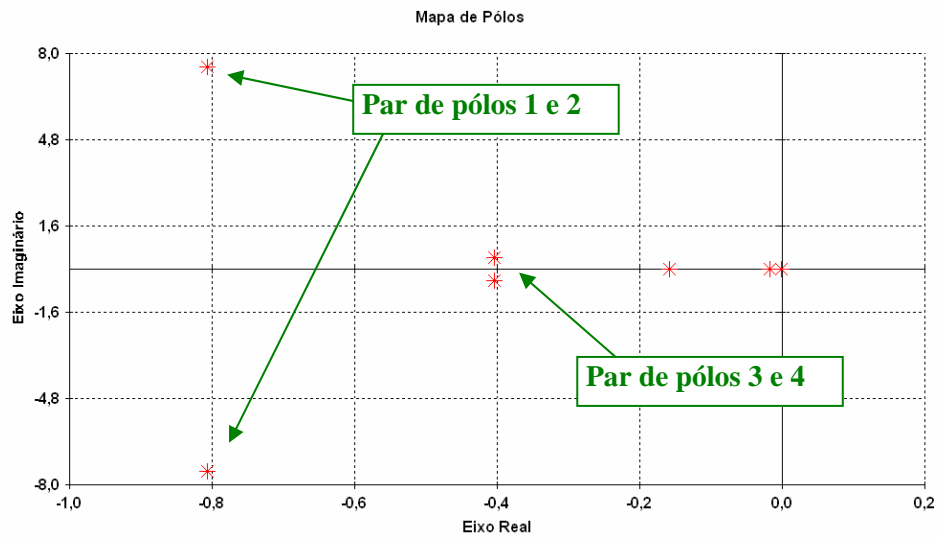


Figura 8.4 – Mapa de pólos do sistema com RAT e RAV

Incluindo o regulador de velocidade, o sistema fica com fator de amortecimento mínimo de 10,714 %.

A Figura 8.5 mostra a resposta no domínio do tempo, para as mesmas condições da Figura 8.3, considerando a presença do regulador de velocidade.

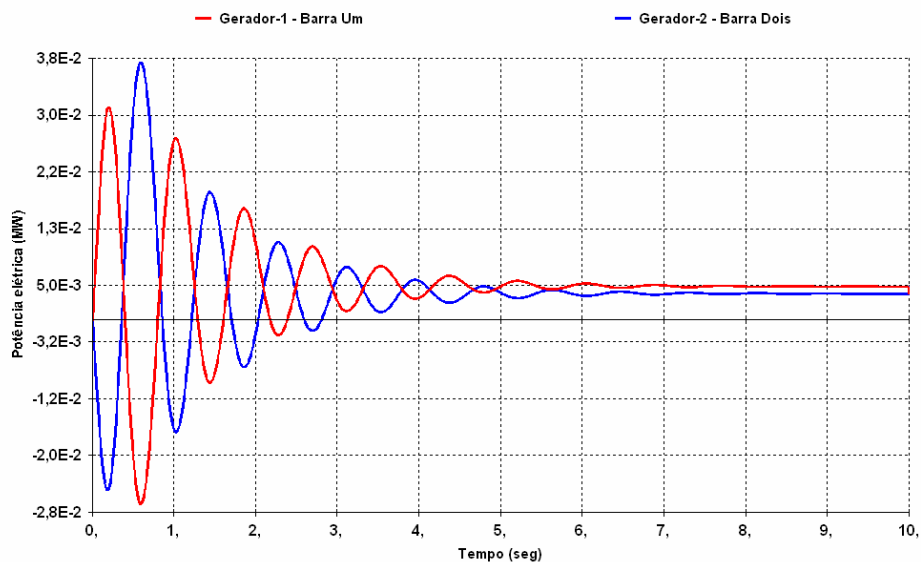


Figura 8.5 – Resposta no domínio do tempo: máquina 1 x máquina 2

Verifica-se um comportamento estável após as máquinas oscilarem em oposição de fase, amortecendo em aproximadamente 7 segundos. Em seguida, a Tabela 8.7 apresenta o resultado obtido quando é incluído os estabilizadores.

Tabela 8.7 – Autovalores do sistema-teste de 9 barras com RAT, RAV e ESP

Nº	Pólo	Módulo	Frequência (Hz)	Amortecimento (%)	Fator de Participação
1	$-1,6098 + j 7,6837$	7,8505	1,2229	20,506	WW BAR-2 GER2
2	$-1,6098 - j 7,6837$	7,8505	-1,2229	20,506	
3	$-0,04621 + j 0,07398$	0,08722	0,01177	52,975	VM RV_MOD10
4	$-0,04621 - j 0,07398$	0,08722	-0,01177	52,975	
5	$-7,1508 + j 5,7781$	9,1935	0,9196	77,781	EQ' BAR-1 GER1
6	$-7,1508 - j 5,7781$	9,1935	-0,9196	77,781	
7	$-1,1597 + j 0,8471$	1,4361	0,1348	80,753	X 17 RV_MOD10
8	$-1,1597 - j 0,8471$	1,4361	-0,1348	80,753	
9	$-98,194 + j 19,826$	100,18	3,1555	98,022	VM PSS_GER2
10	$-98,194 - j 19,826$	100,18	-3,1555	98,022	
11	$-98,548 + j 16,442$	99,911	2,6169	98,637	VR PSS_GER1
12	$-98,548 - j 16,442$	99,911	-2,6169	98,637	
13	$-11,051 + j 0,7402$	11,076	0,1178	99,776	ED" BAR-1 GER1
14	$-11,051 - j 0,7402$	11,076	-0,1178	99,776	
15	$-333,78 + j 0,0$	333,78	0,0	100,00	VM RT_GER2
16	$-333,01 + j 0,0$	333,01	0,0	100,00	VM RT_GER1
17	$-22,573 + j 0,0$	22,573	0,0	100,00	X4 RV_MOD10
18	$-22,565 + j 0,0$	22,565	0,0	100,00	VR RV_MOD10
19	$-5,8365 + j 0,0$	5,8365	0,0	100,00	ED" BAR-2 GER2
20	$-3,4997 + j 0,0$	3,4997	0,0	100,00	VM RV_MOD10
21	$-3,2469 + j 0,0$	3,2469	0,0	100,00	EQ' BAR-2 GER2
22	$-2,4939 + j 0,0$	2,4939	0,0	100,00	X9 RV_MOD10
23	$-1,6140 + j 0,0$	1,6140	0,0	100,00	X17 RV_MOD10
24	$-1,1801 + j 0,0$	1,1801	0,0	100,00	VR RT_GER1
25	$-1,0258 + j 0,0$	1,0258	0,0	100,00	VR RT_GER2
26	$-0,3382 + j 0,0$	0,3382	0,0	100,00	VM PSS_GER2
27	$-0,01661 + j 0,0$	0,01661	0,0	100,00	X6 RV_MOD10
28	$-0,00100 + j 0,0$	0,00100	0,0	100,00	DELT BAR-1 GER1

Observa-se que a inclusão do estabilizador, neste caso, aumentou significativamente o fator de amortecimento do sistema para 20,506 %.

A Figura 8.6 visualiza o efeito da inclusão do estabilizador, mostrando através da comparação da resposta no tempo com e sem o estabilizador, a eficácia deste equipamento sobre o amortecimento do sistema.

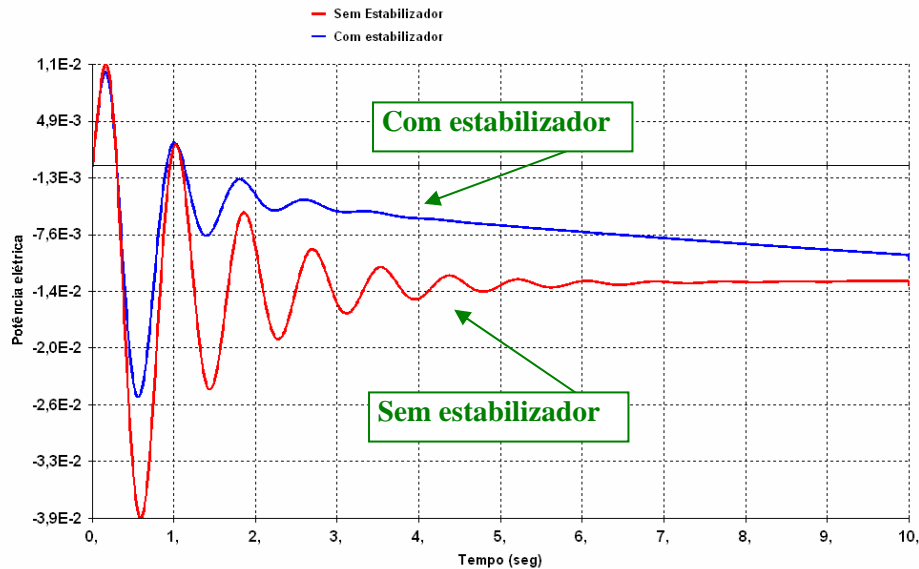


Figura 8.6 – Comparação da resposta no domínio do tempo com e sem o estabilizador nas máquinas 1 e 2

Os resultados obtidos para este sistema-teste, tanto em malha aberta (sem o estabilizador) quanto em malha fechada (com o estabilizador), não indicaram nenhum modo instável. O menor fator de amortecimento verificado ficou acima de 10% (sem ESP) e acima de 20% (com ESP), podendo ser considerado bem amortecido. Esse resultado mostra que os parâmetros dos controladores utilizados, estão adequadamente ajustados para este ponto de operação, devendo ser avaliados para outros pontos possíveis de operação.

Observa-se também que, conforme são incluídos controladores nas máquinas do sistema, o número de estados aumenta e conseqüentemente aumenta o número de pólos e zeros.

8.4.2. Identificação dos modos eletromecânicos

Neste estudo, o objetivo é identificar, a partir dos autovalores, os modos eletromecânicos presentes no sistema, que são caracterizados pelos fatores de participação de velocidade (WW) ou de ângulo (DELT) e normalmente ocorrem em frequências, na faixa de 0,1 a 3,0 Hz.

O número de modos eletromecânicos de um sistema é numericamente igual ao número de geradores modelados dinamicamente menos um [35]. No caso de grupo de geradores modelados como equivalente, é contado como um único gerador cuja potência é a soma de todas as potências dos geradores despachados.

Para este estudo foi utilizado o caso referente ao sistema-teste de 65 barras, estudado no item 7.4.2 do Capítulo 7. Este sistema possui duas áreas elétricas interligada por duas linhas, com 7 geradores em cada área, totalizando 14 geradores e um compensador síncrono, devendo ser obtidos 14 modos eletromecânicos.

Na Tabela 8.8 são apresentados os modos de oscilação eletromecânicos obtidos para este sistema, que estão na faixa de frequência de 0,1 a 3,0 Hz, calculados através do método QR, considerando todos os controladores do sistema representados.

Tabela 8.8 – Modos de oscilação eletromecânicos

Nº	Pólo	Módulo	Frequência (Hz)	Amortecimento (%)	Fator de Participação
1	$-0,1832 + j 2,1473$	2,1551	0,3418	8,4990	WW ITUMBIARA
3	$-1,0343 + j 7,9289$	7,9961	1,2619	12,935	WW S.OSÓRIO
5	$-0,8844 + j 6,6967$	6,7548	1,0658	13,093	WW MACHADINHO
7	$-1,5206 + j 11,037$	11,141	1,7566	13,649	WW CS IBIUNA
9	$-1,2762 + j 8,4181$	8,5143	1,3398	14,988	DELT JAGUARA
11	$-1,2013 + j 7,1133$	7,2140	1,1321	16,652	DELT ITÁ
13	$-1,9662 + j 10,872$	11,048	1,7303	17,796	WW SSANTIAGO
17	$-1,9509 + j 8,6072$	8,8255	1,3699	22,106	DELT S.CAXIAS
19	$-1,8843 + j 8,2296$	8,4425	1,3098	22,319	DELT A.VERMELHA
21	$-1,9691 + j 8,5262$	8,7506	1,3570	22,502	DELT JAGUARA
23	$-1,8223 + j 6,6124$	6,8589	1,0524	26,568	WW S.SIMÃO
25	$-2,9685 + j 9,2747$	9,7382	1,4761	30,483	WW SEGREDO
27	$-3,5373 + j 9,4423$	10,083	1,5028	35,081	WW N.PONTE
65	$-18,375 + j 8,6860$	20,325	1,3824	90,408	WW S.SEGREDO

Desses 14 modos de oscilação eletromecânicos, foram selecionados os 6 menos amortecidos para uma análise do perfil modal de velocidade (*mode shape*) e identificação do gerador ou grupo de geradores que têm influência neste modo de oscilação. O perfil modal fornece a observabilidade do modo, ou seja, onde ele é mais observável. Através do módulo identifica-se o grau de influência de determinada máquina e através do ângulo identifica-se o conjunto de máquinas que interagem, permitindo a classificação dos modos em locais, intra-planta, inter-planta e inter-área.

Análise do pólo 1: $-0,1832 + j 2,1473$

A Figura 8.7 mostra o perfil modal deste pólo e a Tabela 8.9 apresenta os módulos e ângulos de cada máquina com influência mais destacada neste modo de oscilação. A frequência deste modo é de 0,3418 Hz. Esta frequência caracteriza um modo inter-área. Ele envolve todas as máquinas do sistema como mostrado na Tabela 8.9.

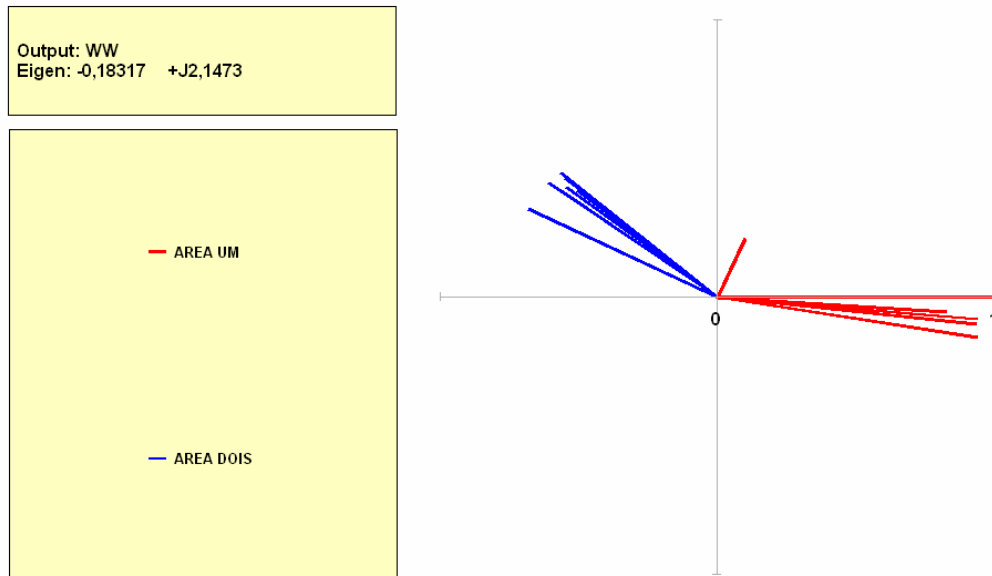


Figura 8.7 – Perfil modal de velocidade do modo de oscilação 1

Tabela 8.9 – Relação das máquinas que influenciam no modo de oscilação 1

Módulo	Ângulo	Máquina Associada	Área
1,0000	0,0	JAGUARA-GER	UM
0,9507	-8,8257	ITUMBIARA-GER	UM
0,9453	-4,7805	EMBORCAÇÃO-GER	UM
0,9402	-5,9713	S.SIMÃO-GER	UM
0,8916	0,1560	N.PONTE-GER	UM
0,8299	-3,6722	MARIMBONDO-GER	UM
0,8209	-0,08456	A.VERMELHA-GER	UM
0,7518	154,96	MACHADINHO-GER	DOIS
0,7359	145,83	S.CAXIAS-GER	DOIS
0,7221	141,57	S.OSÓRIO-GER	DOIS
0,6976	142,02	S.SANTIAGO-GER	DOIS
0,6804	145,69	ITÁ-GER	DOIS
0,6743	144,03	S.SEGREDO-GER	DOIS
0,6321	142,77	G.B.MUNHOZ-GER	DOIS
0,2292	64,797	IBIUNA-CS	UM

Neste modo de oscilação, pode-se observar que as máquinas da área Um (Sudeste) oscilam contra as máquinas da área Dois (Sul) como mostrado na coluna “ângulo” da Tabela 8.9 e no gráfico da Figura 8.7.

Análise do pólo 3: $-1,0343 + j 7,9289$

A Figura 8.8 mostra o gráfico do perfil modal deste pólo e a Tabela 8.10 apresenta os módulos e ângulos de cada máquina mostrando aquelas que têm influência mais destacadas neste modo de oscilação. A máquina de Salto Osório apresenta maior influência neste modo, estando praticamente em oposição de fase com as outras máquinas do sistema. Assim, este modo é caracterizado como um modo de oscilação entre Salto Osório e as demais máquinas do sistema.

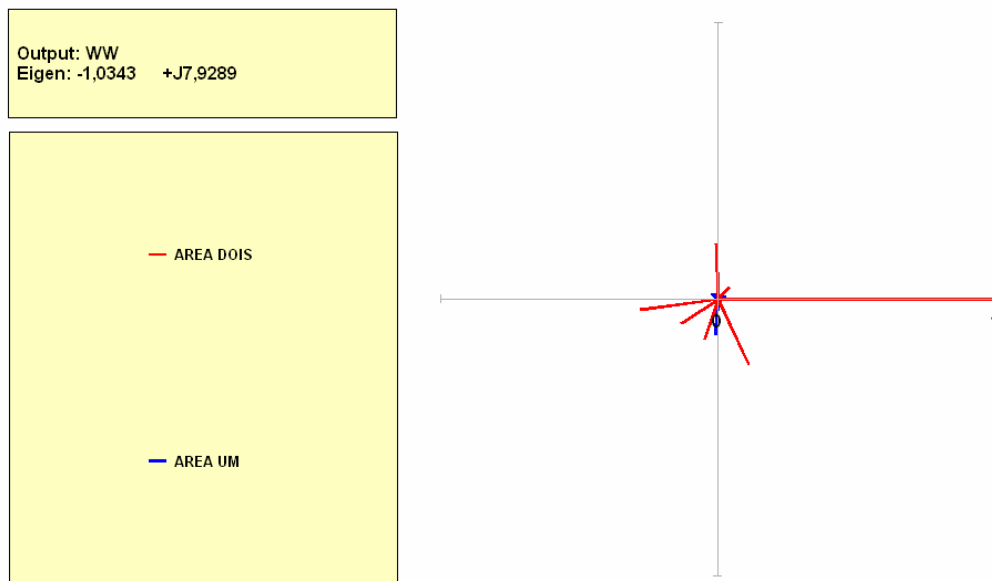


Figura 8.8 – Perfil modal de velocidade do modo de oscilação 3

Tabela 8.10 – Relação das máquinas que influenciam no modo de oscilação 3

Módulo	Ângulo	Máquina Associada	Área
1,0000	0,0	S.OSÓRIO-GER	DOIS
0,2837	187,30	G.B.MUNHOZ-GER	DOIS
0,2619	295,05	S.CAXIAS-GER	DOIS
0,2019	92,332	ITÁ-GER	DOIS
0,1603	213,51	S.SEGREDO-GER	DOIS
0,1536	250,93	S.SANTIAGO-GER	DOIS
0,1325	265,43	IBIUNA-CS	UM
0,05723	45,471	MACHADINHO-GER	DOIS
0,03050	140,41	A.VERMELHA-GER	UM

Módulo	Ângulo	Máquina Associada	Área
0,03039	22,687	JAGUARA-GER	UM
0,02486	125,47	MARIMBONDO-GER	UM
0,01210	-7,7708	S.SIMÃO-GER	UM
0,01137	2,3197	N.PONTE-GER	UM
0,00992	70,669	ITUMBIARA-GER	UM
0,00872	-20,100	EMBORCAÇÃO-GER	UM

Análise do pólo 5: $-0,8844 + j 6,6967$

A Figura 8.9 mostra o gráfico do perfil modal deste pólo e a Tabela 8.11 apresenta os módulos e ângulos de cada máquina mostrando aquelas que têm influência mais destacadas neste modo de oscilação. Observa-se neste modo que as máquinas de Machadinho, Salto Osório, Itá, Salto Caxias, G.B.Munhoz, Salto Segredo e Salto Santiago oscilam entre si, caracterizando como um modo de oscilação entre estas máquinas (modo local).

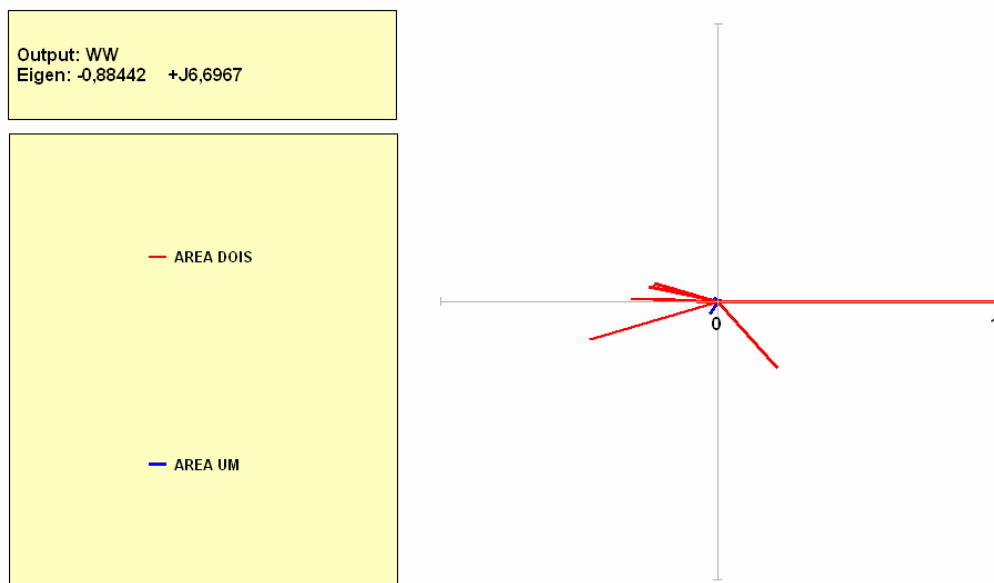


Figura 8.9 – Perfil modal de velocidade do modo de oscilação 5

Tabela 8.11 – Relação das máquinas que influenciam no modo de oscilação 5

Módulo	Ângulo	Máquina Associada	Área
1,0000	0,0	MACHADINHO-GER	DOIS
0,4815	196,34	S.OSÓRIO-GER	DOIS
0,3216	311,92	ITÁ-GER	DOIS
0,3122	177,76	S.CAXIAS-GER	DOIS
0,2542	167,47	G.B.MUNHOZ-GER	DOIS
0,2397	163,86	S.SEGREDO-GER	DOIS

Módulo	Ângulo	Máquina Associada	Área
0,2252	177,04	S.SANTIAGO-GER	DOIS
0,05252	234,99	IBIUNA-CS	UM
0,02066	129,74	MARIMBONDO-GER	UM
0,01714	-2,1827	S.SIMÃO-GER	UM
0,01517	23,265	JAGUARA-GER	UM
0,01370	337,84	EMBORCAÇÃO-GER	UM
0,01302	-9,1341	N.PONTE-GER	UM
0,00945	114,98	A.VERMELHA-GER	UM
0,00797	44,886	ITUMBIARA-GER	UM

Análise do pólo 7: $-1,5206 + j 11,037$

A Figura 8.10 mostra o gráfico do perfil modal deste pólo e a Tabela 8.12 apresenta os módulos e ângulos de cada máquina mostrando aquelas que têm influência mais destacadas neste modo de oscilação. Observa-se neste modo que o compensador síncrono de Ibiúna possui o maior módulo, porém não se analisa o perfil modal de compensador síncrono, pois este elemento não gera potência ativa.

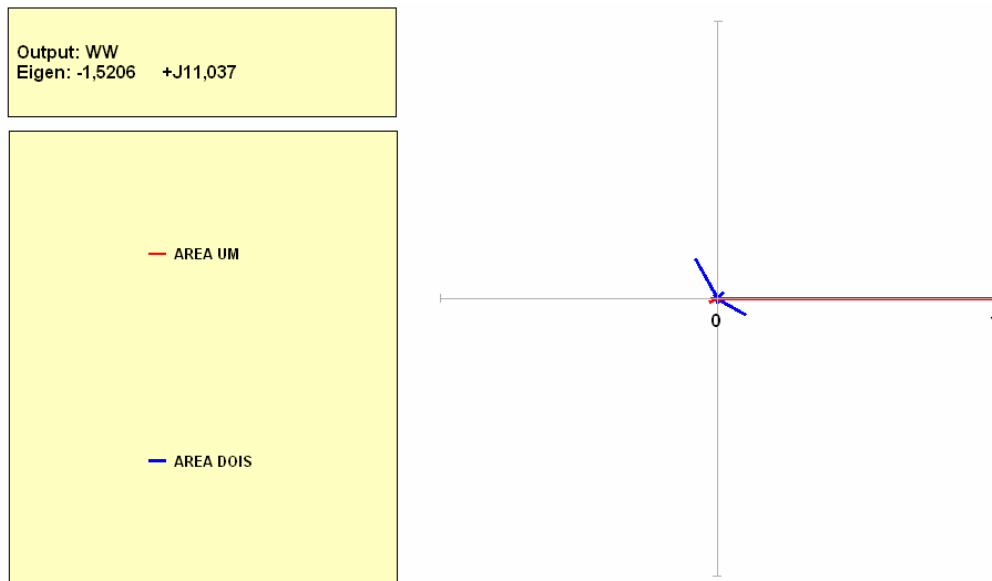


Figura 8.10 – Perfil modal de velocidade do modo de oscilação 7

Tabela 8.12 – Relação das máquinas que influenciam no modo de oscilação 7

Módulo	Ângulo	Máquina Associada	Área
1,0000	0,0	IBIUNA-CS	UM
0,1660	119,85	S.SANTIAGO-GER	DOIS
0,1176	-29,918	S.CAXIAS-GER	DOIS
0,03222	-156,37	MARIMBONDO-GER	UM
0,03199	48,799	S.SEGREDO-GER	DOIS
0,02620	173,21	A.VERMELHA-GER	UM

Módulo	Ângulo	Máquina Associada	Área
0,02180	133,68	S.OSÓRIO-GER	DOIS
0,01926	-90,236	G.B.MUNHOZ-GER	DOIS
0,01492	-21,771	MACHADINHO-GER	DOIS
0,01133	148,02	EMBORCAÇÃO-GER	UM
0,01051	145,35	N.PONTE-GER	UM
0,01009	183,08	ITUMBIARA-GER	UM
0,00957	62,165	ITÁ-GER	DOIS
0,00841	-35,518	JAGUARA-GER	UM

Análise do pólo 9: $-1,2762 + j 8,4181$

A Figura 8.11 mostra o gráfico do perfil modal deste pólo e a Tabela 8.13 apresenta os módulos e ângulos de cada máquina mostrando aquelas que têm influência mais destacadas neste modo de oscilação. Neste modo, as máquinas da UHE Jaguarua possuem o maior módulo, que junto às máquinas da UHE Nova Ponte com menor módulo, oscilam contra as demais, caracterizando um modo de oscilação entre estas máquinas e o restante das máquinas do sistema.

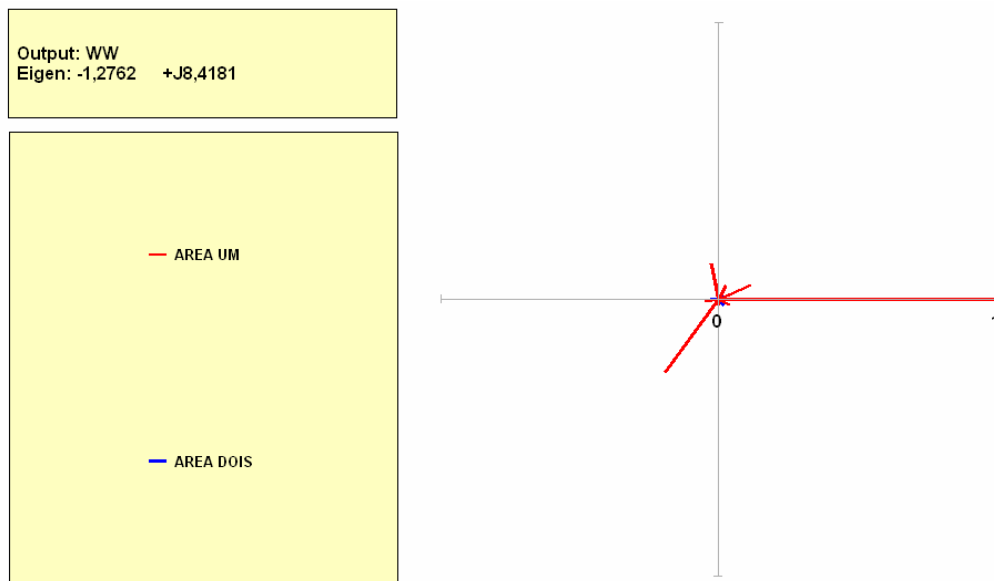


Figura 8.11 – Perfil modal de velocidade do modo de oscilação 9

Tabela 8.13 – Relação das máquinas que influenciam no modo de oscilação 9

Módulo	Ângulo	Máquina Associada	Área
1,0000	0,0	JAGUARA-GER	UM
0,3261	-126,17	ITUMBIARA-GER	UM
0,1322	101,46	EMBORCAÇÃO-GER	UM
0,1266	24,628	N.PONTE-GER	UM
0,05890	62,342	MARIMBONDO-GER	UM
0,05129	-172,71	A.VERMELHA-GER	UM

Módulo	Ângulo	Máquina Associada	Área
0,04646	-24,577	IBIUNA-CS	UM
0,02859	-52,739	G.B.MUNHOZ-GER	DOIS
0,02798	168,98	S.OSÓRIO-GER	DOIS
0,02362	53,489	S.CAXIAS-GER	DOIS
0,01690	-95,052	S.SIMÃO-GER	UM
0,01322	0,2668	S.SEGREDO-GER	DOIS
0,01259	27,402	S.SANTIAGO-GER	DOIS
0,00926	-95,230	MACHADINHO-GER	DOIS
0,00660	-150,73	ITÁ-GER	DOIS

Análise do pólo 11: $-1,2013 + j 7,1133$

A Figura 8.12 mostra o gráfico do perfil modal deste pólo e a Tabela 8.14 apresenta os módulos e ângulos de cada máquina mostrando aquelas que têm influência mais destacadas neste modo de oscilação. Neste modo de oscilação, pode-se observar as máquinas da UHE Itá oscilando contra as outras máquinas da área 2, caracterizando um modo de oscilação local. Aquelas que apresentam maior participação neste modo são Machadinho, Salto Osório, Gov. Bento.Munhoz e Salto.Caxias.

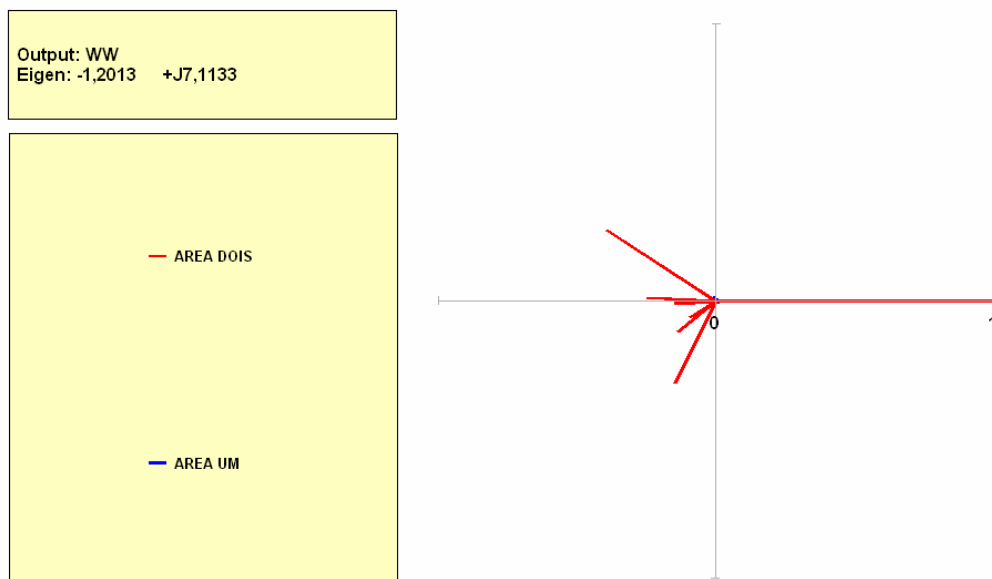


Figura 8.12 – Perfil modal de velocidade do modo de oscilação 11

Tabela 8.14 – Relação das máquinas que influenciam no modo de oscilação 11

Módulo	Ângulo	Máquina Associada	Área
1,0000	0,0	ITÁ-GER	DOIS
0,4702	147,09	MACHADINHO-GER	DOIS
0,3305	243,52	S.OSÓRIO-GER	DOIS
0,2476	177,08	G.B.MUNHOZ-GER	DOIS

Módulo	Ângulo	Máquina Associada	Área
0,1764	219,60	S.CAXIAS-GER	DOIS
0,1499	183,17	S.SEGREDO-GER	DOIS
0,1067	212,62	S.SANTIAGO-GER	DOIS
0,05687	215,84	IBIUNA-CS	UM
0,01916	121,44	MARIMBONDO-GER	UM
0,01825	12,494	JAGUARA-GER	UM
0,01471	-23,756	EMBORCAÇÃO-GER	UM
0,01432	-12,944	N.PONTE-GER	UM
0,01403	-26,011	S.SIMÃO-GER	UM
0,01273	135,44	A.VERMELHA-GER	UM
0,00649	56,739	ITUMBIARA-GER	UM

Não foi calculado o perfil modal de todos os modos apresentados na Tabela 8.8, porém analisando essa Tabela, observa-se que o modo menos amortecido é o modo nº 1, cujo amortecimento é de 8,4990%. Como o interesse recai sobre os modos menos amortecidos, para este modo, uma avaliação mais detalhada poderia ser realizada visando aumentar seu valor.

Foram observados nos perfis modais calculados a presença dos modos inter-área, local e inter-planta. Já o modo intra-planta não foi possível observar, pois seria necessário que as máquinas das usinas estivessem individualizadas.

8.4.3. Análise do melhor local para instalação de estabilizador

Neste item foi realizado um esboço de análise para locação de estabilizadores, mostrado no Apêndice A.

8.5. SUMÁRIO

Estes estudos são importantes para avaliar o comportamento do sistema ao longo do tempo, verificando a influência dos controladores sobre a estabilidade do sistema frente a pequenas perturbações. Entre as aplicações possíveis, as seguintes podem ser citadas: Identificar os modos de oscilação instáveis ou pouco amortecidos; as máquinas que necessitam ajustar os controladores; os principais pontos do sistema elétrico, onde o uso de estabilizadores seria mais eficiente no amortecimento das oscilações eletromecânicas.

Este capítulo apresentou os resultados da análise de estabilidade considerando três aplicações: a primeira sobre o sistema-teste de 9 barras que submeteu os controladores desse sistema a uma avaliação, não indicando nenhum comportamento indesejável. Como os controladores devem ser projetados de forma que atendam aos diversos pontos de operação do sistema, outras condições operativas devem ser exploradas.

Na segunda, foi aplicado o *mode shape* sobre o sistema-teste de 65 barras para exemplificar a identificação dos tipos de modos eletromecânicos presentes no sistema. Na terceira aplicação foi feita uma breve análise sobre o melhor ponto do sistema onde a instalação de um estabilizador seria mais efetiva. As simulações realizadas encontram-se registradas nos arquivos dentro da pasta “Capítulo 8” no CD em apenso.

* * *

9.1. CONCLUSÕES

Dentre as razões que motivaram a realização desta Dissertação destaca-se a dificuldade em se obter na literatura um conjunto de dados, parâmetros e resultados numéricos de um mesmo sistema referentes a estudos de fluxo de potência, fluxo de potência ótimo, curto-circuito, estabilidade transitória e estabilidade a pequenas perturbações. A principal tarefa levada a termo foi a elaboração de sistemas-teste fictícios, obtidos do sistema brasileiro, com seus respectivos conjuntos de dados e parâmetros reais. Com essas informações, torna-se possível a reprodução de resultados por outros analistas com fins didáticos, de treinamento e validação de programas.

A principal contribuição desta Dissertação refletiu-se na proposição de cinco novos sistemas-teste de portes diversos, com um conjunto abrangente de dados, parâmetros, informações e resultados, que refletem peculiaridades do sistema elétrico brasileiro real. Todos os sistemas foram testados com os programas computacionais do CEPEL, utilizados atualmente no setor elétrico brasileiro.

9.2. COMPLEMENTAÇÃO FUTURA

Por limitações de tempo e volume de informação, algumas lacunas ainda permanecem. Assim, visando a complementação deste trabalho, são sugeridas as inclusões de dados para os respectivos sistemas-teste, que permitam o cálculo de: *confiabilidade composta (Programa NH2), harmônicos (Programa HarmZ), grandezas de transitórios eletromagnéticos (Programa ATP), tarifas de transmissão (Programa NODAL) e estimação de estado.*

Sugere-se também que aos sistemas-teste aqui propostos sejam agregados os seguintes elementos: *transformadores defasadores, cargas especiais (modelos dinâmicos), TCSC,*

reatores de linha, compensações série e representações de esquemas especiais de proteção, arranjos de subestações e detalhamentos de redes de subtransmissão e distribuição, geração eólica, geração distribuída, micro-redes, gasodutos, etc.

Por fim, outro grande desafio seria a proposição de um *conjunto de dados e informações de natureza energética* que permitisse a utilização dos sistemas-teste aqui desenvolvidos em análises de integração eletro-energética.

* * *

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PAI, M. A., *Computer Techniques in Power System Analysis*, Tata McGraw-Hill Pub. Co. Limited, New Delhi, 1979, Apendix V.
- [2] ALVES W. F., SCHILLING M. Th., FILHO M. B. DO C., DE SOUZA J. C. S., *Proposição de Sistemas-Teste Brasileiros para Uso Didático e Validação de Paradigmas de Processamentos Computacionais de Sistemas de Potência*, XIX SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Rio de Janeiro, Outubro 2007. (aceito para publicação)
- [3] ANEEL, *Atlas de Energia Elétrica do Brasil – 2ª edição*, Brasil, 2005.
- [4] MME, Dados disponíveis no portal do Ministério de Minas Energia (<http://www.mme.gov.br>), Brasil.
- [5] BEN, *Balanco Energético Nacional*, ano base 2005, Ministério de Minas e Energia, Brasil, 2006.
- [6] DA SILVA O.L.P., *O Sistema Elétrico Nacional e a Necessidade Nuclear*, Energy Summit (www.energysummit.com.br/noticias/noticias_003.asp), 2006.
- [7] ONS, *Planejamento Anual da Operação Energética*, Sumário Executivo, 2005.
- [8] EPE, *Boletim de Análise e Conjuntura Energética*, Brasil, Dezembro 2005.
- [9] EPE, *Consolidação do Mercado de Energia Elétrica e da Economia 2005*, Brasil, Maio 2006.
- [10] EPRI, *Synthetic Electric Utility Systems For Evaluating Advanced Technologies*, EPRI EM-285, Project TPS 75-615, Final Report, February 1977.
- [11] ONS, *Diretrizes e Critérios para Estudos Elétricos*. Procedimentos de Rede, submódulo 23.3 Revisão 1, Rio de Janeiro, Brasil, Dezembro 2002.
- [12] CRUZ, W. A. S., *Efeito estabilizante de elo de corrente contínua na operação de sistemas de transmissão em corrente alternada*, Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, Abril 2002.
- [13] FILHO, J. A. P., DA COSTA, V. M., DE OLIVEIRA. M. L., JUNIOR, S. G., *Modelagem do elo de corrente contínua de Itaipu para estudos de regime permanente*, SEPOPE – Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica, Maio 2004.
- [14] CEPEL, *Programa de Análise de Transitórios Eletromecânicos*. ANATEM – Manual do Usuário – Versão 09-03/05, Rio de Janeiro, Brasil, Março 2005.
- [15] KUNDUR, P. *Power System Stability and Control*, McGraw-Hill, Inc, 1994.
- [16] ROSA, R. M. P., *Modelagem de Elos de Corrente Contínua em Programas de Fluxo de Potência*, Dissertação de mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2002.
- [17] JARDIM J. L. A., TAKAHATA A. Y., TARANTO G. N., SCHILLING M. Th., *Fluxo de potência Robusto: Formulação Dinâmica Sintética*, XVIII SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Outubro 2005.
- [18] CEPEL, *Programa de Análise de Redes*. ANAREDE – Manual do Usuário – Versão 08-Mar05, Rio de Janeiro, Brasil, Março 2005.
- [19] GCOI/SCEL/GTEE, *Modelos de Carga para Estudos de Estabilidade e Fluxo de Potência*, Relatório SCEL-GTEE-001/89.

- [20] GRANVILLE, S. *Optimal Reactive Dispatch Through Interior Point Methods*, IEEE Transactions on PWRs, vol. 9, pp. 136-146, February 1994.
- [21] GRANVILLE S., MELLO J. C. O. e MELO A.C.G., “*Application of Interior Point Methods to Power Flow Insolvability*”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, v. 11, n. 2, pp. 1096–1103, May. 1996.
- [22] CEPEL, *Programa de Fluxo de Potência Ótimo*. FLUPOT – Manual do Usuário – Versão 6.0, Rio de Janeiro, Brasil, Julho 2005.
- [23] MONTEIRO, R.D.C., ADLER, I., *Interior Path Following Primal-Dual Algorithms. Part I: Linear Programming*. Mathematical Programming, vol. 44, pp.27-41, 1989.
- [24] CEPEL, *Programa de Análise de Faltas*. ANAFAS – Manual do Usuário – Versão 4.1-Mar05, Rio de Janeiro, Brasil, Março 2005.
- [25] GRAINGER, John J., STEVENSON, Willian D., *Power System Analysis*, McGraw-Hill, Inc, 1994.
- [26] DE MELLO, F. P., *Dinâmica das máquinas elétricas II*, Curso de Engenharia em Sistemas Elétricos de Potência – série P.T.I., Santa Maria –RS,1979.
- [27] CEPEL, *Programa de Análise de Redes em t_{0+}* . ANAT0 – Manual do Usuário – Versão 2.4-12/01, Rio de Janeiro, Brasil, Dezembro 2001.
- [28] CCPE, *Critérios e Procedimentos para Estudos Elétricos*. Critérios e Procedimentos para o Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos de Transmissão, volume II, Rio de Janeiro, Brasil, Novembro 2002.
- [29] DE SOUZA, A. C. Z., *Análise de Estabilidade de Tensão*, FUPAI, Itajubá, Brasil, 1997.
- [30] GCOI, *Otimização dos Principais Controladores do Sistema Interligado*, 1º volume, Relatório SCEL-GTAS/S-032/86, Novembro 1986.
- [31] LEONI, R. L., FIGUEIREDO, E. F., *Influência do Sistema de Controle de Velocidade no Amortecimento das Oscilações em Sistemas Elétricos*, In Cadernos da PUC/RJ, Pesquisas em Controle, Potência, Telecomunicação e Medidas Elétricas, Série Eng. Elétrica 01/74, Caderno nº 20, Rio de Janeiro, PUC/RJ 1974.
- [32] IEEE, *Recommended Practice for Exciter System Models for Power System Stability Studies*, IEEE Standard 421.5, 1992.
- [33] CEPEL, *Programa de Análise de Estabilidade Frente a Pequenas Perturbações*. PACDYN – Manual do Usuário – Versão 6.3, Rio de Janeiro, Brasil, 2005.
- [34] TARANTO, G. N., PEDROSO, A. DE S., DE ASSIS, T. M. L., *Metodologia para Inserção da Ferramenta PacDyn nos Estudos das Interligações – Horizonte 4 Anos*, Relatório 01 e 02, Abril 2004.
- [35] SEVILLANO, J. E. V., *Análise Modal no Sistema Elétrico Peruano*, Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, Dezembro 2005.
- [36] FRANCIS, J.G.F., *The QR Transformation – A Unitary Analoge to the LR Transformation*, Parts 1 and 2, The Computer Jornal, Vol. 4, p.p. 265-271, 332-345, 1961.
- [37] WILKINSON, J.H., *The Algebric Eigenvalue Problem*, Oxford University Press, Oxford, 1965.
- [38] FERRAZ, J. C. R., MARTINS, N., TARANTO G. N., VARRICCHIO, S. L., *Método de Newton-Raphson para Posicionamento Parcial Simultâneo de Múltiplos Pólos*, XIII CBA – Congresso Brasileiro de Automática, Florianópolis, Setembro 2000.

- [39] GUIMARÃES, C. H. C., *Simulação Dinâmica de Sistemas Elétricos de Potência Considerando os Fenômenos de Longa Duração*, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, Dezembro 2003.
- [40] Dados para sistemas IEEE 14, 30, 57, 118, 300-bus Test Systems, University of Washington [Online]. Disponível no site: (<http://www.ee.washington.edu/research/pstca/>)
- [41] BROWN, H. E., *Grandes Sistemas Elétrico*, Métodos Matriciais, Escola Federal de Engenharia de Itajubá –EFEL,1977.
- [42] VIZZONI E., CASTRO R. T., *Análise Estatística de Ocorrências em Equipamentos Elétricos Sob o Enfoque da Manutenção*, SEMASE – Seminário Nacional de Manutenção do Setor Elétrico, Curitiba, Brasil, 1998.

Análise do melhor local para instalação de estabilizador

A finalidade deste item é avaliar, através dos resíduos da função de transferência, a indicação do melhor ponto do sistema para instalação de um estabilizador, visando melhorar o amortecimento do sistema.

A análise através dos resíduos da função de transferência é um processo bastante eficaz e indica a máquina onde deverá ser instalado um estabilizador (projeto de estabilizador) ou a necessidade de um ajuste no estabilizador existente naquela máquina para melhorar o amortecimento de um modo de oscilação. O gerador de maior influência neste resíduo será o candidato a ter um estabilizador instalado ou ajustado.

As informações retiradas dos resíduos são necessárias, mas não suficientes para definir corretamente a localização dos estabilizadores. Como uma ou várias malhas estabilizadoras são fechadas, a trajetória final dos pólos críticos no plano complexo dependerá também dos zeros da função de transferência. O zero de uma função de transferência próximo a um autovalor instável inibe a estabilização do sistema já que o autovalor é atraído pelo zero à medida que o ganho do estabilizador aumenta. Desta forma, a análise dos zeros é muito importante no processo de análise a pequenas perturbações [34].

A escolha da máquina onde a ação do estabilizador será mais efetiva deve observar as seguintes condições [39]:

- Maior resíduo do modo escolhido;
- Estudo dos mapas de pólos e zeros das funções de transferência de cada máquina, de modo a se obter a posição dos zeros em relação ao par de pólos que se quer deslocar.

Para exemplificar essa situação, foi utilizado o caso de carga pesada do **sistema-teste de 16 barras**, que possui dois geradores e um compensador síncrono. Primeiramente

foram obtidos os pólos do sistema usando o método QR, sem a presença do estabilizador, conforme mostra a Tabela A.1.

Tabela A.1 – Autovalores do sistema-teste de 16 barras com RAT e RAV

Nº	Pólo	Módulo	Frequência (Hz)	Amortecimento (%)	Fator de Participação
1	$-1,1688 + j 8,7202$	8,7982	1,3879	13,284	DELT GERADOR-2
2	$-1,1688 - j 8,7202$	8,7982	-1,3879	13,284	
3	$-1,6939 + j 9,4460$	9,5967	1,5034	17,651	WW C.SINCRONO
4	$-1,6939 - j 9,4460$	9,5967	-1,5034	17,651	
5	$-0,3377 + j 0,6109$	0,6980	0,09723	48,385	WW GERADOR-1
6	$-0,3377 - j 0,6109$	0,6980	-0,09723	48,385	
7	$-0,7709 + j 0,6573$	1,0131	0,1046	76,096	X5 RT_GER-1
8	$-0,7709 - j 0,6573$	1,0131	-0,1046	76,096	
9	$-0,7804 + j 0,5744$	0,9690	0,09142	80,534	EQ' C.SINCRONO
10	$-0,7804 - j 0,5744$	0,9690	-0,09142	80,534	
11	$-1,3160 + j 0,6104$	1,4507	0,09715	90,716	EQ' C.SINCRONO
12	$-1,3160 - j 0,6104$	1,4507	-0,09715	90,716	
13	$-332,92 + j 0,0$	332,92	0,0	100,00	X7 RT_GER-1
14	$-332,48 + j 0,0$	332,48	0,0	100,00	X7 RT_GER2
15	$-79,186 + j 0,0$	79,186	0,0	100,00	ED" C.SINCRONO
16	$-62,228 + j 0,0$	62,228	0,0	100,00	X2 RT_CS
17	$-22,569 + j 0,0$	22,569	0,0	100,00	X4 RV_GER-1
18	$-22,519 + j 0,0$	22,519	0,0	100,00	X4 RV_GER-2
19	$-17,665 + j 0,0$	17,665	0,0	100,00	EQ" GERADOR-1
20	$-15,293 + j 0,0$	15,293	0,0	100,00	EQ" GERADOR-2
21	$-13,658 + j 0,0$	13,658	0,0	100,00	EQ" C.SINCRONO
22	$-8,3192 + j 0,0$	8,3192	0,0	100,00	ED" GERADOR-1
23	$-6,0989 + j 0,0$	6,0989	0,0	100,00	ED" GERADOR-2
24	$-3,5177 + j 0,0$	3,5177	0,0	100,00	X17 RV_GER-2
25	$-2,3875 + j 0,0$	2,3875	0,0	100,00	X9 RV_GER-1
26	$-1,6585 + j 0,0$	1,6585	0,0	100,00	X9 RV_GER-2
27	$-0,1302 + j 0,0$	0,1302	0,0	100,00	X6 RV_GER1
28	$-0,01661 + j 0,0$	0,01661	0,0	100,00	X6 RV_GER-2

Em seguida, para o cálculo do resíduo, foi definida a seguinte função de transferência: uma entrada com aplicação de (+VREF), que é o sinal de entrada do regulador de tensão, sem especificar nenhuma máquina, deixando que o sistema responda na busca do maior, e como saída o sinal de velocidade (WW) que é entrada do estabilizador que foi considerado neste caso, sobre os modos de oscilação 1 e 3 indicados na Tabela A.1, que correspondem aos modos menos amortecidos e estão na faixa de frequência dos eletromecânicos.

Análise do pólo 1: $-1,1688 + j 8,7202$

A Figura A.1 mostra o gráfico do perfil modal e a Tabela A.2 apresenta os valores dos resíduos obtidos.

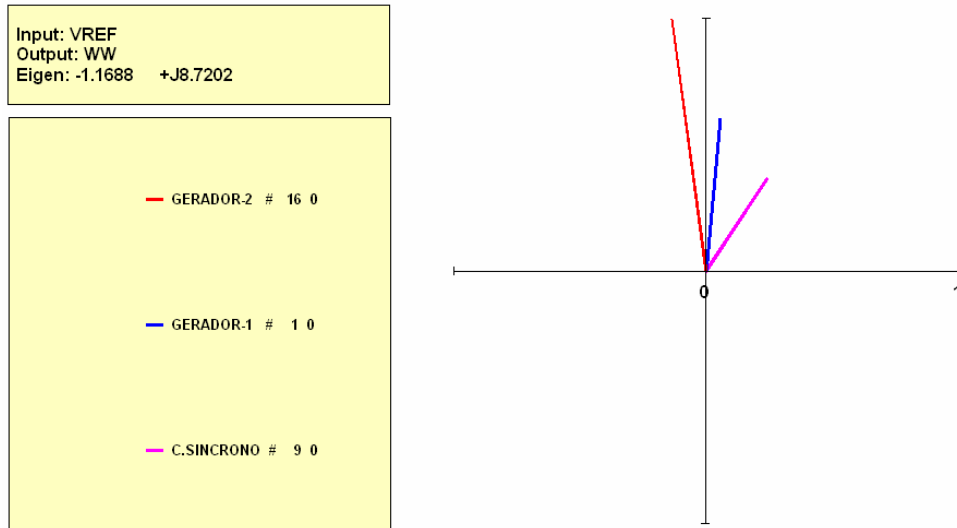


Figura A.1 – Perfil modal de velocidade do modo de oscilação 1

Tabela A.2 – Resíduos do modo de oscilação 1

Resíduo	Módulo	Ângulo	Fator de Participação
1	1,0000	97,720	GERADOR-2
2	0,6001	84,605	GERADOR-1
3	0,4397	56,414	C.SINCRONO

O resultado obtido para este modo de oscilação indica que o Gerador-2 apresenta o maior resíduo para essa função de transferência. Sendo assim, para o amortecimento desse modo, a instalação do estabilizador será mais efetiva se aplicado ao Gerador-2 que está conectado à barra 16.

Análise do pólo 3: $-1,1639 + j 9,4460$

A Figura A.2 mostra o gráfico do perfil modal e a Tabela A.3 apresenta os valores dos resíduos obtidos.

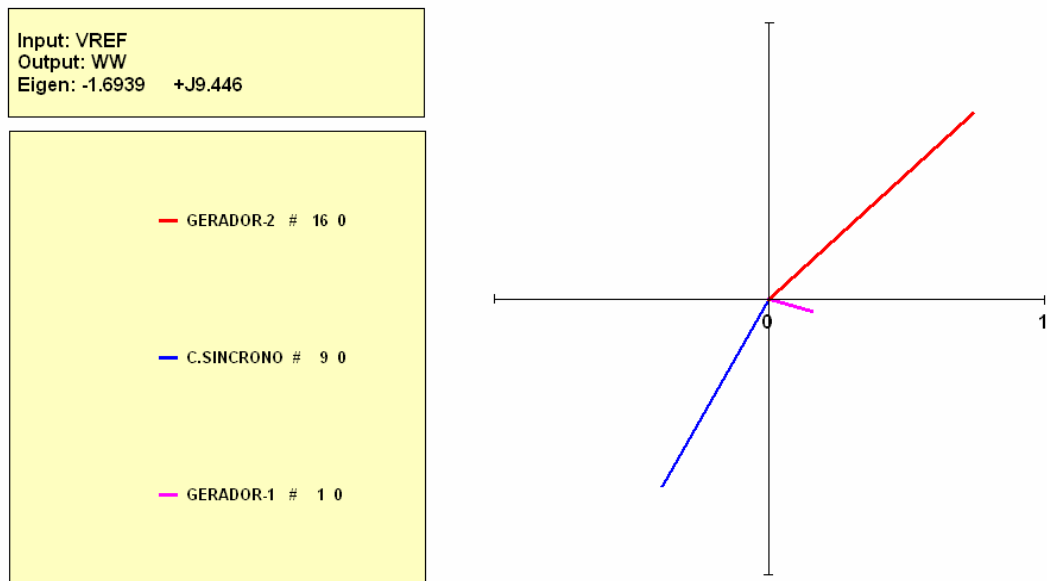


Figura A.2 – Perfil modal de velocidade do modo de oscilação 3

Tabela A.3 – Resíduos do modo de oscilação 3

Resíduo	Módulo	Ângulo	Fator de Participação
1	1,0000	42,197	GERADOR-2
2	0,7793	-119,71	GERADOR-1
3	0,1630	-15,637	C.SINCRONO

Para este modo de oscilação, o Gerador-2 também apresenta o maior resíduo para essa função de transferência, apontando a instalação do estabilizador no Gerador-2 conectado à barra 16, para o amortecimento desse modo.

As Figuras A.3 e A.4 mostram os mapas de pólos e zeros para a mesma função de transferência referente ao gerador-1 e gerador-2 respectivamente. A análise dos zeros é importante, pois não basta observar os pólos é preciso conseguir atuar neles. Pois dependendo da sua localização, a presença de um zero próximo a um pólo pode dificultar a estabilização do modo.

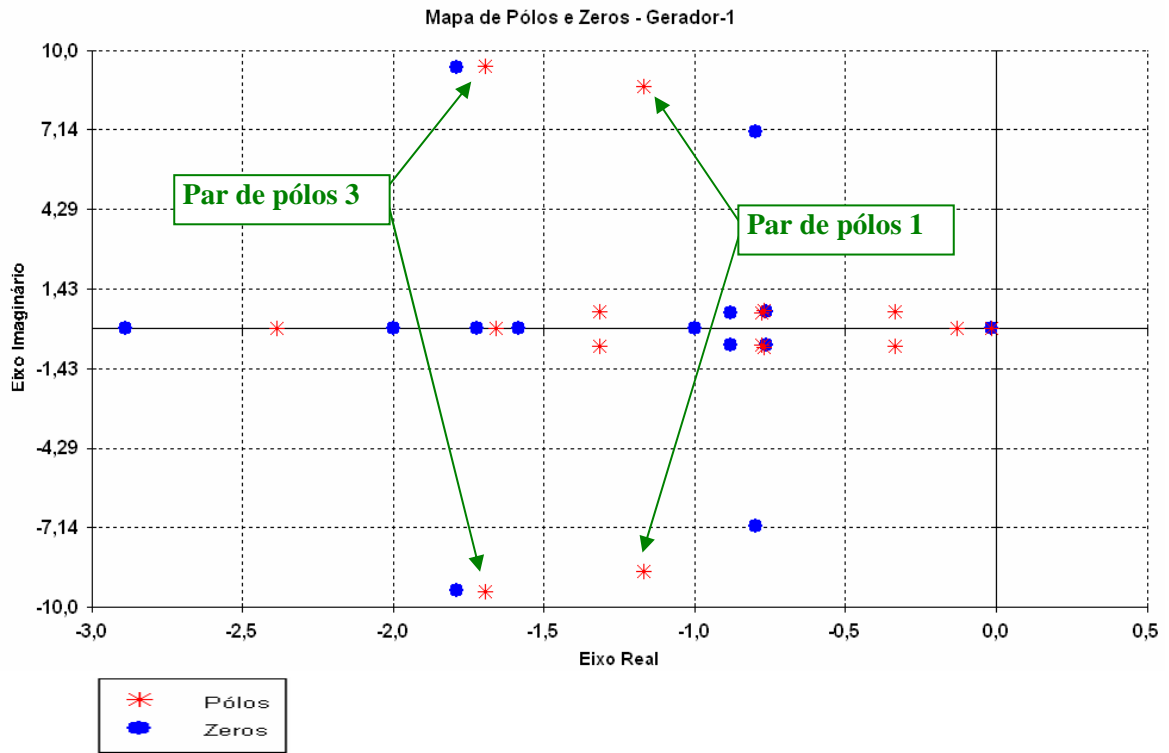


Figura A.3 – Mapa de pólos e zeros do gerador-1

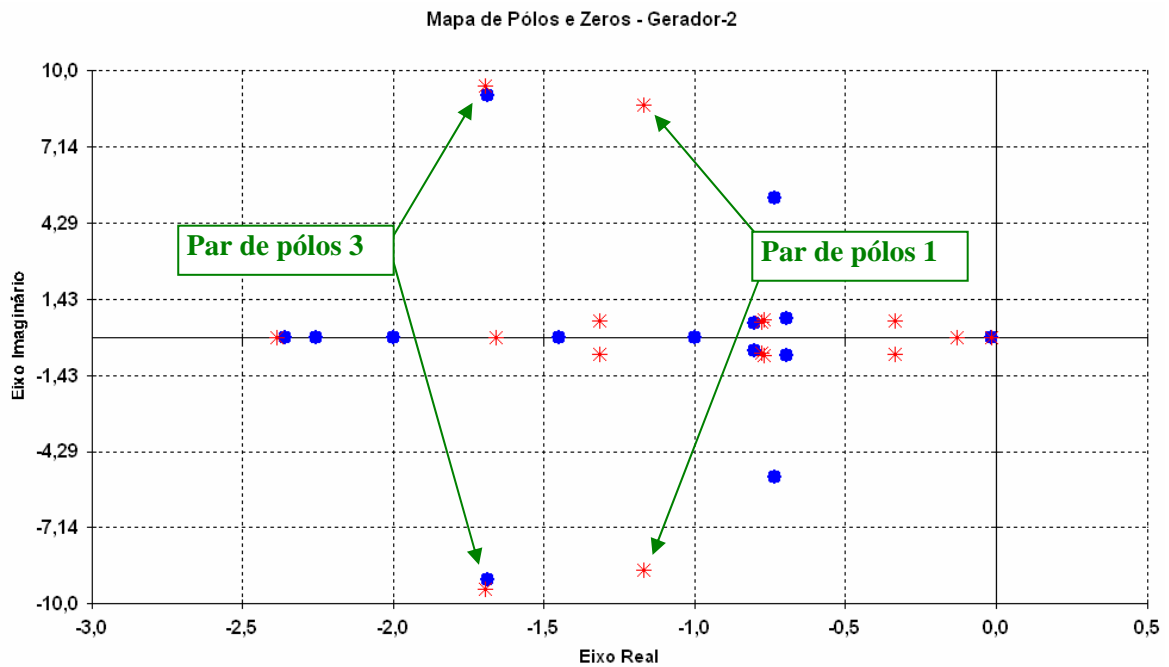


Figura A.4 – Mapa de pólos e zeros do gerador-2

Apesar das Tabelas A.2 e A.3 apontarem o maior resíduo para o Gerador-2, observando as Figuras A.3 e A.4 que mostram os mapas de pólos e zeros, vimos que o Gerador-1 é mais adequado para colocação do estabilizador, pois apresenta um melhor posicionamento dos zeros.

* * *

PONTOS DE OPERAÇÃO DOS SISTEMAS-TESTE PROPOSTOS

Este anexo apresenta os pontos de operação ou resultados numéricos dos **Sistemas-Teste** propostos, obtidos em condição de regime permanente.

1) Sistema-Teste de 9 Barras

Tabela 1a – Relatório de Barras - Caso Inicial

Barra				Tensão		Geração		Carga		Shunt
Número	Nome	Tipo	Área	Módulo [pu]	Ângulo [°]	MW	Mvar	MW	Mvar	Mvar
1	BAR-1 GER1	2	1	1,000	0,00	230,23	35,40	0,0	0,0	0,0
2	BAR-2 GER2	1	1	1,000	-8,40	100,00	24,48	0,0	0,0	0,0
3	BAR-3	0	1	0,989	-7,14	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
4	BAR-4	0	1	0,984	-12,87	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
5	BAR-5 CAR1	0	1	0,966	-12,20	0,00	0,00	55,0	27,0	0,0
6	BAR-6 CAR2	0	1	0,977	-14,25	0,00	0,00	37,0	18,0	0,0
7	BAR-7 CAR3	0	1	0,959	-15,95	0,00	0,00	68,0	45,0	0,0
8	BAR-8 CAR4	0	1	0,972	-14,00	0,00	0,00	90,0	35,0	0,0
9	BAR-9 CAR5	0	1	0,952	-18,16	0,00	0,00	75,0	28,0	0,0

Tabela 1b – Relatório de Linhas - Caso Inicial

DA Barra Número	PARA Barra Número	Circuito Número	Tap	Fluxo		Potência	Corrente kA	Carregamento Percentual	Perdas MW
				MW	Mvar	MVA			
1	3	1	1,000	230,23	35,40	232,93	134,48	77,64	0,00
2	4	1	1,000	99,97	24,48	102,92	59,42	44,75	0,00
3	5	1	-	93,65	3,86	93,73	54,73	46,87	1,55
3	8	1	-	136,34	2,61	136,36	79,62	68,18	1,91
4	7	1	-	67,02	17,68	69,31	40,66	36,25	0,48
5	7	1	-	37,15	-16,41	40,62	24,28	20,31	0,48
6	4	1	-	-32,78	-12,18	34,97	20,66	17,49	0,10
6	8	1	-	-4,16	-5,81	7,15	4,22	9,46	0,01
7	9	1	-	35,30	-6,67	35,92	21,63	18,42	0,16
8	9	1	-	40,35	-13,25	42,47	25,22	21,57	0,68

Tabela 2a – Relatório de Barras - Caso Base

Barra				Tensão		Geração		Carga		Shunt
Número	Nome	Tipo	Área	Módulo [pu]	Ângulo [°]	MW	Mvar	MW	Mvar	Mvar
1	BAR-1 GER1	2	1	1,030	0,00	178,73	10,40	0,0	0,0	0,0
2	BAR-2 GER2	1	1	1,035	-0,50	150,00	19,24	0,0	0,0	0,0
3	BAR-3	0	1	1,029	-5,17	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
4	BAR-4	0	1	1,027	-6,73	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
5	BAR-5 CAR1	0	1	1,012	-8,91	0,00	0,00	55,0	27,0	0,0
6	BAR-6 CAR2	0	1	1,022	-9,01	0,00	0,00	37,0	18,0	0,0
7	BAR-7 CAR3	0	1	1,007	-10,66	0,00	0,00	68,0	45,0	0,0
8	BAR-8 CAR4	0	1	1,019	-9,96	0,00	0,00	90,0	35,0	0,0
9	BAR-9 CAR5	0	1	1,003	-13,08	0,00	0,00	75,0	28,0	0,0

Tabela 2b – Relatório de Linhas - Caso Base

DA Barra Número	PARA Barra Número	Circuito Número	Tap pu	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
				MW	Mvar	MVA	kA	Percentual	MW
1	3	1	1,000	178,73	10,40	179,04	100,36	59,68	0,00
2	4	1	1,000	150,00	19,24	151,23	84,36	65,75	0,00
3	5	1	-	75,18	-0,68	75,18	42,19	37,59	0,92
3	8	1	-	103,55	-5,05	103,68	58,18	51,84	1,01
4	7	1	-	91,88	9,94	92,42	51,97	46,66	0,75
5	7	1	-	19,26	-16,19	25,16	14,36	12,58	0,12
6	4	1	-	-57,85	-6,27	58,19	32,86	29,27	0,27
6	8	1	-	20,85	-11,73	23,92	13,51	12,70	0,05
7	9	1	-	42,28	-10,43	43,55	24,97	21,77	0,21
8	9	1	-	33,34	-15,65	36,84	20,88	19,03	0,42

Tabela 3a – Relatório de Barras - Caso com tensões terminais dos geradores em 1,050 pu

Barra				Tensão		Geração		Carga		Shunt
Número	Nome	Tipo	Área	Módulo [pu]	Ângulo [°]	MW	Mvar	MW	Mvar	Mvar
1	BAR-1 GER1	2	1	1,050	0,00	178,56	6,66	0,00	0,00	0,0
2	BAR-2 GER2	1	1	1,050	-0,41	150,00	12,39	0,00	0,00	0,0
3	BAR-3	0	1	1,051	-4,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
4	BAR-4	0	1	1,047	-6,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
5	BAR-5 CAR1	0	1	1,035	-8,54	0,00	0,00	55,00	27,00	0,0
6	BAR-6 CAR2	0	1	1,044	-8,63	0,00	0,00	37,00	18,00	0,0
7	BAR-7 CAR3	0	1	1,030	-10,22	0,00	0,00	68,00	45,00	0,0
8	BAR-8 CAR4	0	1	1,042	-9,55	0,00	0,00	90,00	35,00	0,0
9	BAR-9 CAR5	0	1	1,026	-12,53	0,00	0,00	75,00	28,00	0,0

Tabela 3b – Relatório de Linhas - Caso com tensões terminais dos geradores em 1,050 pu

DA Barra Número	PARA Barra Número	Circuito Número	Tap pu	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
				MW	Mvar	MVA	kA	Percentual	MW
1	3	1	1,000	178,56	6,66	178,69	98,25	59,59	0,00
2	4	1	1,000	149,99	12,39	150,50	82,75	65,43	0,00
3	5	1	-	75,10	-2,09	75,13	41,29	37,57	0,88
3	8	1	-	103,43	-6,70	103,64	56,96	51,82	0,97
4	7	1	-	91,85	6,39	92,08	50,79	46,41	0,71
5	7	1	-	19,24	-16,66	25,45	14,20	12,72	0,11
6	4	1	-	-57,85	-4,29	58,01	32,08	29,46	0,26
6	8	1	-	20,86	-13,71	24,96	13,81	12,48	0,04
7	9	1	-	42,29	-12,02	43,96	24,65	21,98	0,20
8	9	1	-	33,30	-16,90	37,34	20,70	19,15	0,40

2) Sistema-Teste de 16 Barras

Tabela 4a – Relatório de Barras - Caso Base Carga Pesada

Número	Barra			Tensão		Geração		Carga		Shunt de Barra	
	Nome	Tipo	Área	Módulo [pu]	Ângulo [°]	MW	Mvar	MW	Mvar	Atual [pu]	Espec. Mvar
1	GERADOR-1	1	1	1,030	2,21	350,00	-44,71	0,00	0,00	0,00	0,0
2	BARRA-2	0	1	1,038	-0,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
3	BARRA-3	0	1	1,027	-5,25	0,00	0,00	47,00	31,00	-94,85	-90,0
4	BARRA-4	0	2	1,021	-7,26	0,00	0,00	106,00	70,00	0,00	0,0
5	BARRA-5	0	2	1,028	-5,83	0,00	0,00	31,00	20,00	0,00	0,0
6	BARRA-6	0	2	1,032	-2,82	0,00	0,00	17,00	12,00	0,00	0,0
7	BARRA-7	0	2	1,031	-5,85	0,00	0,00	15,00	14,00	0,00	0,0
8	BARRA-8	0	2	1,028	-7,83	0,00	0,00	39,00	24,00	0,00	0,0
9	C.SINCRONO	1	2	1,010	-7,83	0,00	-14,69	0,00	0,00	0,00	0,0
10	BARRA-10	0	1	1,024	-9,59	0,00	0,00	42,00	30,00	20,98	20,0
11	BARRA-11	0	1	1,028	-9,43	0,00	0,00	40,00	28,00	-31,71	-30,0
12	BARRA-12	0	1	1,029	-8,28	0,00	0,00	101,00	56,00	0,00	0,0
13	BARRA-13	0	1	1,026	-8,67	0,00	0,00	59,00	34,00	-31,55	-30,0
14	BARRA-14	0	1	1,030	-7,73	0,00	0,00	57,00	39,00	0,00	0,0
15	BARRA-15	0	1	1,026	-6,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
16	GERADOR-2	2	2	1,030	0,00	209,12	-3,54	0,00	0,00	0,00	0,0

Tabela 4b – Relatório de Linhas - Caso Base Carga Pesada

DA Barra Número	PARA Barra Número	Circuito Número	Tap pu	Fluxo		Potência	Corrente kA	Carregamento Percentual	Perdas MW
				MW	Mvar	MVA			
1	2	1	1,000	350,00	-44,71	352,84	197,78	68,37	0,00
2	3	1	-	175,00	-31,16	177,75	98,89	59,81	1,29
2	3	2	-	175,00	-31,16	177,75	98,89	59,81	1,29
3	12	1	-	209,75	-45,56	214,64	120,71	71,55	1,01
3	14	1	0,966	57,00	42,74	71,24	40,07	43,18	0,00
3	15	1	-	16,84	-16,53	23,59	13,27	11,80	0,02
3	15	2	-	16,84	-16,53	23,59	13,27	11,80	0,02
4	5	1	-	-36,18	-20,16	41,42	23,42	20,71	0,09
4	5	2	-	-36,18	-20,16	41,42	23,42	20,71	0,09
4	15	1	1,015	-33,64	-29,67	44,85	25,37	15,25	0,00
5	6	1	-	-103,54	-5,66	103,70	58,23	52,25	0,51
6	7	1	-	88,07	-16,15	89,54	50,09	44,77	0,44
6	16	1	1,000	-209,12	13,85	209,58	117,24	46,57	0,00
7	8	1	-	72,63	-10,03	73,32	41,07	36,66	0,23
8	9	1	1,000	0,00	14,96	14,96	8,40	14,96	0,00
10	8	1	0,967	-33,40	34,03	47,69	26,88	18,34	0,00
10	11	1	-	-8,60	-43,05	43,90	24,74	14,63	0,01
11	12	1	-	-48,60	-35,84	60,39	33,91	21,36	0,09
12	13	1	-	29,52	-11,73	31,76	17,83	14,70	0,02
12	13	2	-	29,52	-11,73	31,76	17,83	14,70	0,02

Tabela 5a – Relatório de Barras - Caso Base Carga Média

Barra				Tensão		Geração		Carga		Shunt de Barra	
Número	Nome	Tipo	Área	Módulo [pu]	Ângulo [°]	MW	Mvar	MW	Mvar	Atual [pu]	Espec. Mvar
1	GERADOR-1	1	1	1,020	1,99	300,00	-62,83	0,00	0,00	0,00	0,0
2	BARRA-2	0	1	1,030	-0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
3	BARRA-3	0	1	1,023	-4,50	0,00	0,00	41,00	26,00	-94,17	-90,0
4	BARRA-4	0	2	1,026	-6,27	0,00	0,00	90,00	60,00	0,00	0,0
5	BARRA-5	0	2	1,027	-5,05	0,00	0,00	26,00	17,00	0,00	0,0
6	BARRA-6	0	2	1,020	-2,44	0,00	0,00	14,00	10,00	0,00	0,0
7	BARRA-7	0	2	1,026	-5,10	0,00	0,00	14,00	12,00	0,00	0,0
8	BARRA-8	0	2	1,027	-6,77	0,00	0,00	33,00	21,00	0,00	0,0
9	C.SINCRONO	1	2	1,010	-6,77	0,00	-13,52	0,00	0,00	0,00	0,0
10	BARRA-10	0	1	1,008	-8,20	0,00	0,00	35,00	25,00	0,00	0,0
11	BARRA-11	0	1	1,019	-8,09	0,00	0,00	34,00	23,00	-31,16	-30,0
12	BARRA-12	0	1	1,026	-7,12	0,00	0,00	86,00	47,00	0,00	0,0
13	BARRA-13	0	1	1,023	-7,46	0,00	0,00	51,00	29,00	-31,41	-30,0
14	BARRA-14	0	1	1,020	-6,64	0,00	0,00	48,00	33,00	0,00	0,0
15	BARRA-15	0	1	1,020	-5,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
16	GERADOR-2	2	2	1,010	0,00	175,81	-37,72	0,00	0,00	0,00	0,0

Tabela 5b – Relatório de Linhas - Caso Base Carga Média

DA Barra Número	PARA Barra Número	Circuito Número	Tap pu	Fluxo		Potência	Corrente kA	Carregamento Percentual	Perdas MW
				MW	Mvar	MVA			
1	2	1	1,000	300,00	-62,83	306,51	173,49	59,53	0,00
2	3	1	-	150,00	-38,19	154,78	86,75	51,59	0,96
2	3	2	-	150,00	-38,19	154,78	86,75	51,59	0,96
3	12	1	-	179,67	-47,01	185,72	104,82	61,91	0,75
3	14	1	0,976	47,99	35,74	59,83	33,77	36,26	0,00
3	15	1	-	14,71	-13,80	20,17	11,38	11,61	0,02
3	15	2	-	14,71	-13,80	20,17	11,38	11,61	0,02
4	5	1	-	-30,30	-12,55	32,80	18,45	16,98	0,06
4	5	2	-	-30,30	-12,55	32,80	18,45	16,98	0,06
4	15	1	1,030	-29,35	-35,06	45,72	25,72	15,60	0,00
5	6	1	-	-86,73	13,44	87,76	49,32	46,04	0,38
6	7	1	-	74,70	-25,77	79,02	44,72	39,51	0,33
6	16	1	1,000	-175,81	45,65	181,64	102,79	40,36	0,00
7	8	1	-	60,37	-16,94	62,70	35,30	31,35	0,17
8	9	1	1,000	0,00	13,75	13,75	7,73	13,75	0,00
10	8	1	0,951	-27,20	35,90	45,05	25,79	17,33	0,00
10	11	1	-	-7,80	-60,91	61,41	35,16	20,47	0,03
11	12	1	-	-41,82	-50,03	65,21	36,94	21,74	0,07

Tabela 5b – Relatório de Linhas - Caso Base Carga Média

DA Barra	PARA Barra	Circuito	Tap	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
Número	Número	Número	pu	MW	Mvar	MVA	kA	Percentual	MW
12	13	1	-	25,51	-14,13	29,17	16,42	13,18	0,02
12	13	2	-	25,51	-14,13	29,17	16,42	13,18	0,02

Tabela 6a – Relatório de Barras - Caso Base Carga Leve

Barra				Tensão		Geração		Carga		Shunt de Barra	
Número	Nome	Tipo	Área	Módulo [pu]	Ângulo [°]	MW	Mvar	MW	Mvar	Atual [pu]	Espec. Mvar
1	GERADOR-1	1	1	0,970	0,52	200,00	-129,87	0,00	0,00	0,00	0,0
2	BARRA-2	0	1	0,991	-1,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
3	BARRA-3	0	1	1,001	-4,21	0,00	0,00	26,00	16,00	-90,23	-90,0
4	BARRA-4	0	2	1,004	-5,60	0,00	0,00	58,00	39,00	0,00	0,0
5	BARRA-5	0	2	1,007	-4,85	0,00	0,00	16,00	11,00	0,00	0,0
6	BARRA-6	0	2	0,999	-3,19	0,00	0,00	10,00	7,00	0,00	0,0
7	BARRA-7	0	2	1,014	-4,93	0,00	0,00	9,00	8,00	0,00	0,0
8	BARRA-8	0	2	1,020	-5,98	0,00	0,00	21,00	13,00	0,00	0,0
9	C.SINCRONO	1	2	0,970	-5,98	0,00	-38,98	0,00	0,00	0,00	0,0
10	BARRA-10	0	1	0,975	-6,78	0,00	0,00	23,00	16,00	0,00	0,0
11	BARRA-11	0	1	0,994	-6,72	0,00	0,00	22,00	15,00	-29,67	-30,0
12	BARRA-12	0	1	1,008	-6,04	0,00	0,00	56,00	31,00	0,00	0,0
13	BARRA-13	0	1	1,007	-6,27	0,00	0,00	33,00	19,00	-30,40	-30,0
14	BARRA-14	0	1	1,010	-5,68	0,00	0,00	32,00	21,00	0,00	0,0
15	BARRA-15	0	1	1,010	-4,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
16	GERADOR-2	2	2	0,970	0,00	108,01	-53,38	0,00	0,00	0,00	0,0

Tabela 6b – Relatório de Linhas - Caso Base Carga Leve

DA Barra	PARA Barra	Circuito	Tap	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
Número	Número	Número	pu	MW	Mvar	MVA	kA	Percentual	MW
1	2	1	1,000	200,00	-129,87	238,47	141,94	46,83	0,00
2	3	1	-	100,00	-69,47	121,76	70,97	40,59	0,49
2	3	2	-	100,00	-69,47	121,76	70,97	40,59	0,49
3	12	1	-	119,18	-56,12	131,74	75,96	43,91	0,37
3	14	1	0,974	32,00	22,20	38,94	22,46	23,60	0,00
3	15	1	-	10,91	-26,96	29,08	16,77	14,54	0,02
3	15	2	-	10,91	-26,96	29,08	16,77	14,54	0,02
4	5	1	-	-18,11	-15,86	24,07	13,84	12,04	0,02
4	5	2	-	-18,11	-15,86	24,07	13,84	12,04	0,02
4	15	1	0,999	-21,79	-7,28	22,97	13,20	7,69	0,00
5	6	1	-	-52,26	11,33	53,47	30,65	30,04	0,16
6	7	1	-	45,59	-38,72	59,82	34,57	29,91	0,17
6	16	1	1,000	-108,01	61,09	124,09	71,71	27,58	0,00
7	8	1	-	36,42	-24,93	44,14	25,13	22,07	0,07
8	9	1	1,000	0,00	41,00	41,00	23,20	41,00	0,00
10	8	1	0,903	-15,35	64,44	66,24	39,23	25,48	0,00
10	11	1	-	-7,65	-80,44	80,80	47,85	26,93	0,09
11	12	1	-	-29,74	-64,44	70,97	41,20	23,66	0,07
12	13	1	-	16,51	-18,25	24,60	14,10	9,90	0,01
12	13	2	-	16,51	-18,25	24,60	14,10	9,90	0,01

3) Sistema-Teste de 33 Barras

Tabela 7a – Relatório de Barras - Caso Base

Barra				Tensão		Geração		Carga		Shunt de Barra	
Número	Nome	Tipo	Área	Módulo [pu]	Ângulo [°]	MW	Mvar	MW	Mvar	Atual [pu]	Espec. Mvar
800	GBMUNHOZ-3GR	2	1	1,010	0,00	918,39	-49,16	0,0	0,0	0,00	0,00
808	SCAXIAS-4GR	1	2	1,020	11,03	1.000,00	40,92	0,0	0,0	0,00	0,00
810	SSEGREDO-4GR	1	2	1,010	4,92	1.000,00	-234,81	0,0	0,0	0,00	0,00
814	BATEIAS-230	0	1	1,002	-20,74	0,00	0,00	680,0	130,0	0,00	0,00
824	GBMUNHOZ-500	0	1	1,045	-5,73	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00
839	CASCAVEL-230	0	2	1,004	2,84	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00

Tabela 7a – Relatório de Barras - Caso Base

Barra				Tensão		Geração		Carga		Shunt de Barra	
Número	Nome	Tipo	Área	Módulo [pu]	Ângulo [°]	MW	Mvar	MW	Mvar	Atual [pu]	Espec. Mvar
840	CASCAVEL-138	0	2	0,951	-0,19	0,00	0,00	150,0	32,0	0,00	0,00
848	FCHOPIIM--138	0	2	0,970	4,43	0,00	0,00	90,0	17,0	0,00	0,00
856	SEGREDO--500	0	2	1,040	-0,82	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00
895	BATEIAS--500	0	1	1,022	-18,58	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00
896	CASCAVELO500	0	2	1,036	4,37	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00
897	SCAXIAS--500	0	2	1,045	5,41	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00
898	FCHOPIIM--230	0	2	1,025	7,88	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00
904	ITA-----3GR	1	1	1,010	-7,16	400,00	-390,38	0,0	0,0	0,00	0,00
915	MACHADIN-1GR	1	1	1,020	-2,62	400,00	-108,00	0,0	0,0	0,00	0,00
919	SOSOR1A4-4GR	1	2	1,020	15,57	700,00	114,27	0,0	0,0	0,00	0,00
925	SSANTIAG-3GR	1	2	1,020	7,62	800,00	2,15	0,0	0,0	0,00	0,00
933	AREIA----500	0	1	1,045	-6,03	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00
934	AREIA----230	0	2	1,003	-5,50	0,00	0,00	235,0	57,0	0,00	0,00
938	BLUMENAU-500	0	1	1,053	-22,06	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00
939	BLUMENAU-230	0	1	1,002	-24,00	0,00	0,00	940,0	50,0	0,00	0,00
955	CNOVOS---500	0	1	1,082	-12,99	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00
959	CURITIBA-500	0	1	1,024	-19,13	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00
960	CURITIBA-230	0	1	1,002	-21,67	0,00	0,00	790,0	330,0	0,00	0,00
964	CAXIAS---500	0	1	1,076	-19,90	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00
965	CAXIAS---230	0	1	1,004	-22,03	0,00	0,00	700,0	49,0	0,00	0,00
976	GRAVATAI-500	0	1	1,056	-22,19	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00
995	ITA-----500	0	1	1,071	-10,45	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00
1030	MACHADIN-500	0	1	1,076	-11,28	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00
1047	SOSORIO--230	0	2	1,031	8,92	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00
1060	SSANTIAG-500	0	2	1,050	0,97	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00
1210	GRAVATAI-230	0	2	1,005	-24,44	0,00	0,00	1.100,0	400,0	0,00	0,00
2458	CASCAVEL-230	0	2	1,004	2,46	0,00	0,00	400,0	125,0	0,00	0,00

Tabela 7b – Relatório de Linhas - Caso Base

DA Barra	PARA Barra	Circuito	Tap	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
Número	Número	Número	pu	MW	Mvar	MVA	kA	Percentual	MW
814	895	1	0,988	-342,87	-65,17	349,01	201,21	58,70	0,38
814	895	2	0,988	-337,13	-64,83	343,31	197,92	57,74	0,34
824	800	1	1,024	-918,39	142,03	929,30	513,41	55,45	0,00
824	933	1	-	462,80	-71,75	468,33	258,74	21,46	0,20
824	933	2	-	455,58	-70,29	460,97	254,67	21,13	0,19
839	840	1	1,043	72,97	19,66	75,57	43,45	50,38	0,00
839	840	2	1,043	77,03	20,75	79,78	45,86	53,18	0,00
839	898	1	-	-129,82	-9,72	130,19	74,84	69,83	1,89
839	1047	1	-	-143,42	-11,81	143,90	82,73	77,52	2,49
839	2458	1	-	59,52	-10,22	60,40	34,72	18,93	0,08
839	2458	2	-	63,72	-8,66	64,30	36,97	18,06	0,07
856	810	1	1,000	-1.000,00	343,42	1.057,33	587,18	83,91	0,00
856	933	1	-	1.497,61	-185,19	1.509,02	838,03	66,39	10,89
856	1060	1	-	-497,61	-158,23	522,16	289,98	23,93	1,35
896	897	1	-	-276,91	-152,57	316,16	176,19	19,31	0,41
897	808	1	1,024	-1.000,00	57,29	1.001,64	553,23	74,53	0,00
898	848	1	1,043	90,00	22,67	92,81	52,27	61,87	0,00
898	1047	1	-	-221,71	-31,08	223,88	126,09	69,43	0,71
933	895	1	-	920,29	-48,96	921,59	508,99	43,68	15,77
933	955	1	-	653,66	-334,74	734,38	405,60	34,80	6,92
933	959	1	-	910,56	-62,85	912,72	504,09	41,83	15,44
934	933	1	0,970	79,84	-96,65	125,36	72,13	18,85	0,05
934	1047	1	-	-157,32	19,79	158,56	91,23	51,82	7,82
934	1047	2	-	-157,52	19,85	158,76	91,35	51,89	7,83
938	955	1	-	-614,90	-201,88	647,19	354,86	31,77	8,72
938	959	1	-	-325,70	119,87	347,05	190,29	35,52	1,81
939	938	1	0,955	-325,45	-14,63	325,78	187,64	48,63	0,30
939	938	2	0,955	-321,82	-14,29	322,13	185,54	48,08	0,30
939	938	3	0,955	-292,73	-21,08	293,49	169,04	43,81	0,00
955	964	1	-	598,39	-152,46	617,51	329,50	36,58	5,74
959	895	1	-	-223,54	25,12	224,95	126,90	11,15	0,25
960	959	1	1,000	-395,58	-165,03	428,62	247,09	65,15	0,59
960	959	2	1,000	-394,42	-164,97	427,53	246,46	64,98	0,56

Tabela 7b – Relatório de Linhas - Caso Base

DA Barra	PARA Barra	Circuito	Tap	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
Número	Número	Número	pu	MW	Mvar	MVA	kA	Percentual	MW
964	976	1	-	510,62	136,44	528,54	283,58	33,33	1,91
965	964	1	0,937	-353,15	-24,67	354,01	203,55	52,89	0,22
965	964	2	0,937	-346,85	-24,33	347,70	199,92	51,94	0,21
976	995	1	-	-592,78	-210,24	628,96	343,79	38,07	8,99
995	904	1	1,000	-399,62	437,49	592,53	319,50	36,46	0,38
995	964	1	-	623,98	-204,37	656,60	354,04	30,09	5,58
995	1030	1	-	176,94	-138,45	224,67	121,15	10,30	0,23
995	1060	1	-	-1.003,07	130,72	1.011,55	545,44	49,46	16,29
1030	915	1	1,000	-400,00	176,16	437,07	234,52	34,85	0,00
1030	955	1	-	576,71	-188,23	606,65	325,51	27,80	1,44
1047	919	1	1,025	-698,83	-31,97	699,56	391,67	90,01	1,17
1060	897	1	-	-719,02	50,98	720,82	396,23	30,99	3,66
1060	925	1	1,024	-799,30	91,05	804,47	442,21	57,38	0,70
1210	976	1	0,967	-357,38	-131,98	380,97	218,94	57,64	0,40
1210	976	2	0,967	-384,05	-137,63	407,97	234,46	61,72	0,60
1210	976	3	0,967	-358,57	-130,40	381,54	219,27	57,72	0,49
2458	896	1	0,986	-276,91	-140,74	310,62	178,63	52,69	0,00

Tabela 8a – Relatório de Barras - Caso Estudo de Contingências

Número	Barra			Tensão		Geração		Carga		Shunt de Barra	
	Nome	Tipo	Área	Módulo [pu]	Ângulo [°]	MW	Mvar	MW	Mvar	Atual [pu]	Espec. Mvar
800	GBMUNHOZ-3GR	2	1	1,049	0,00	1.207,44	228,24	0,0	0,00	0,0	0,0
808	SCAXIAS--4GR	1	2	1,045	11,02	1.150,00	91,90	0,0	0,00	0,0	0,0
810	SSEGREGDO-4GR	1	2	1,045	4,66	1.200,00	-68,56	0,0	0,00	0,0	0,0
814	BATEIAS--230	0	1	0,999	-24,28	0,00	0,00	735,4	191,00	0,0	0,0
824	GBMUNHOZ-525	0	1	1,058	-7,17	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
839	CASCAVEL-230	0	2	1,001	2,07	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
840	CASCAVEL-138	0	2	0,995	-0,87	0,00	0,00	159,0	36,00	0,0	0,0
848	FCHOPIM--138	0	2	1,007	3,52	0,00	0,00	94,0	18,00	0,0	0,0
856	SEGREGDO--525	0	2	1,059	-1,88	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
895	BATEIAS--525	0	1	1,005	-21,85	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
896	CASCAVELO525	0	2	1,058	3,74	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
897	SCAXIAS--525	0	2	1,067	4,83	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
898	FCHOPIM--230	0	2	1,023	6,85	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
904	ITA-----3GR	1	1	1,045	-12,18	270,00	-253,18	0,0	0,00	0,0	0,0
915	MACHADIN-1GR	1	1	1,049	-8,98	300,00	-74,65	0,0	0,00	0,0	0,0
919	SOSOR1A4-4GR	1	2	1,020	14,55	700,00	124,89	0,0	0,00	0,0	0,0
925	SSANTIAG-3GR	1	2	1,045	7,41	950,00	65,98	0,0	0,00	0,0	0,0
933	AREIA----525	0	1	1,056	-7,56	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
934	AREIA----230	0	2	0,999	-7,00	0,00	0,00	237,0	59,00	0,0	0,0
938	BLUMENAU-525	0	1	1,036	-26,87	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
939	BLUMENAU-230	0	1	0,999	-29,32	0,00	0,00	1.149,0	53,06	0,0	0,0
955	CNOVOS--525	0	1	1,086	-16,69	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
959	CURITIBA-525	0	1	1,006	-22,60	0,00	0,00	0,0	0,00	101,2	100,0
960	CURITIBA-230	0	1	0,999	-25,43	0,00	0,00	844,7	469,10	0,0	0,0
964	CAXIAS---525	0	1	1,076	-24,44	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
965	CAXIAS---230	0	1	0,999	-26,73	0,00	0,00	755,6	56,24	0,0	0,0
976	GRAVATAI-525	0	1	1,054	-27,05	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
995	ITA-----525	0	1	1,083	-14,30	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
1030	MACHADIN-525	0	1	1,085	-15,23	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
1047	SOSORIO--230	0	2	1,029	7,89	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
1060	SSANTIAG-525	0	2	1,069	-0,17	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
1210	GRAVATAI-230	0	1	0,999	-29,58	0,00	0,00	1.228,0	425,00	0,0	0,0
2458	CASCAVEL-230	0	2	1,000	1,75	0,00	0,00	403,0	126,00	0,0	0,0

Tabela 8b – Relatório de Linhas - Caso de Estudo de Contingências

DA Barra	PARA Barra	Circuito	Tap	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
Número	Número	Número	pu	MW	Mvar	MVA	kA	Percentual	MW
814	895	1	1,007	-370,83	-95,89	383,03	221,38	64,69	0,48
814	895	2	1,007	-364,57	-95,11	376,77	217,76	63,63	0,43
824	800	1	1,024	-1.207,44	-74,55	1.209,74	660,47	73,32	0,00
824	933	1	-	608,55	37,32	609,69	332,87	27,97	0,33

Tabela 8b – Relatório de Linhas - Caso de Estudo de Contingências

DA Barra	PARA Barra	Circuito	Tap	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
				Número	Número	Número	pu	MW	Mvar
824	933	2	-	598,89	37,24	600,05	327,60	27,53	0,32
839	840	1	0,993	77,35	21,73	80,34	46,36	53,56	0,00
839	840	2	0,993	81,65	22,94	84,81	48,94	56,54	0,00
839	898	1	-	-123,37	-13,36	124,09	71,60	66,44	1,72
839	1047	1	-	-137,23	-15,66	138,12	79,69	74,31	2,30
839	2458	1	-	49,07	-8,47	49,79	28,73	15,61	0,05
839	2458	2	-	52,52	-7,19	53,01	30,59	14,89	0,05
856	810	1	1,000	-1.200,00	207,47	1.217,80	664,07	96,65	0,00
856	933	1	-	1.690,88	-57,28	1.691,85	922,57	74,43	13,26
856	1060	1	-	-490,88	-150,19	513,35	279,93	23,53	1,26
896	897	1	-	-301,51	-151,20	337,30	184,05	20,60	0,46
897	808	1	1,024	-1.150,00	32,41	1.150,46	622,45	85,84	0,00
898	848	1	1,003	94,00	23,75	96,95	54,71	64,64	0,00
898	1047	1	-	-219,09	-34,84	221,84	125,20	68,81	0,70
933	895	1	-	1.048,75	84,59	1.052,15	575,03	49,87	20,91
933	955	1	-	877,36	-288,02	923,42	504,67	43,76	11,49
933	959	1	-	1.044,16	67,96	1.046,37	571,87	47,95	20,71
934	933	1	0,956	85,90	-100,07	131,88	76,20	19,84	0,05
934	1047	1	-	-161,35	20,50	162,65	93,97	53,21	8,29
934	1047	2	-	-161,56	20,56	162,86	94,09	53,28	8,30
938	955	1	-	-684,93	-247,70	728,34	405,81	35,76	11,24
938	959	1	-	-465,00	145,23	487,15	271,42	44,27	3,30
939	938	1	0,968	-397,79	-15,10	398,08	230,09	59,46	0,46
939	938	2	0,968	-393,35	-14,71	393,62	227,52	58,79	0,47
939	938	3	0,968	-357,86	-23,25	358,62	207,29	53,56	0,00
955	964	1	-	673,33	-132,86	686,31	365,03	40,66	7,24
959	895	1	-	-291,09	30,19	292,65	167,96	14,26	0,43
960	959	1	1,024	-423,00	-234,65	483,72	279,61	74,24	0,79
960	959	2	1,024	-421,70	-234,45	482,49	278,90	74,05	0,76
964	976	1	-	581,73	158,72	602,99	323,61	37,50	2,46
965	964	1	0,933	-381,20	-28,32	382,25	220,88	57,14	0,25
965	964	2	0,933	-374,40	-27,92	375,44	216,94	56,12	0,25
976	995	1	-	-650,58	-232,35	690,83	378,46	40,93	10,79
995	904	1	1,000	-269,85	272,48	383,49	204,50	23,60	0,15
995	964	1	-	678,22	-160,21	696,88	371,62	31,94	6,48
995	1030	1	-	204,93	-105,77	230,62	122,98	10,57	0,27
995	1060	1	-	-1.274,68	177,27	1.286,95	686,27	62,10	25,46
1030	915	1	1,000	-300,00	110,53	319,71	170,15	25,50	0,00
1030	955	1	-	504,66	-87,86	512,25	272,62	23,48	1,03
1047	919	1	1,025	-698,82	-42,17	700,09	392,66	90,24	1,18
1060	897	1	-	-843,23	34,16	843,92	455,97	36,04	4,81
1060	925	1	1,024	-949,06	59,84	950,94	513,80	67,92	0,94
1210	976	1	0,965	-399,00	-140,32	422,95	244,40	64,08	0,50
1210	976	2	0,965	-428,71	-146,13	452,93	261,72	68,62	0,75
1210	976	3	0,965	-400,29	-138,55	423,59	244,77	64,17	0,60
2458	896	1	0,961	-301,51	-138,29	331,71	191,44	56,22	0,00

4) Sistema-Teste de 65 Barras

Tabela 9a – Relatório de Barras - Caso Base

Número	Barra			Tensão		Geração		Carga		Shunt de Barra	
	Nome	Tipo	Área	Módulo [pu]	Ângulo [°]	MW	Mvar	MW	Mvar	Atual [pu]	Espec. Mvar
18	ITUMBIAR-4GR	1	1	1,000	3,58	800,00	-332,50	0,0	0,00	0,00	0,0
20	MARIMBON-5GR	1	1	1,010	-1,27	900,00	-253,18	0,0	0,00	0,00	0,0
48	IBIUNA---3CS	1	1	1,000	-27,38	0,00	-618,80	0,0	0,00	0,00	0,0
100	MARIMBON-500	0	1	1,048	-7,44	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
101	ARARAQUA-500	0	1	1,069	-18,90	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
102	POCOS----500	0	1	1,069	-29,05	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
103	CAMPINAS-500	0	1	1,063	-28,51	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
104	C.PAULIS-500	0	1	1,054	-38,32	0,00	0,00	1.200,0	150,00	0,00	0,0
120	P.CALDAS-345	0	1	1,061	-30,32	0,00	0,00	105,0	33,00	0,00	0,0
122	IBIUNA---500	0	1	1,059	-27,38	0,00	0,00	200,0	38,00	0,00	0,0
123	CAMPINAS-345	0	1	1,020	-34,15	0,00	0,00	440,0	160,00	0,00	0,0

Tabela 9a – Relatório de Barras - Caso Base

Número	Barra			Tensão		Geração		Carga		Shunt de Barra	
	Nome	Tipo	Área	Módulo [pu]	Ângulo [°]	MW	Mvar	MW	Mvar	Atual [pu]	Espec. Mvar
210	ITUMBIARA500	0	1	1,036	-0,85	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
213	MARIMBON-345	0	1	1,042	-8,37	0,00	0,00	75,0	25,00	0,00	0,0
217	ITUMBIARA345	0	1	1,032	-2,94	0,00	0,00	454,0	48,00	0,00	0,0
233	SAMAMBAI-500	0	1	1,009	-8,61	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
234	SAMAMBAI-345	0	1	0,992	-11,33	0,00	0,00	900,0	300,00	0,00	0,0
300	EMBORCAC-3GR	1	1	1,000	8,37	700,00	-217,21	0,0	0,00	0,00	0,0
301	JAGUARA--3GR	1	1	1,020	8,34	250,00	-85,28	0,00	0,00	0,00	0,0
302	N.PONTE--3GR	1	1	1,010	8,34	350,00	-145,58	0,0	0,00	0,00	0,0
303	S.SIMAO--3GR	1	1	1,010	1,34	200,00	-247,33	0,0	0,00	0,00	0,0
320	EMBORCAC-500	0	1	1,034	3,10	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
325	JAGUARA--500	0	1	1,053	3,65	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
326	JAGUARA--345	0	1	1,045	2,45	0,00	0,00	214,0	74,00	0,00	0,0
360	NPONTE---500	0	1	1,040	4,64	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
370	SSIMAO---500	0	1	1,045	-0,19	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
500	A.VERMEL-4GR	1	1	1,020	2,17	800,00	-60,43	0,0	0,00	0,00	0,0
535	AVERMELHA500	0	1	1,029	-2,31	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
536	AVERMELH-440	0	1	1,003	-7,84	0,00	0,00	700,0	150,00	0,00	0,0
800	GBMUNHOZ-3GR	2	2	1,030	0,00	1.049,06	4,58	0,0	0,00	0,00	0,0
808	SCAXIAS--4GR	1	2	1,030	13,80	1.150,00	46,12	0,0	0,00	0,00	0,0
810	SSEGREDO-4GR	1	2	1,030	6,57	1.200,00	-157,73	0,0	0,00	0,00	0,0
814	BATEIAS--230	0	2	1,000	-24,78	0,00	0,00	735,4	191,00	0,00	0,0
824	GBMUNHOZ-500	0	2	1,061	-6,32	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
834	S.MATEUS-230	0	2	0,995	-16,94	0,00	0,00	13,4	4,20	0,00	0,0
839	CASCADEL-230	0	2	0,999	4,23	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
840	CASCADEL-138	0	2	0,986	1,24	0,00	0,00	159,0	36,00	0,00	0,0
848	FCHOPIIM--138	0	2	1,015	5,08	0,00	0,00	94,0	18,00	0,00	0,0
856	SEGREDO--500	0	2	1,053	-0,10	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
895	BATEIAS--500	0	2	1,065	-22,62	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
896	CASCADELO500	0	2	1,049	6,23	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
897	SCAXIAS--500	0	2	1,057	7,46	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
898	FCHOPIIM--230	0	2	1,028	8,37	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
904	ITA-----3GR	1	2	1,040	-3,17	700,00	-228,88	0,0	0,00	0,00	0,0
915	MACHADIN-2GR	1	2	1,030	-3,63	600,00	-203,97	0,0	0,00	0,00	0,0
919	SOSOR1A4-4GR	1	2	1,030	15,88	700,00	155,42	0,0	0,00	0,00	0,0
925	SSANTIAG-3GR	1	2	1,030	10,28	950,00	13,14	0,0	0,00	0,00	0,0
933	AREIA----500	0	2	1,061	-6,66	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
934	AREIA----230	0	2	0,997	-6,79	0,00	0,00	237,0	59,00	0,00	0,0
938	BLUMENAU-500	0	2	1,070	-25,06	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
939	BLUMENAU-230	0	2	1,009	-27,34	0,00	0,00	1.149,0	53,06	0,00	0,0
955	CNOVOS---500	0	2	1,086	-12,67	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
959	CURITIBA-500	0	2	1,057	-22,54	0,00	0,00	0,0	0,00	111,77	100,0
960	CURITIBA-230	0	2	1,002	-24,98	0,00	0,00	844,7	469,10	0,00	0,0
964	CAXIAS---500	0	2	1,073	-19,59	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
965	CAXIAS--230	0	2	0,998	-21,90	0,00	0,00	755,6	56,24	0,00	0,0
976	GRAVATAI-500	0	2	1,050	-22,09	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
995	ITA-----500	0	2	1,078	-8,70	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
1015	JOINVILLE230	0	2	1,008	-27,22	0,00	0,00	70,0	2,00	0,00	0,0
1030	MACHADIN-500	0	2	1,078	-10,04	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
1047	SOSORIO--230	0	2	1,035	9,31	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
1060	SSANTIAG-500	0	2	1,061	2,53	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
1210	GRAVATAI-230	0	2	0,998	-24,65	0,00	0,00	1.228,0	425,00	0,00	0,0
1503	ITAJUBA--500	0	1	1,059	-35,85	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
1504	ITAJUBA--138	0	1	1,036	-38,84	0,00	0,00	110,0	43,00	0,00	0,0
2458	CASCADEL-230	0	2	0,998	4,02	0,00	0,00	403,0	126,00	0,00	0,0

Tabela 9b – Relatório de Linhas - Caso Base

DA Barra	PARA Barra	Circuito	Tap	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
Número	Número	Número	pu	MW	Mvar	MVA	kA	Percentual	MW
100	20	1	1,000	-900,00	361,49	969,88	534,44	63,81	0,00
100	101	1	-	815,06	-177,67	834,20	459,67	50,10	10,45
100	101	2	-	821,09	-177,47	840,05	462,90	50,45	10,54
100	210	1	-	-417,65	-44,84	420,05	231,46	26,50	3,49
100	213	1	1,000	75,00	26,36	79,50	43,81	14,20	0,00
100	535	1	-	-393,50	12,12	393,68	216,93	26,50	2,37
101	102	1	-	819,00	-96,94	824,72	445,48	49,53	9,17

Tabela 9b – Relatório de Linhas - Caso Base

DA Barra	PARA Barra	Circuito	Tap	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
Número	Número	Número	pu	MW	Mvar	MVA	kA	Percentual	MW
101	103	1	-	796,16	-72,84	799,49	431,85	48,02	8,46
102	120	1	1,000	105,00	35,59	110,87	59,91	19,80	0,00
102	1503	1	-	704,83	-38,95	705,91	381,43	42,40	4,81
103	123	1	1,000	440,00	210,99	487,97	265,07	87,14	0,00
104	103	1	-	-611,54	-87,36	617,75	338,55	37,65	6,67
104	1503	1	-	-588,46	-62,64	591,78	324,32	35,54	1,56
122	48	1	1,000	0,00	655,30	655,30	357,27	62,41	0,00
122	103	1	-	135,43	-109,23	173,99	94,86	10,45	0,18
122	103	2	-	135,43	-109,23	173,99	94,86	10,45	0,18
210	18	1	1,000	-800,00	407,55	897,83	500,18	37,41	0,00
210	217	1	1,000	227,00	32,42	229,30	127,75	40,95	0,00
210	217	2	1,000	227,00	32,42	229,30	127,75	40,95	0,00
210	370	1	-	-56,06	-139,95	150,76	83,99	9,05	0,06
233	210	1	-	-355,16	-201,75	408,46	233,79	15,72	3,48
233	320	1	-	-544,84	-146,46	564,18	322,92	21,72	7,90
234	233	1	1,000	-425,93	-141,98	448,97	261,40	43,50	0,00
234	233	2	1,000	-474,06	-158,02	499,71	290,94	48,41	0,00
320	210	1	-	379,42	-104,84	393,64	219,83	20,21	1,69
320	300	1	1,000	-700,00	290,09	757,73	423,15	63,14	0,00
320	360	1	-	-232,15	-86,04	247,59	138,26	11,91	0,42
325	301	1	1,000	-250,00	108,82	272,66	149,51	54,53	0,00
325	326	1	1,000	107,00	39,54	114,07	62,55	28,52	0,00
325	326	2	1,000	107,00	39,54	114,07	62,55	28,52	0,00
325	360	1	-	-117,22	31,05	121,26	66,49	8,78	0,21
325	370	1	-	153,21	-218,94	267,22	146,53	12,60	0,60
360	302	1	1,000	-350,00	172,86	390,36	216,69	72,69	0,00
370	303	1	1,000	-200,21	261,33	329,20	181,90	18,92	0,00
370	535	1	-	296,70	43,11	299,82	165,66	15,07	0,84
535	500	1	1,000	-800,00	123,84	809,53	454,11	53,97	0,00
814	895	1	0,950	-370,83	-95,89	383,03	221,13	64,59	0,42
814	895	2	0,950	-364,57	-95,11	376,77	217,52	63,53	0,38
824	800	1	1,024	-1.049,06	111,60	1.054,98	574,26	62,95	0,00
824	933	1	-	528,67	-56,45	531,67	289,41	24,37	0,25
824	933	2	-	520,39	-55,15	523,31	284,85	23,98	0,24
834	934	1	-	-131,04	25,69	133,54	77,48	38,34	4,57
839	840	1	1,000	77,35	21,81	80,36	46,43	53,58	0,00
839	840	2	1,000	81,65	23,02	84,84	49,01	56,56	0,00
839	898	1	-	-109,09	-25,24	111,97	64,69	59,49	1,39
839	1047	1	-	-122,47	-27,88	125,60	72,56	67,16	1,89
839	2458	1	-	35,22	3,39	35,39	20,44	11,15	0,03
839	2458	2	-	37,33	4,91	37,65	21,75	10,65	0,02
856	810	1	1,000	-1.200,00	302,72	1.237,59	678,43	98,22	0,00
856	933	1	-	1.938,90	-208,24	1.950,05	1.068,98	85,85	17,75
856	1060	1	-	-738,90	-94,48	744,92	408,35	34,14	2,77
895	122	1	-	236,96	-244,67	340,61	184,65	26,22	1,53
895	122	2	-	236,96	-244,67	340,61	184,65	26,22	1,53
896	897	1	-	-330,50	-128,61	354,64	195,24	21,66	0,53
897	808	1	1,024	-1.150,00	81,23	1.152,87	630,01	85,78	0,00
898	848	1	1,000	94,00	23,66	96,93	54,46	64,62	0,00
898	1047	1	-	-204,47	-44,52	209,27	117,57	64,91	0,62
933	895	1	-	1.222,68	-118,77	1.228,43	668,62	58,22	26,63
933	955	1	-	576,99	-284,75	643,43	350,21	30,49	5,09
933	959	1	-	1.147,28	-101,52	1.151,76	626,89	52,78	23,53
934	933	1	0,948	-22,76	-79,45	82,65	47,88	12,41	0,02
934	1047	1	-	-174,81	21,98	176,19	102,08	57,86	9,76
934	1047	2	-	-175,04	22,04	176,42	102,22	57,93	9,77
938	955	1	-	-843,64	-96,00	849,08	457,97	42,75	16,15
938	959	1	-	-300,49	6,60	300,56	162,11	29,20	1,16
939	938	1	0,945	-395,78	-11,86	395,96	226,69	59,10	0,43
939	938	2	0,945	-391,36	-11,50	391,53	224,15	58,44	0,43
939	938	3	0,945	-356,13	-20,28	356,71	204,22	53,24	0,00
939	1015	1	-	-2,87	-4,66	5,47	3,13	2,42	0,00
939	1015	2	-	-2,86	-4,76	5,56	3,18	2,46	0,00
955	964	1	-	602,11	-120,28	614,01	326,52	36,37	5,81
959	895	1	-	14,24	-215,38	215,85	117,88	10,23	0,16
960	834	1	-	-114,46	26,77	117,55	67,73	38,05	3,18
960	959	1	0,973	-403,91	-226,62	463,14	266,86	70,78	0,65
960	959	2	0,973	-402,67	-226,41	461,96	266,18	70,60	0,62

Tabela 9b – Relatório de Linhas - Caso Base

DA Barra	PARA Barra	Circuito	Tap	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
Número	Número	Número	pu	MW	Mvar	MVA	kA	Percentual	MW
960	1015	1	-	38,05	-21,30	43,60	25,12	13,67	0,30
960	1015	2	-	38,30	-21,55	43,94	25,32	13,77	0,31
964	976	1	-	555,49	170,79	581,15	312,84	36,42	2,32
965	964	1	0,935	-381,20	-28,32	382,25	221,07	57,14	0,26
965	964	2	0,935	-374,40	-27,92	375,44	217,13	56,12	0,25
976	995	1	-	-676,70	-219,94	711,54	391,39	42,15	11,79
995	904	1	1,000	-699,38	306,02	763,40	408,85	46,98	0,62
995	964	1	-	722,71	-157,09	739,59	396,09	33,89	7,42
995	1030	1	-	293,93	-80,49	304,75	163,21	13,97	0,54
995	1060	1	-	-1.005,75	109,40	1.011,68	541,82	49,45	16,00
1030	915	1	1,000	-600,00	282,16	663,03	355,22	52,87	0,00
1030	955	1	-	893,39	-239,09	924,83	495,48	42,38	3,39
1047	919	1	1,025	-698,82	-72,93	702,62	392,13	91,00	1,18
1060	897	1	-	-814,38	62,15	816,75	444,29	35,00	4,59
1060	925	1	1,024	-949,04	115,76	956,07	520,08	68,19	0,96
1210	976	1	0,968	-399,00	-140,32	422,95	244,65	64,09	0,51
1210	976	2	0,968	-428,71	-146,13	452,93	261,99	68,63	0,75
1210	976	3	0,968	-400,29	-138,55	423,59	245,02	64,18	0,61
1503	1504	1	1,000	110,00	49,76	120,73	65,81	40,24	0,00
2458	896	1	0,965	-330,50	-114,08	349,63	202,25	59,11	0,00
536	535	1	1,000	-699,99	-150,00	715,88	412,00	97,93	0,00

Tabela 10a – Relatório de Barras - Caso Estudo de Colapso de Tensão

Número	Barra			Tensão		Geração		Carga		Shunt de Barra	
	Nome	Tipo	Área	Módulo [pu]	Ângulo [°]	MW	Mvar	MW	Mvar	Atual [pu]	Espec. Mvar
18	ITUMBIAR-3GR	2	1	1,049	31,40	544,77	-134,48	0,00	0,00	0,0	0,0
20	MARIMBON-5GR	1	1	1,049	31,24	1.000,00	-121,90	0,00	0,00	0,0	0,0
48	IBIUNA---1CS	1	1	1,040	11,28	0,00	91,76	0,00	0,00	0,0	0,0
100	MARIMBON-500	0	1	1,071	24,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
101	ARARAQUA-500	0	1	1,068	15,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
102	POCOS----500	0	1	1,044	4,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
103	CAMPINAS-500	0	1	1,026	8,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
104	C.PAULIS-500	0	1	1,025	-5,09	0,00	0,00	1.320,00	178,00	105,1	100,0
120	P.CALDAS-345	0	1	1,023	2,17	0,00	0,00	162,00	87,00	0,0	0,0
122	IBIUNA---500	0	1	1,015	11,28	0,00	0,00	700,00	300,00	0,0	0,0
123	CAMPINAS-345	0	1	0,975	1,37	0,00	0,00	484,00	179,20	0,0	0,0
210	ITUMBIARA500	0	1	1,068	27,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
213	MARIMBON-345	0	1	1,048	22,73	0,00	0,00	170,00	97,00	0,0	0,0
217	ITUMBIARA345	0	1	1,050	23,99	0,00	0,00	840,00	200,00	0,0	0,0
233	SAMAMBAI-500	0	1	1,038	20,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
234	SAMAMBAI-345	0	1	1,020	17,47	0,00	0,00	970,00	327,00	0,0	0,0
300	EMBORCAC-3GR	1	1	1,049	39,45	1.000,00	-91,32	0,00	0,00	0,0	0,0
301	JAGUARA-3GR	1	1	1,049	36,48	280,00	-17,45	0,00	0,00	0,0	0,0
302	N.PONTE--3GR	1	1	1,049	36,69	350,00	-84,59	0,00	0,00	0,0	0,0
303	S.SIMAO--3GR	1	1	1,049	36,92	700,00	-168,05	0,00	0,00	0,0	0,0
320	EMBORCAC-500	0	1	1,069	32,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
325	JAGUARA--500	0	1	1,059	31,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
326	JAGUARA--345	0	1	1,027	28,33	0,00	0,00	540,00	290,00	0,0	0,0
360	NPONTE---500	0	1	1,067	33,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
370	SSIMAO---500	0	1	1,076	31,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
500	A.VERMEL-4GR	1	1	1,049	34,05	800,00	-57,72	0,00	0,00	0,0	0,0
535	AVERMELHA500	0	1	1,058	29,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
536	AVERMELH-440	0	1	1,030	24,58	0,00	0,00	700,00	168,00	0,0	0,0
800	GBMUNHOZ-4GR	1	2	1,050	56,40	900,00	564,10	0,00	0,00	0,0	0,0
808	SCAXIAS--4GR	1	2	1,050	75,64	1.150,00	128,06	0,00	0,00	0,0	0,0
810	SSEGREDO-4GR	1	2	1,050	67,11	1.200,00	144,34	0,00	0,00	0,0	0,0
814	BATEIAS--230	0	2	1,001	25,60	0,00	0,00	735,40	191,00	0,0	0,0
824	GBMUNHOZ-500	0	2	1,032	52,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
834	S.MATEUS-230	0	2	0,987	38,36	0,00	0,00	13,40	4,20	0,0	0,0
839	CASCAVEL-230	0	2	1,005	65,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
840	CASCAVEL-138	0	2	0,992	62,78	0,00	0,00	159,00	36,00	0,0	0,0
848	FCHOPIM--138	0	2	1,028	65,62	0,00	0,00	94,00	18,00	0,0	0,0
856	SEGREDO--500	0	2	1,043	60,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
895	BATEIAS--500	0	2	0,970	28,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
896	CASCAVELO500	0	2	1,063	68,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0

Tabela 10a – Relatório de Barras - Caso Estudo de Colapso de Tensão

Número	Barra			Tensão		Geração		Carga		Shunt de Barra	
	Nome	Tipo	Área	Módulo [pu]	Ângulo [°]	MW	Mvar	MW	Mvar	Atual [pu]	Espec. Mvar
897	SCAXIAS--500	0	2	1,069	69,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
898	FCHOPIM--230	0	2	1,041	68,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
904	ITA-----3GR	1	2	1,050	65,35	1.200,00	45,31	0,00	0,00	0,0	0,0
915	MACHADIN-2GR	1	2	1,050	64,45	1.000,00	101,81	0,00	0,00	0,0	0,0
919	SOSOR1A4-4GR	1	2	1,050	75,97	700,00	195,75	0,00	0,00	0,0	0,0
925	SSANTIAG-3GR	1	2	1,050	75,36	1.300,00	210,24	0,00	0,00	0,0	0,0
933	AREIA----500	0	2	1,028	52,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
934	AREIA----230	0	2	1,001	51,85	0,00	0,00	237,00	59,00	0,0	0,0
938	BLUMENAU-500	0	2	0,977	29,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
939	BLUMENAU-230	0	2	1,002	26,80	0,00	0,00	1.149,00	53,06	0,0	0,0
955	CNOVOS--500	0	2	1,042	49,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
959	CURITIBA-500	0	2	0,962	29,94	0,00	0,00	0,00	0,00	92,6	100,0
960	CURITIBA-230	0	2	1,001	27,27	0,00	0,00	844,70	469,10	0,0	0,0
964	CAXIAS--500	0	2	1,027	42,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
965	CAXIAS--230	0	2	1,002	40,36	0,00	0,00	755,60	56,24	0,0	0,0
976	GRAVATAI-500	0	2	1,000	40,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
995	ITA-----500	0	2	1,057	55,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
1015	JOINVILLE230	0	2	1,004	26,15	0,00	0,00	70,00	2,00	0,0	0,0
1030	MACHADIN-500	0	2	1,049	53,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
1047	SOSORIO--230	0	2	1,049	69,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
1060	SSANTIAG-500	0	2	1,060	64,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
1210	GRAVATAI-230	0	2	1,002	37,31	0,00	0,00	1.270,00	460,00	0,0	0,0
1503	ITAJUBA--500	0	1	1,031	-2,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
1504	ITAJUBA--138	0	1	1,005	-6,12	0,00	0,00	121,00	48,16	0,0	0,0
2458	CASCAVEL-230	0	2	1,003	65,67	0,00	0,00	403,00	126,00	0,0	0,0

Tabela 10b – Relatório de Linhas - Caso Estudo de Colapso de Tensão

DA Barra Número	PARA Barra Número	Circuito Número	Tap pu	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
				MW	Mvar	MVA	kA	Percentual	MW
100	20	1	1,000	-1.000,00	238,47	1.028,04	554,46	67,63	0,00
100	101	1	-	713,87	-105,31	721,60	389,18	43,34	7,66
100	101	2	-	719,16	-104,49	726,71	391,94	43,65	7,73
100	210	1	-	-195,50	-119,11	228,93	123,47	14,69	0,71
100	213	1	1,000	170,00	105,22	199,93	107,83	35,70	0,00
100	535	1	-	-407,55	-14,79	407,81	219,95	26,86	2,36
101	102	1	-	853,73	7,19	853,76	461,74	51,28	10,19
101	103	1	-	563,87	67,36	567,88	307,12	36,00	4,69
102	120	1	1,000	161,99	94,76	187,67	103,75	33,51	0,00
102	1503	1	-	681,53	-15,81	681,71	376,87	40,94	4,74
103	123	1	1,000	483,98	247,04	543,38	305,75	97,03	0,00
104	103	1	-	-765,59	-4,22	765,60	431,17	47,01	11,27
104	1503	1	-	-554,33	-68,68	558,57	314,57	33,55	1,47
122	48	1	1,000	0,00	-89,54	89,54	50,94	8,74	0,00
122	103	1	-	352,17	-153,83	384,30	218,65	23,08	1,34
122	103	2	-	352,17	-153,83	384,30	218,65	23,08	1,34
210	18	1	1,000	-544,77	172,63	571,47	308,83	23,81	0,00
210	217	1	1,000	420,00	129,09	439,39	237,46	78,46	0,00
210	217	2	1,000	420,00	129,09	439,39	237,46	78,46	0,00
210	370	1	-	-364,91	-109,55	381,00	205,90	22,88	1,72
233	210	1	-	-362,43	-220,93	424,46	236,03	16,34	3,43
233	320	1	-	-607,57	-159,11	628,06	349,25	24,17	9,26
234	233	1	1,000	-459,06	-154,76	484,45	274,17	46,96	0,00
234	233	2	1,000	-510,94	-172,24	539,19	305,15	52,26	0,00
320	210	1	-	495,07	-94,90	504,09	272,34	25,88	2,68
320	300	1	1,000	-1.000,00	215,64	1.022,99	552,67	85,25	0,00
320	360	1	-	-111,91	-30,74	116,05	62,70	6,64	0,09
325	301	1	1,000	-280,00	42,56	283,22	154,41	56,64	0,00
325	326	1	1,000	270,00	164,24	316,03	172,29	79,01	0,00
325	326	2	1,000	270,00	164,24	316,03	172,29	79,01	0,00
325	360	1	-	-237,48	-100,62	257,92	140,61	11,46	0,51
325	370	1	-	-22,52	-270,42	271,35	147,94	12,31	0,04
360	302	1	1,000	-350,00	107,41	366,11	198,18	68,18	0,00
370	303	1	1,000	-700,00	234,45	738,22	396,21	42,43	0,00
370	535	1	-	310,81	61,65	316,86	170,07	16,16	0,91
535	500	1	1,000	-800,00	117,64	808,60	441,45	53,91	0,00

Tabela 10b – Relatório de Linhas - Caso Estudo de Colapso de Tensão

DA Barra Número	PARA Barra Número	Circuito Número	Tap pu	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
				MW	Mvar	MVA	kA	Percentual	MW
814	895	1	1,047	-370,81	-95,89	383,00	220,91	64,75	0,51
814	895	2	1,047	-364,54	-95,11	376,75	217,31	63,69	0,47
824	800	1	1,024	-899,99	-478,14	1.019,12	570,35	63,38	0,00
824	933	1	-	453,73	240,82	513,68	287,48	23,82	0,25
824	933	2	-	446,26	237,34	505,45	282,87	23,45	0,24
834	934	1	-	-173,69	32,94	176,79	103,47	50,75	8,05
839	840	1	1,000	77,35	21,76	80,35	46,15	53,57	0,00
839	840	2	1,000	81,65	22,97	84,82	48,72	56,55	0,00
839	898	1	-	-86,47	-41,64	95,98	55,13	50,78	0,98
839	1047	1	-	-99,12	-44,76	108,76	62,47	57,54	1,36
839	2458	1	-	13,26	19,97	23,97	13,77	7,99	0,01
839	2458	2	-	13,33	21,72	25,48	14,64	7,64	0,01
856	810	1	1,000	-1.199,99	-5,21	1.200,00	664,58	95,92	0,00
856	933	1	-	2.436,00	169,81	2.441,91	1.352,37	107,43	28,61
856	1060	1	-	-1.236,02	-164,60	1.246,93	690,57	57,53	7,94
895	122	1	-	719,20	-267,70	767,41	456,86	59,08	17,05
895	122	2	-	719,20	-267,70	767,41	456,86	59,08	17,05
896	897	1	-	-376,43	-97,51	388,86	211,23	23,75	0,64
897	808	1	1,024	-1.150,00	-4,19	1.150,00	621,33	86,09	0,00
898	848	1	1,000	94,00	23,51	96,90	53,75	64,60	0,00
898	1047	1	-	-181,45	-57,98	190,49	105,66	59,05	0,50
933	895	1	-	1.613,03	276,43	1.636,55	918,94	77,56	52,91
933	955	1	-	254,05	-214,10	332,24	186,55	15,75	1,09
933	959	1	-	1.413,04	238,52	1.433,03	804,66	65,68	41,05
934	933	1	0,985	-26,63	-98,63	102,17	58,91	15,38	0,03
934	1047	1	-	-195,93	26,13	197,67	113,97	65,28	12,14
934	1047	2	-	-196,18	26,20	197,92	114,12	65,36	12,15
938	955	1	-	-1.157,15	-86,40	1.160,37	685,56	58,93	36,04
938	959	1	-	-24,97	-0,61	24,98	14,76	14,52	0,12
939	938	1	1,028	-408,80	-6,49	408,85	235,69	61,04	0,55
939	938	2	1,028	-404,22	-6,19	404,27	233,05	60,36	0,55
939	938	3	1,028	-367,98	-15,77	368,32	212,33	54,99	0,00
939	1015	1	-	16,05	-12,24	20,19	11,64	6,60	0,04
939	1015	2	-	16,03	-12,37	20,25	11,67	6,62	0,04
955	964	1	-	503,26	-103,52	513,79	284,74	30,83	4,43
959	895	1	-	616,96	-246,01	664,20	398,49	31,48	2,33
960	834	1	-	-154,28	48,89	161,84	93,32	51,58	6,01
960	959	1	1,077	-364,83	-244,52	439,19	253,23	67,67	0,71
960	959	2	1,077	-363,67	-244,24	438,07	252,59	67,50	0,69
960	1015	1	-	19,01	-14,52	23,92	13,79	7,50	0,08
960	1015	2	-	19,13	-14,69	24,12	13,91	7,56	0,08
964	976	1	-	539,72	212,48	580,04	326,05	36,34	2,54
965	964	1	0,980	-381,19	-28,32	382,24	220,24	57,16	0,28
965	964	2	0,980	-374,38	-27,92	375,42	216,32	56,14	0,27
976	995	1	-	-735,01	-239,54	773,06	446,29	45,80	15,23
995	904	1	1,000	-1.198,38	155,90	1.208,48	660,29	74,37	1,61
995	964	1	-	806,94	-48,53	808,40	441,70	37,20	9,91
995	1030	1	-	453,95	2,51	453,96	248,04	21,34	1,38
995	1060	1	-	-812,79	-34,98	813,54	444,51	39,50	10,37
1030	915	1	1,000	-999,99	87,48	1.003,81	552,70	80,16	0,00
1030	955	1	-	1.452,55	22,09	1.452,72	799,86	66,58	9,04
1047	919	1	1,025	-698,84	-114,18	708,10	389,92	92,24	1,16
1060	897	1	-	-768,92	-65,55	771,71	420,25	32,62	4,00
1060	925	1	1,024	-1.298,21	28,06	1.298,52	707,13	93,93	1,78
1210	976	1	1,024	-412,59	-151,78	439,63	253,24	66,86	0,61
1210	976	2	1,024	-443,38	-158,26	470,78	271,19	71,59	0,90
1210	976	3	1,024	-413,97	-149,95	440,29	253,62	66,96	0,73
1503	1504	1	1,000	120,99	56,90	133,70	74,84	44,57	0,00
2458	896	1	0,953	-376,43	-80,51	384,95	221,68	64,81	0,00
536	535	1	1,000	-700,00	-168,00	719,88	403,53	98,55	0,00

5) Sistema-Teste de 107 Barras

Tabela 11a – Relatório de Barras - Caso Base

Número	Barra			Tensão		Geração		Carga		Shunt de Barra	
	Nome	Tipo	Área	Módulo [pu]	Ângulo [°]	MW	Mvar	MW	Mvar	Atual [pu]	Espec. Mvar
12	LCBARRET-4GR	1	1	1,000	-23,92	300,00	-202,60	0,0	0,00	0,00	0,0
16	FURNAS---5GR	1	1	1,000	-25,95	800,00	-133,89	0,0	0,00	0,00	0,0
18	ITUMBIAR-6GR	2	1	1,020	-23,77	995,76	-399,60	0,0	0,00	0,00	0,0
20	MARIMBON-5GR	1	1	1,010	-22,13	900,00	-321,02	0,0	0,00	0,00	0,0
21	MANSO----3GR	1	3	1,000	-62,09	140,00	-22,09	0,0	0,00	0,00	0,0
22	M.MOR.A--3GR	1	1	1,000	-19,62	150,00	-20,57	0,0	0,00	0,00	0,0
35	CORUMBA--2GR	1	1	1,000	-26,68	200,00	-49,63	0,0	0,00	0,00	0,0
48	IBIUNA---4CS	1	1	1,000	-42,49	0,00	-461,07	0,0	0,00	0,00	0,0
86	IBIUNA---345	0	1	1,033	-42,49	0,00	0,00	66,0	1,20	0,00	0,0
100	MARIMBON-500	0	1	1,056	-28,25	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
101	ARARAQUA-500	0	1	1,069	-36,05	0,00	0,00	0,0	0,00	-228,47	-200,0
102	POCOS----500	0	1	1,059	-42,72	0,00	0,00	0,0	0,00	-112,18	-100,0
103	CAMPINAS-500	0	1	1,072	-43,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
104	C.PAULIS-500	0	1	1,061	-51,47	0,00	0,00	910,0	235,00	0,00	0,0
106	ADRIANO--500	0	1	1,050	-52,35	0,00	0,00	0,0	0,00	-110,17	-100,0
120	P.CALDAS-345	0	1	1,041	-40,99	0,00	0,00	180,0	90,00	0,00	0,0
122	IBIUNA---500	0	1	1,067	-41,42	0,00	0,00	200,0	38,00	0,00	0,0
123	CAMPINAS-345	0	1	1,035	-45,78	0,00	0,00	450,0	175,00	0,00	0,0
126	GUARULHOS345	0	1	1,037	-43,23	0,00	0,00	290,0	95,00	0,00	0,0
131	M.MORAES-345	0	1	1,027	-27,04	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
134	LBARRETO-345	0	1	1,027	-26,16	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
136	FURNAS---345	0	1	1,028	-32,81	0,00	0,00	54,0	23,00	0,00	0,0
138	ITUTINGA-345	0	1	1,036	-43,87	0,00	0,00	72,0	34,00	0,00	0,0
140	ADRIANO--345	0	1	1,023	-53,46	0,00	0,00	700,0	250,00	0,00	0,0
210	ITUMBIARA500	0	1	1,048	-27,33	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
213	MARIMBON-345	0	1	1,050	-28,52	0,00	0,00	93,0	39,00	0,00	0,0
216	PCOLOMBIA345	0	1	1,049	-27,61	0,00	0,00	53,0	25,00	0,00	0,0
217	ITUMBIARA345	0	1	1,050	-32,03	0,00	0,00	364,0	58,00	0,00	0,0
218	BANDEIRA-345	0	1	1,025	-39,82	0,00	0,00	600,0	200,00	0,00	0,0
219	B.SUL---345	0	1	1,028	-38,69	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
220	CORUMBA--345	0	1	1,052	-31,71	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
225	ITUMBIARA230	0	1	1,008	-34,36	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
228	B.SUL----230	0	1	1,016	-40,38	0,00	0,00	86,0	34,00	0,00	0,0
231	R.VERDE-230	0	3	1,010	-49,08	0,00	0,00	89,7	31,90	0,00	0,0
233	SAMAMBAI-500	0	1	1,039	-35,97	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
234	SAMAMBAI-345	0	1	1,027	-38,78	0,00	0,00	1.000,0	350,00	0,00	0,0
300	EMBORCAC-3GR	1	1	1,020	-18,73	700,00	-183,59	0,0	0,00	0,00	0,0
301	JAGUARA--4GR	1	1	1,010	-19,17	300,00	-128,48	0,0	0,00	0,00	0,0
302	N.PONTE--3GR	1	1	1,020	-18,05	400,00	-124,94	0,0	0,00	0,00	0,0
303	S.SIMAO--4GR	1	1	1,020	-24,05	200,00	-279,14	0,0	0,00	0,00	0,0
305	V.GRANDE-4GR	1	1	1,000	-21,89	300,00	-60,37	0,0	0,00	0,00	0,0
320	EMBORCAC-500	0	1	1,049	-23,82	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
325	JAGUARA--500	0	1	1,046	-23,46	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
326	JAGUARA--345	0	1	1,033	-25,69	0,00	0,00	274,0	104,00	0,00	0,0
360	NPONTE---500	0	1	1,047	-22,21	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
370	SSIMAO---500	0	1	1,049	-25,18	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
396	VGRANDE--345	0	1	1,041	-25,62	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
500	A.VERMEL-4GR	1	1	1,020	-21,33	800,00	-118,07	0,0	0,00	0,00	0,0
535	AVERMELHA500	0	1	1,035	-25,78	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
536	AVERMELH-440	0	1	1,023	-28,58	0,00	0,00	700,0	150,00	0,00	0,0
800	GBMUNHOZ-2GR	1	2	1,020	-6,89	1.100,00	138,38	0,0	0,00	0,00	0,0
808	SCAXIAS--4GR	1	2	1,020	3,73	1.150,00	114,39	0,0	0,00	0,00	0,0
810	SSEGREDO-4GR	1	2	1,020	-3,80	1.200,00	-72,20	0,0	0,00	0,00	0,0
814	BATEIAS--230	0	2	0,996	-37,31	0,00	0,00	735,4	191,00	0,00	0,0
824	GBMUNHOZ-500	0	2	1,038	-17,18	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
834	S.MATEUS-230	0	2	0,991	-28,56	0,00	0,00	13,4	4,20	0,00	0,0
839	CASCAVEL-230	0	2	1,000	-6,17	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
840	CASCAVEL-138	0	2	0,986	-9,16	0,00	0,00	159,0	36,00	0,00	0,0
848	FCHOPIM--138	0	2	0,999	-5,29	0,00	0,00	94,0	18,00	0,00	0,0
856	SEGREDO--500	0	2	1,035	-10,66	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
895	BATEIAS--500	0	2	1,044	-35,07	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
896	CASCAVELO500	0	2	1,028	-4,05	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
897	SCAXIAS--500	0	2	1,040	-2,78	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0

Tabela 11a – Relatório de Barras - Caso Base

Barra				Tensão		Geração		Carga		Shunt de Barra	
Número	Nome	Tipo	Área	Módulo [pu]	Ângulo [°]	MW	Mvar	MW	Mvar	Atual [pu]	Espec. Mvar
898	FCHOPIM--230	0	2	1,012	-1,90	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
904	ITA-----4GR	1	2	1,020	-14,89	700,00	-236,40	0,0	0,00	0,00	0,0
915	MACHADIN-2GR	1	2	1,020	-12,75	700,00	-109,43	0,0	0,00	0,00	0,0
919	SOSOR1A4-4GR	1	2	1,000	5,98	700,00	89,06	0,0	0,00	0,00	0,0
925	SSANTIAG-3GR	1	2	1,020	0,11	950,00	73,05	0,0	0,00	0,00	0,0
933	AREIA----500	0	2	1,038	-17,55	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
934	AREIA----230	0	2	0,998	-17,72	0,00	0,00	237,0	59,00	0,00	0,0
938	BLUMENAU-500	0	2	1,043	-37,11	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
939	BLUMENAU-230	0	2	0,996	-39,52	0,00	0,00	1.149,0	53,06	0,00	0,0
955	CNOVOS---500	0	2	1,058	-23,47	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
959	CURITIBA-500	0	2	1,033	-34,77	0,00	0,00	0,0	0,00	106,76	100,0
960	CURITIBA-230	0	2	0,996	-37,29	0,00	0,00	844,7	469,10	0,00	0,0
964	CAXIAS---500	0	2	1,037	-30,79	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
965	CAXIAS---230	0	2	1,003	-33,26	0,00	0,00	755,6	56,24	0,00	0,0
976	GRAVATAI-500	0	2	1,012	-33,47	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
995	ITA-----500	0	2	1,050	-19,22	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
1015	JOINVILLE230	0	2	0,998	-39,47	0,00	0,00	70,0	2,00	0,00	0,0
1030	MACHADIN-500	0	2	1,052	-20,50	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
1047	SOSORIO--230	0	2	1,017	-0,92	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
1060	SSANTIAG-500	0	2	1,043	-7,85	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
1210	GRAVATAI-230	0	2	1,003	-36,22	0,00	0,00	1.228,0	425,00	0,00	0,0
1503	ITAJUBA--500	0	1	1,061	-49,28	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
1504	ITAJUBA--138	0	1	1,026	-53,25	0,00	0,00	145,0	63,00	0,00	0,0
2458	CASCABEL-230	0	2	1,001	-6,40	0,00	0,00	403,0	126,00	0,00	0,0
4501	B.PEIXE--230	0	3	1,026	-60,51	0,00	0,00	31,4	7,10	-47,36	-45,0
4521	ITIQUEIRA-230	0	3	1,034	-66,19	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
4522	RONDONOP-230	0	3	1,032	-68,28	0,00	0,00	0,0	0,00	-21,30	-20,0
4523	ITIQUEIR--2GR	1	3	1,010	-60,49	50,00	-9,08	0,0	0,00	0,00	0,0
4530	COXIPO-CE-12	0	3	1,020	-72,85	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
4532	COXIPO-230	0	3	1,041	-72,85	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
4533	COXIPO-138	0	3	1,015	-73,19	0,00	0,00	75,4	16,10	0,00	0,0
4542	NOBRES-230	0	3	1,025	-72,05	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
4552	N.MUTUM-230	0	3	1,007	-79,65	0,00	0,00	12,6	1,20	-20,28	-20,0
4562	SORRISO-230	0	3	1,012	-87,94	0,00	0,00	23,8	7,40	0,00	0,0
4572	LUCAS-RV230	0	3	1,009	-84,99	0,00	0,00	18,0	6,40	0,00	0,0
4582	SINOP-230	0	3	1,018	-90,77	0,00	0,00	65,5	16,70	31,09	30,0
4592	MANSO-230	0	3	1,018	-67,14	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
4596	CBA--GAS-2GR	1	3	1,000	-68,29	230,00	-28,66	0,0	0,00	0,00	0,0
4623	RONDONOP-138	0	3	1,018	-71,22	0,00	0,00	128,2	40,76	0,00	0,0
4703	GUIABA-138	0	3	1,003	-74,30	0,00	0,00	182,1	29,75	0,00	0,0
4804	GUAPORE--2GR	1	3	1,000	-74,63	50,00	-16,77	0,0	0,00	0,00	0,0
4805	GUAPORE--138	0	3	1,025	-78,36	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
4807	JAURU-138	0	3	1,025	-79,62	0,00	0,00	128,9	36,30	0,00	0,0
4862	JAURU-230	0	3	1,046	-77,91	0,00	0,00	0,0	0,00	-32,83	-30,0

Tabela 11b – Relatório de Linhas - Caso Base

DA Barra	PARA Barra	Circuito	Tap	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
Número	Número	Número	pu	MW	Mvar	MVA	kA	Percentual	MW
86	122	1	1,000	-107,51	-183,48	212,66	118,86	29,29	0,00
86	122	2	1,000	-107,51	-183,48	212,66	118,86	29,29	0,00
100	20	1	1,000	-900,00	434,15	999,24	546,22	65,74	0,00
100	101	1	-	560,58	-175,06	587,28	321,02	35,27	4,88
100	101	2	-	564,72	-174,79	591,15	323,14	35,50	4,92
100	210	1	-	-58,00	-108,40	122,94	67,20	10,50	0,08
100	213	1	1,000	21,73	28,18	35,59	19,45	6,36	0,00
100	535	1	-	-189,03	-4,08	189,07	103,35	16,93	0,65
101	102	1	-	536,72	-80,05	542,65	293,13	32,59	3,95
101	103	1	-	578,78	-131,99	593,64	320,67	35,65	4,46
102	120	1	1,000	-138,72	80,30	160,29	87,37	28,62	0,00
102	1503	1	-	671,48	-98,86	678,72	369,97	40,76	4,42
103	123	1	1,000	222,82	169,41	279,91	150,74	49,98	0,00
104	103	1	-	-538,15	-112,30	549,74	299,08	33,28	5,06
104	1503	1	-	-520,84	11,04	520,96	283,42	31,63	1,22
106	104	1	-	-74,39	-157,38	174,08	95,75	10,46	0,11

Tabela 11b – Relatório de Linhas - Caso Base

DA Barra	PARA Barra	Circuito	Tap	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
Número	Número	Número	pu	MW	Mvar	MVA	kA	Percentual	MW
106	104	2	-	-74,39	-157,60	174,28	95,86	10,47	0,11
106	140	1	1,000	71,00	97,74	120,80	66,45	21,57	0,00
106	140	2	1,000	77,78	107,08	132,35	72,80	23,63	0,00
86	48	1	1,000	0,00	476,27	476,27	266,20	45,36	0,00
122	103	1	-	192,07	-120,12	226,53	122,56	13,61	0,36
123	120	1	-	-227,18	-22,08	228,25	127,31	38,62	1,74
126	86	1	-	-74,41	1,48	74,42	41,43	6,05	0,06
126	86	2	-	-74,49	1,52	74,50	41,47	6,06	0,06
126	120	1	-	-70,96	-48,72	86,08	47,91	14,43	0,28
126	120	2	-	-70,14	-49,28	85,72	47,72	14,37	0,28
131	22	1	1,000	-150,00	40,82	155,45	87,41	41,13	0,00
134	12	1	0,999	-300,00	220,10	372,08	209,21	32,75	0,00
134	131	1	-	158,86	-21,68	160,34	90,15	22,36	0,22
134	396	1	-	-32,17	-69,17	76,28	42,89	10,91	0,08
136	16	1	1,000	-800,00	234,94	833,79	468,30	65,14	0,00
136	120	1	-	349,77	-77,56	358,26	201,22	59,91	5,12
136	120	2	-	349,77	-77,56	358,26	201,22	59,91	5,12
136	131	1	-	-305,49	22,41	306,31	172,04	43,55	3,16
136	134	1	-	-291,94	9,62	292,10	164,06	50,02	3,10
136	138	1	-	314,85	-67,50	322,01	180,86	44,23	6,10
136	138	2	-	329,04	-67,37	335,87	188,64	43,85	5,72
140	138	1	-	-268,61	-24,82	269,75	152,30	37,87	4,55
140	138	2	-	-282,61	-28,48	284,04	160,37	37,75	4,30
210	18	1	1,000	-995,76	473,37	1.102,55	607,32	45,94	0,00
210	217	1	1,000	524,47	9,08	524,55	288,94	93,85	0,00
210	217	2	1,000	524,47	9,08	524,55	288,94	93,85	0,00
210	370	1	-	-177,28	-97,96	202,54	111,57	12,60	0,42
213	216	1	-	-71,27	-11,08	72,13	39,66	13,12	0,10
216	396	1	-	-259,70	75,40	270,43	148,85	39,52	0,88
217	216	1	-	-134,39	-39,32	140,02	76,98	21,11	0,94
217	218	1	-	263,54	-11,13	263,78	145,02	34,74	3,27
217	218	2	-	263,54	-11,13	263,78	145,02	34,74	3,27
218	234	1	-	-39,73	-44,43	59,60	33,58	9,33	0,06
218	234	2	-	-39,73	-44,43	59,60	33,58	9,33	0,06
219	234	1	-	42,56	20,50	47,24	26,52	7,98	0,01
219	234	2	-	42,56	20,50	47,24	26,52	7,98	0,01
220	35	1	1,025	-200,00	68,73	211,48	116,07	50,71	0,00
220	217	1	-	26,86	-18,74	32,76	17,98	5,15	0,02
220	219	1	-	173,14	-49,99	180,21	98,91	24,55	2,01
225	217	1	0,955	-165,66	25,32	167,59	95,96	74,48	0,00
225	217	2	0,955	-153,43	23,45	155,21	88,87	27,72	0,00
225	231	1	-	128,68	-29,06	131,91	75,53	66,96	6,72
225	231	2	-	190,41	-19,71	191,43	109,61	97,17	4,53
228	219	1	1,000	-86,00	-34,00	92,48	52,56	41,61	0,00
231	4501	1	-	91,24	-37,39	98,60	56,36	50,05	3,81
231	4501	2	-	126,89	-37,16	132,22	75,57	67,12	2,36
233	210	1	-	-407,39	-155,66	436,11	242,29	17,14	4,34
233	320	1	-	-587,09	-106,91	596,75	331,54	23,58	8,77
234	233	1	1,000	-470,65	-99,84	481,12	270,44	46,36	0,00
234	233	2	1,000	-523,83	-111,12	535,49	301,00	51,60	0,00
320	210	1	-	347,08	-91,90	359,04	197,69	18,43	1,37
320	300	1	1,000	-700,00	251,88	743,94	409,62	61,99	0,00
320	360	1	-	-242,94	-17,76	243,59	134,12	12,39	0,45
325	301	1	1,000	-300,00	155,97	338,12	186,56	67,62	0,00
325	326	1	1,000	194,36	68,24	205,99	113,65	51,50	0,00
325	326	2	1,000	194,36	68,24	205,99	113,65	51,50	0,00
325	360	1	-	-156,38	-53,98	165,44	91,28	7,69	0,22
325	370	1	-	67,66	-238,47	247,88	136,77	11,24	0,12
326	134	1	-	121,88	68,43	139,78	78,11	16,94	0,13
326	396	1	-	-7,15	-52,70	53,18	29,72	8,54	0,02
360	302	1	1,000	-400,00	157,63	429,94	237,20	80,06	0,00
370	303	1	1,000	-200,00	291,12	353,20	194,37	20,30	0,00
370	535	1	-	89,85	40,48	98,55	54,23	8,32	0,16
396	305	1	1,025	-300,00	80,98	310,74	172,37	69,05	0,00
535	500	1	1,000	-800,00	182,50	820,55	457,73	54,70	0,00
536	535	2	1,000	-363,38	-77,87	371,63	209,75	50,13	0,00
814	895	1	0,965	-370,83	-95,89	383,03	222,11	64,62	0,44
814	895	2	0,965	-364,57	-95,11	376,77	218,48	63,56	0,40

Tabela 11b – Relatório de Linhas - Caso Base

DA Barra	PARA Barra	Circuito	Tap	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
Número	Número	Número	pu	MW	Mvar	MVA	kA	Percentual	MW
824	800	1	1,024	-1.100,00	60,09	1.101,64	612,83	66,15	0,00
824	933	1	-	554,36	-30,51	555,20	308,85	25,44	0,29
824	933	2	-	545,64	-29,58	546,44	303,98	25,04	0,28
834	934	1	-	-140,24	24,41	142,35	82,96	40,86	5,20
839	840	1	1,000	77,35	21,81	80,36	46,42	53,58	0,00
839	840	2	1,000	81,65	23,02	84,83	49,01	56,56	0,00
839	898	1	-	-107,15	-2,65	107,18	61,91	57,39	1,30
839	1047	1	-	-120,74	-4,75	120,83	69,80	64,83	1,78
839	2458	1	-	33,04	-18,72	37,97	21,94	11,90	0,03
839	2458	2	-	35,85	-18,71	40,44	23,36	11,36	0,03
856	810	1	1,000	-1.200,00	218,06	1.219,65	680,46	96,80	0,00
856	933	1	-	1.963,40	-124,58	1.967,35	1.097,62	86,55	18,75
856	1060	1	-	-763,40	-93,48	769,10	429,09	35,25	3,06
895	122	1	-	306,32	-309,56	435,50	240,80	33,53	2,78
895	122	2	-	306,32	-309,56	435,50	240,80	33,53	2,78
896	897	1	-	-334,17	-177,02	378,16	212,40	23,10	0,62
897	808	1	1,024	-1.150,00	16,55	1.150,12	638,81	85,99	0,00
898	848	1	1,000	94,00	23,84	96,98	55,33	64,65	0,00
898	1047	1	-	-202,45	-21,77	203,62	116,18	63,10	0,61
933	895	1	-	1.284,21	-98,83	1.288,00	716,67	61,04	30,73
933	955	1	-	543,29	-250,00	598,06	332,77	28,34	4,64
933	959	1	-	1.187,89	-73,88	1.190,18	662,24	54,55	26,43
934	933	1	0,975	-28,65	-113,03	116,60	67,44	17,58	0,04
934	1047	1	-	-176,78	36,44	180,50	104,39	58,75	10,31
934	1047	2	-	-177,01	36,52	180,74	104,53	58,82	10,32
938	955	1	-	-878,61	-65,91	881,08	487,92	44,43	18,55
938	959	1	-	-267,64	-18,96	268,31	148,59	25,55	0,93
939	938	1	0,959	-396,48	-9,38	396,59	229,80	59,19	0,45
939	938	2	0,959	-392,05	-9,05	392,15	227,23	58,53	0,46
939	938	3	0,959	-356,82	-18,07	357,28	207,02	53,33	0,00
939	1015	1	-	-1,83	-8,23	8,43	4,89	2,76	0,00
939	1015	2	-	-1,83	-8,33	8,53	4,94	2,79	0,00
955	964	1	-	602,07	-79,88	607,35	331,58	36,52	6,19
959	895	1	-	95,79	-293,04	308,30	172,27	14,61	0,38
960	834	1	-	-123,13	28,43	126,37	73,27	40,76	3,70
960	959	1	0,992	-398,50	-231,41	460,82	267,17	70,56	0,67
960	959	2	0,992	-397,28	-231,18	459,65	266,49	70,38	0,65
960	1015	1	-	36,98	-17,36	40,86	23,69	12,81	0,28
960	1015	2	-	37,23	-17,58	41,17	23,87	12,91	0,28
964	976	1	-	555,97	190,16	587,60	327,02	36,65	2,53
965	964	1	0,972	-381,20	-28,32	382,25	219,99	57,16	0,27
965	964	2	0,972	-374,40	-27,92	375,44	216,07	56,14	0,26
976	995	1	-	-676,57	-216,62	710,40	405,12	42,09	12,63
995	904	1	1,000	-700,00	296,93	760,37	418,20	46,79	0,00
995	964	1	-	724,14	-119,05	733,86	403,62	33,63	7,91
995	1030	1	-	265,11	-102,98	284,41	156,42	13,03	0,48
995	1060	1	-	-978,45	61,00	980,35	539,19	47,68	15,61
1030	915	1	1,000	-700,00	209,09	730,56	401,03	58,26	0,00
1030	955	1	-	964,63	-194,14	983,97	540,14	45,10	4,05
1047	919	1	1,025	-700,00	-4,30	700,01	397,47	89,55	0,00
1060	897	1	-	-810,52	56,35	812,48	449,56	34,76	4,69
1060	925	1	1,024	-950,00	59,14	951,84	526,68	67,96	0,00
1210	976	1	1,011	-399,00	-140,32	422,95	243,41	64,18	0,54
1210	976	2	1,011	-428,71	-146,13	452,93	260,66	68,73	0,81
1210	976	3	1,011	-400,29	-138,55	423,59	243,77	64,28	0,66
1503	1504	1	1,000	145,00	75,34	163,41	88,95	54,47	0,00
2458	896	1	0,994	-334,17	-159,83	370,43	213,72	63,03	0,00
4501	4522	1	-	67,29	-29,28	73,39	41,30	25,57	1,66
4501	4522	2	-	113,27	-44,41	121,67	68,47	50,91	2,02
4521	4523	1	1,000	-50,00	14,32	52,01	29,05	0,52	0,00
4522	4521	1	-	-49,64	0,93	49,64	27,78	26,01	0,36
4522	4532	1	-	45,60	-29,01	54,05	30,24	18,83	0,68
4522	4532	2	-	45,60	-29,01	54,05	30,24	18,83	0,68
4522	4623	1	1,000	67,66	20,24	70,62	39,51	70,62	0,00
4522	4623	2	1,000	67,66	20,24	70,62	39,51	70,62	0,00
4532	4530	1	1,000	0,00	15,26	15,26	8,46	0,15	0,00
4532	4533	1	1,000	7,33	32,08	32,90	18,25	32,90	0,00
4532	4533	2	1,000	7,33	32,08	32,90	18,25	32,90	0,00

Tabela 11b – Relatório de Linhas - Caso Base

DA Barra	PARA Barra	Circuito	Tap	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
Número	Número	Número	pu	MW	Mvar	MVA	kA	Percentual	MW
4532	4533	3	1,000	7,33	32,08	32,90	18,25	32,90	0,00
4532	4542	1	-	-12,23	8,62	14,96	8,30	20,76	0,08
4533	4596	1	1,000	-230,00	48,87	235,14	133,82	2,35	0,00
4542	4552	1	-	125,73	-5,34	125,84	70,86	83,89	2,76
4552	4572	1	-	110,37	-24,07	112,97	64,77	75,31	1,71
4562	4572	1	-	-89,87	17,29	91,52	52,22	62,43	0,79
4562	4582	1	-	66,07	-24,69	70,53	40,25	47,02	0,57
4592	21	1	1,000	-140,00	34,95	144,30	81,83	1,44	0,00
4592	4542	1	-	140,00	-34,95	144,30	81,83	60,37	1,97
4623	4533	1	-	7,12	-7,72	10,50	5,96	10,50	0,09
4703	4533	1	-	-91,05	-14,87	92,26	53,12	93,24	0,76
4703	4533	2	-	-91,05	-14,87	92,26	53,12	93,24	0,76
4805	4804	1	1,000	-50,00	20,48	54,03	30,45	39,15	0,00
4805	4807	1	-	25,00	-10,24	27,02	15,22	31,41	0,21
4805	4807	2	-	25,00	-10,24	27,02	15,22	31,41	0,21
4862	4532	1	-	-39,66	-44,93	59,93	33,08	12,62	0,39
4862	4532	2	-	-39,66	-44,93	59,93	33,08	12,62	0,39
4862	4807	1	1,000	79,32	57,03	97,69	53,92	32,56	0,00
536	535	1	1,000	-336,60	-72,13	344,24	194,29	49,76	0,00

Tabela 12a – Relatório de Barras - Sul exportando 1500 MW pelo Elo CC

Número	Barra			Tensão		Geração		Carga		Link DC		Shunt de Barra	
	Nome	Tipo	Área	Módulo [pu]	Ângulo [°]	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	Atual [pu]	Espec. Mvar
12	LCBARRET-2GR	1	1	1,000	-5,04	300,00	-159,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	FURNAS---5GR	1	1	1,000	-9,45	800,00	-39,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	ITUMBIAR-3GR	2	1	1,010	-1,50	464,13	-477,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	MARIMBON-5GR	1	1	1,010	-2,05	900,00	-206,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	MANSO---3GR	1	3	1,040	-41,55	130,00	-9,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	M.MOR.A--3GR	1	1	1,000	-1,23	150,00	-11,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
35	CORUMBA--2GR	1	1	1,000	-3,33	200,00	-40,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
48	IBIUNA---4CS	1	1	1,000	-32,14	0,00	-458,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
86	IBIUNA---345	0	1	1,033	-32,14	0,00	0,00	66,00	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00
100	MARIMBON-500	0	1	1,042	-8,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
101	ARARAQUA-500	0	1	1,042	-19,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-217,07	-200,00
102	POCOS---500	0	1	1,032	-27,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-106,41	-100,00
103	CAMPINAS-500	0	1	1,056	-30,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
104	C.PAULIS-500	0	1	1,034	-37,65	0,00	0,00	910,00	235,00	0,00	0,00	0,00	0,00
106	ADRIANO--500	0	1	1,021	-38,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-104,18	-100,00
120	P.CALDAS-345	0	1	1,022	-26,73	0,00	0,00	180,00	90,00	0,00	0,00	0,00	0,00
122	IBIUNA---500	0	1	1,074	-31,93	0,00	0,00	200,00	38,00	0,00	0,00	0,00	0,00
123	CAMPINAS-345	0	1	1,016	-32,56	0,00	0,00	450,00	175,00	0,00	0,00	0,00	0,00
126	GUARULHOS345	0	1	1,031	-32,01	0,00	0,00	290,00	95,00	0,00	0,00	0,00	0,00
131	M.MORAES-345	0	1	1,019	-8,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
134	LBARRETO-345	0	1	1,021	-7,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
136	FURNAS---345	0	1	1,014	-16,41	0,00	0,00	54,00	23,00	0,00	0,00	0,00	0,00
138	ITUTINGA-345	0	1	1,009	-28,51	0,00	0,00	72,00	34,00	0,00	0,00	0,00	0,00
140	ADRIANO--345	0	1	0,992	-39,27	0,00	0,00	700,00	250,00	0,00	0,00	0,00	0,00
210	ITUMBIARA500	0	1	1,042	-3,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
213	MARIMBON-345	0	1	1,040	-8,31	0,00	0,00	93,00	39,00	0,00	0,00	0,00	0,00
216	PCOLOMBIA345	0	1	1,043	-7,18	0,00	0,00	53,00	25,00	0,00	0,00	0,00	0,00
217	ITUMBIARA345	0	1	1,045	-8,55	0,00	0,00	364,00	58,00	0,00	0,00	0,00	0,00
218	BANDEIRA-345	0	1	1,019	-16,76	0,00	0,00	600,00	200,00	0,00	0,00	0,00	0,00
219	B.SUL---345	0	1	1,024	-15,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
220	CORUMBA--345	0	1	1,048	-8,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
225	ITUMBIARA230	0	1	1,003	-10,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
228	B.SUL---230	0	1	1,011	-17,62	0,00	0,00	86,00	34,00	0,00	0,00	0,00	0,00
231	R.VERDE-230	0	3	1,008	-26,15	0,00	0,00	89,70	31,90	0,00	0,00	0,00	0,00
233	SAMAMBAL-500	0	1	1,035	-13,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
234	SAMAMBAL-345	0	1	1,023	-16,02	0,00	0,00	1.000,00	350,00	0,00	0,00	0,00	0,00
300	EMBORCAC-2GR	1	1	1,020	-0,96	296,00	-200,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
301	JAGUARA-3GR	1	1	1,010	1,07	300,00	-115,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
302	N.PONTE--3GR	1	1	1,020	2,45	400,00	-116,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
303	S.SIMAO--2GR	1	1	1,020	-1,02	285,00	-246,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
305	V.GRANDE-4GR	1	1	1,000	-2,02	300,00	-42,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
320	EMBORCAC-500	0	1	1,047	-3,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
325	JAGUARA-500	0	1	1,043	-3,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
326	JAGUARA--345	0	1	1,029	-6,19	0,00	0,00	274,00	104,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 12a – Relatório de Barras - Sul exportando 1500 MW pelo Elo CC

Número	Barra			Tensão		Geração		Carga		Link DC		Shunt de Barra	
	Nome	Tipo	Área	Módulo [pu]	Ângulo [°]	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	Atual [pu]	Espec. Mvar
360	NPONTE---500	0	1	1,045	-1,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
370	SSIMAO---500	0	1	1,046	-2,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
396	VGRANDE--345	0	1	1,037	-5,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
500	A.VERMEL-4GR	1	1	1,020	0,32	800,00	-56,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
535	AVERMELHA500	0	1	1,029	-4,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
536	AVERMELH-440	0	1	1,003	-9,69	0,00	0,00	700,00	150,00	0,00	0,00	0,00	0,00
800	GBMUNHOZ-3GR	1	2	1,020	-7,50	1.175,00	11,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
808	SCAXIAS--4GR	1	2	1,020	-1,56	1.150,00	126,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
810	SSEGREDO-4GR	1	2	1,020	-7,37	1.200,00	-183,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
814	BATEIAS--230	0	2	1,015	-33,73	0,00	0,00	735,40	191,00	0,00	0,00	0,00	0,00
824	GBMUNHOZ-500	0	2	1,061	-18,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
834	S.MATEUS-230	0	2	0,999	-27,58	0,00	0,00	13,40	4,20	0,00	0,00	0,00	0,00
839	CASCAVEL-230	0	2	0,998	-10,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
840	CASCAVEL-138	0	2	0,985	-13,14	0,00	0,00	159,00	36,00	0,00	0,00	0,00	0,00
848	FCHOPIV--138	0	2	0,998	-7,35	0,00	0,00	94,00	18,00	0,00	0,00	0,00	0,00
856	SEGREDO--500	0	2	1,046	-14,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
895	BATEIAS--500	0	2	1,081	-31,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
896	CASCAVELO500	0	2	1,026	-8,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
897	SCAXIAS--500	0	2	1,038	-8,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
898	FCHOPIV--230	0	2	1,011	-3,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
904	ITA-----4GR	1	2	1,020	-12,33	1.160,00	-295,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
915	MACHADIN-2GR	1	2	1,020	-12,98	700,00	-184,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
919	SOSOR1A4-4GR	1	2	1,000	4,98	780,00	102,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
925	SSANTIAG-4GR	1	2	1,020	-3,65	1.201,00	115,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
933	AREIA----500	0	2	1,062	-18,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
934	AREIA----230	0	2	1,000	-18,73	0,00	0,00	237,00	59,00	0,00	0,00	0,00	0,00
938	BLUMENAU-500	0	2	1,078	-34,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
939	BLUMENAU-230	0	2	1,015	-37,21	0,00	0,00	1.149,00	53,06	0,00	0,00	0,00	0,00
955	CNOVOS---500	0	2	1,079	-23,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
959	CURITIBA-500	0	2	1,072	-32,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	114,82	100,00
960	CURITIBA-230	0	2	1,000	-34,50	0,00	0,00	844,70	469,10	0,00	0,00	0,00	0,00
964	CAXIAS---500	0	2	1,057	-30,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
965	CAXIAS---230	0	2	1,001	-32,97	0,00	0,00	755,60	56,24	0,00	0,00	0,00	0,00
976	GRAVATAI-500	0	2	1,033	-33,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
995	ITA-----500	0	2	1,062	-19,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1015	JOINVILLE230	0	2	1,011	-36,96	0,00	0,00	70,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1030	MACHADIN-500	0	2	1,067	-20,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1047	SOSORIO--230	0	2	1,016	-2,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1060	SSANTIAG-500	0	2	1,043	-13,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1210	GRAVATAI-230	0	2	1,001	-35,83	0,00	0,00	1.228,00	425,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1503	ITAJUBA--500	0	1	1,032	-35,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1504	ITAJUBA--138	0	1	0,997	-39,34	0,00	0,00	145,00	63,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2458	CASCAVEL-230	0	2	1,000	-10,68	0,00	0,00	403,00	126,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4501	B.PEIXE--230	0	3	1,032	-37,95	0,00	0,00	31,40	7,10	0,00	0,00	-47,93	-45,00
4521	ITIQUEIRA-230	0	3	1,041	-43,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4522	RONDONOP-230	0	3	1,046	-45,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4523	ITIQUEIR--2GR	1	3	1,000	-38,06	50,00	-17,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4530	COXIPO-CE-12	0	3	1,040	-50,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4532	COXIPO---230	0	3	1,053	-50,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4533	COXIPO---138	0	3	1,022	-50,88	0,00	0,00	75,40	16,10	0,00	0,00	0,00	0,00
4542	NOBRES---230	0	3	1,047	-50,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4552	N.MUTUM--230	0	3	1,020	-57,24	0,00	0,00	12,60	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00
4562	SORRISO--230	0	3	0,982	-64,99	0,00	0,00	23,80	7,40	0,00	0,00	0,00	0,00
4572	LUCAS-RV-230	0	3	0,996	-62,19	0,00	0,00	18,00	6,40	0,00	0,00	0,00	0,00
4582	SINOP----230	0	3	0,965	-67,70	0,00	0,00	62,40	15,90	0,00	0,00	0,00	0,00
4592	MANSO----230	0	3	1,049	-45,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4596	CBA--GAS-2GR	1	3	1,000	-46,02	230,00	-47,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4623	RONDONOP-138	0	3	1,031	-48,78	0,00	0,00	128,20	40,76	0,00	0,00	0,00	0,00
4703	CUIABA---138	0	3	1,010	-51,98	0,00	0,00	182,10	29,75	0,00	0,00	0,00	0,00
4804	GUAPORE--2GR	1	3	1,000	-52,21	50,00	-20,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4805	GUAPORE--138	0	3	1,030	-55,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4807	JAURU----138	0	3	1,031	-57,20	0,00	0,00	128,90	36,30	0,00	0,00	0,00	0,00
4862	JAURU----230	0	3	1,055	-55,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-33,36	-30,00
9048	AC_INVER-4CS	1	9	1,026	-3,18	0,00	-31,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9049	AC_RETIF-4CS	1	9	1,031	-13,75	0,00	14,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9085	AC_RETIF-500	0	9	1,043	-13,75	0,00	0,00	0,00	0,00	-1.467,28	449,30	832,20	765,00
9086	AC_INVER-500	0	9	1,042	-3,18	0,00	0,00	0,00	0,00	1.500,00	1.021,94	466,88	430,00

Tabela 12b – Relatório de Linhas - Sul exportando 1500 MW pelo Elo CC

DA Barra	PARA Barra	Circuito	Tap	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
				Número	Número	Número	pu	MW	
86	48	1	1,000	0,00	473,26	473,26	264,57	45,07	0,00
86	122	1	1,000	-20,35	-220,46	221,40	123,77	30,69	0,00
86	122	2	1,000	-20,35	-220,46	221,40	123,77	30,69	0,00
100	20	1	1,000	-900,00	311,86	952,50	527,80	62,66	0,00
100	101	1	-	763,99	-99,95	770,50	426,95	46,28	9,26
100	101	2	-	769,64	-99,19	776,01	430,01	46,61	9,34
100	210	1	-	-324,24	-100,94	339,59	188,18	20,65	2,05
100	213	1	1,000	4,10	10,70	11,46	6,35	2,05	0,00
100	535	1	-	-313,49	-22,48	314,29	174,16	21,57	1,49
101	102	1	-	646,83	-63,04	649,90	360,17	39,03	6,05
101	103	1	-	868,20	-146,01	880,39	487,90	52,88	10,57
102	120	1	1,000	-77,04	43,83	88,64	49,61	15,83	0,00
102	1503	1	-	717,82	-84,61	722,79	404,55	43,41	5,33
103	123	1	1,000	185,26	179,26	257,79	140,88	46,03	0,00
104	103	1	-	-460,01	-157,60	486,25	271,53	29,20	3,88
104	1503	1	-	-565,97	31,77	566,86	316,54	34,43	1,52
106	104	1	-	-57,90	-158,06	168,33	95,21	10,11	0,09
106	104	2	-	-57,90	-158,26	168,52	95,32	10,12	0,09
106	140	1	1,000	55,26	101,23	115,33	65,24	20,59	0,00
106	140	2	1,000	60,54	110,91	126,35	71,47	22,56	0,00
122	103	1	-	-207,92	51,97	214,32	115,26	17,28	0,55
123	120	1	-	-264,74	-10,15	264,93	150,51	45,00	2,46
126	86	1	-	12,65	-37,68	39,74	22,26	2,59	0,00
126	86	2	-	12,66	-37,69	39,76	22,26	2,60	0,00
126	120	1	-	-158,57	-9,30	158,84	88,95	29,45	1,51
126	120	2	-	-156,74	-10,33	157,08	87,96	29,19	1,49
131	22	1	1,000	-150,00	31,48	153,27	86,86	40,55	0,00
134	12	1	0,999	-300,00	175,25	347,44	196,45	30,58	0,00
134	131	1	-	255,59	-5,67	255,66	144,55	35,66	0,58
134	396	1	-	-83,85	-67,60	107,70	60,90	15,41	0,26
136	16	1	1,000	-800,00	138,48	811,90	462,46	63,43	0,00
136	120	1	-	429,11	-57,31	432,92	246,59	72,39	7,84
136	120	2	-	429,11	-57,31	432,92	246,59	72,39	7,84
136	131	1	-	-399,52	25,42	400,32	228,02	56,60	5,50
136	134	1	-	-393,02	13,12	393,24	223,99	66,79	5,73
136	138	1	-	332,79	-43,41	335,61	191,16	46,10	7,00
136	138	2	-	347,54	-42,00	350,06	199,40	45,70	6,57
140	138	1	-	-284,68	-21,01	285,46	166,17	40,02	5,43
140	138	2	-	-299,52	-24,67	300,53	174,94	39,90	5,13
210	18	1	1,000	-464,13	507,00	687,37	380,85	28,64	0,00
210	217	1	1,000	591,96	12,09	592,09	328,06	98,93	0,00
210	217	2	1,000	591,96	12,09	592,09	328,06	98,93	0,00
210	370	1	-	-45,79	-121,25	129,61	71,81	7,78	0,03
213	216	1	-	-88,90	-28,33	93,30	51,82	15,60	0,16
216	396	1	-	-183,41	52,88	190,88	105,66	28,33	0,45
217	216	1	-	-41,26	-51,43	65,93	36,44	10,61	0,09
217	218	1	-	274,81	-9,94	274,99	151,99	36,06	3,59
217	218	2	-	274,81	-9,94	274,99	151,99	36,06	3,59
218	234	1	-	-28,78	-47,90	55,88	31,66	8,74	0,04
218	234	2	-	-28,78	-47,90	55,88	31,66	8,74	0,04
219	234	1	-	48,34	18,97	51,93	29,28	8,63	0,01
219	234	2	-	48,34	18,97	51,93	29,28	8,63	0,01
220	35	1	1,025	-200,00	59,50	208,66	114,97	50,04	0,00
220	217	1	-	15,01	-10,86	18,52	10,21	5,14	0,01
220	219	1	-	184,99	-48,64	191,28	105,39	25,78	2,31
225	217	1	0,955	-169,54	26,57	171,61	98,76	76,27	0,00
225	217	2	0,955	-157,02	24,60	158,93	91,46	28,38	0,00
225	231	1	-	131,61	-30,22	135,03	77,71	68,55	7,11
225	231	2	-	194,94	-20,95	196,06	112,83	99,52	4,80
228	219	1	1,000	-86,00	-34,00	92,48	52,79	41,61	0,00
231	4501	1	-	93,89	-40,82	102,38	58,62	51,97	4,09
231	4501	2	-	131,05	-41,43	137,44	78,69	69,77	2,54
233	210	1	-	-469,78	-132,79	488,19	272,22	19,41	5,85
233	320	1	-	-491,18	-138,35	510,30	284,55	19,96	6,13
234	233	1	1,000	-454,79	-105,14	466,78	263,49	45,00	0,00
234	233	2	1,000	-506,18	-117,02	519,53	293,27	50,09	0,00

Tabela 12b – Relatório de Linhas - Sul exportando 1500 MW pelo Elo CC

DA Barra	PARA Barra	Circuito	Tap	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
Número	Número	Número	pu	MW	Mvar	MVA	kA	Percentual	MW
320	210	1	-	8,66	-53,46	54,16	29,85	5,67	0,01
320	300	1	1,000	-296,00	217,33	367,22	202,41	30,60	0,00
320	360	1	-	-209,97	-16,95	210,66	116,12	10,94	0,34
325	301	1	1,000	-300,00	142,33	332,05	183,79	66,41	0,00
325	326	1	1,000	256,51	76,61	267,71	148,18	66,93	0,00
325	326	2	1,000	256,51	76,61	267,71	148,18	66,93	0,00
325	360	1	-	-189,36	-62,68	199,46	110,40	8,88	0,33
325	370	1	-	-23,67	-232,86	234,06	129,55	10,61	0,02
326	134	1	-	271,02	72,40	280,52	157,46	32,79	0,53
326	396	1	-	-32,00	-51,64	60,75	34,10	9,75	0,04
360	302	1	1,000	-400,00	148,93	426,82	235,84	79,48	0,00
370	303	1	1,000	-285,00	260,46	386,09	213,12	22,19	0,00
370	535	1	-	215,50	56,61	222,81	122,99	12,43	0,51
396	305	1	1,025	-300,00	62,33	306,41	170,64	68,09	0,00
535	500	1	1,000	-800,00	120,08	808,96	453,96	53,93	0,00
536	535	2	1,000	-700,00	-150,00	715,89	412,16	97,93	0,00
814	895	1	0,950	-370,75	-95,86	382,94	217,80	64,55	0,41
814	895	2	0,950	-364,48	-95,09	376,68	214,24	63,49	0,37
824	800	1	1,024	-1.175,00	210,97	1.193,79	649,53	71,23	0,00
824	933	1	-	592,11	-106,56	601,62	327,34	27,57	0,32
824	933	2	-	582,89	-104,40	592,17	322,19	27,14	0,31
834	934	1	-	-115,51	19,96	117,22	67,76	33,79	3,50
839	840	1	1,000	77,35	21,82	80,37	46,48	53,58	0,00
839	840	2	1,000	81,65	23,03	84,84	49,06	56,56	0,00
839	898	1	-	-153,53	9,24	153,81	88,95	82,71	2,70
839	1047	1	-	-168,38	7,63	168,55	97,47	90,94	3,50
839	2458	1	-	78,35	-31,31	84,38	48,79	26,45	0,16
839	2458	2	-	84,56	-30,40	89,86	51,96	25,24	0,14
856	810	1	1,000	-1.200,00	332,73	1.245,28	687,17	98,83	0,00
856	933	1	-	1.306,59	-343,41	1.350,96	745,49	59,44	8,54
856	1060	1	-	-106,59	10,68	107,12	59,11	6,81	0,08
895	122	1	-	16,40	-241,68	242,23	129,41	21,15	0,02
895	122	2	-	16,40	-241,68	242,23	129,41	21,15	0,02
896	897	1	-	-240,38	-197,06	310,83	174,95	18,99	0,39
897	808	1	1,024	-1.150,00	4,25	1.150,01	639,54	86,09	0,00
898	848	1	1,000	94,00	23,85	96,98	55,39	64,65	0,00
898	1047	1	-	-250,23	-18,58	250,92	143,32	77,83	0,92
933	895	1	-	1.008,93	-218,88	1.032,40	561,40	48,93	18,09
933	955	1	-	462,71	-245,67	523,88	284,88	24,83	3,23
933	959	1	-	982,94	-185,56	1.000,30	543,94	45,84	17,14
934	933	1	0,953	-17,81	-103,23	104,76	60,48	15,77	0,03
934	1047	1	-	-168,99	33,84	172,35	99,50	56,06	9,38
934	1047	2	-	-169,21	33,91	172,57	99,64	56,13	9,39
938	955	1	-	-780,51	-65,00	783,21	419,61	40,16	13,87
938	959	1	-	-357,91	-34,96	359,61	192,66	31,49	1,47
939	938	1	0,945	-393,87	-15,87	394,19	224,24	58,86	0,42
939	938	2	0,945	-389,47	-15,47	389,78	221,73	58,20	0,42
939	938	3	0,945	-354,32	-23,85	355,12	202,01	53,03	0,00
939	1015	1	-	-5,55	1,13	5,66	3,22	4,52	0,01
939	1015	2	-	-5,53	1,02	5,63	3,20	4,56	0,01
955	964	1	-	610,02	-79,59	615,19	329,27	37,19	6,13
959	895	1	-	-221,62	-224,24	315,28	169,88	14,94	0,38
960	834	1	-	-99,75	16,73	101,15	58,40	32,89	2,36
960	959	1	0,957	-414,02	-216,08	467,01	269,63	71,24	0,64
960	959	2	0,957	-412,76	-215,91	465,82	268,94	71,06	0,62
960	1015	1	-	40,79	-26,75	48,78	28,16	15,29	0,38
960	1015	2	-	41,05	-27,04	49,16	28,38	15,41	0,38
964	976	1	-	559,27	188,59	590,21	322,32	36,93	2,47
965	964	1	0,951	-381,20	-28,32	382,25	220,55	57,15	0,26
965	964	2	0,951	-374,40	-27,92	375,44	216,62	56,13	0,25
976	995	1	-	-673,13	-209,96	705,11	394,24	41,78	12,06
995	904	1	1,000	-1.160,00	454,81	1.245,98	677,62	76,68	0,00
995	964	1	-	719,06	-153,48	735,26	399,87	33,70	7,57
995	1030	1	-	249,38	-140,39	286,18	155,64	13,12	0,44
995	1060	1	-	-493,62	5,81	493,66	268,47	26,35	4,09
1030	915	1	1,000	-700,00	288,48	757,11	409,74	60,38	0,00

Tabela 12b – Relatório de Linhas - Sul exportando 1500 MW pelo Elo CC

DA Barra	PARA Barra	Circuito	Tap	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
Número	Número	Número	pu	MW	Mvar	MVA	kA	Percentual	MW
1030	955	1	-	948,94	-307,29	997,45	539,81	45,71	4,01
1047	919	1	1,025	-780,00	3,05	780,01	443,11	99,83	0,00
1060	897	1	-	-903,37	79,15	906,83	501,97	38,72	5,85
1060	925	1	1,024	-1.201,00	96,38	1.204,86	666,94	86,06	0,00
1210	976	1	0,987	-399,00	-140,32	422,95	244,03	64,13	0,52
1210	976	2	0,987	-428,71	-146,13	452,93	261,32	68,67	0,78
1210	976	3	0,987	-400,29	-138,55	423,59	244,40	64,23	0,63
1503	1504	1	1,000	145,00	76,09	163,75	91,59	54,58	0,00
2458	896	1	0,998	-240,38	-185,40	303,58	175,27	51,81	0,00
4501	4522	1	-	69,55	-33,52	77,20	43,19	26,90	1,78
4501	4522	2	-	117,37	-51,32	128,10	71,66	53,60	2,17
4521	4523	1	1,000	-50,00	23,20	55,12	30,57	0,55	0,00
4522	4521	1	-	-49,61	9,60	50,53	27,90	27,56	0,39
4522	4532	1	-	48,06	-28,64	55,95	30,89	19,49	0,72
4522	4532	2	-	48,06	-28,64	55,95	30,89	19,49	0,72
4522	4623	1	1,000	68,22	20,70	71,30	39,36	71,30	0,00
4522	4623	2	1,000	68,22	20,70	71,30	39,36	71,30	0,00
4532	4530	1	1,000	0,00	9,43	9,43	5,17	0,09	0,00
4532	4533	1	1,000	6,95	38,38	39,00	21,39	39,00	0,00
4532	4533	2	1,000	6,95	38,38	39,00	21,39	39,00	0,00
4532	4533	3	1,000	6,95	38,38	39,00	21,39	39,00	0,00
4532	4542	1	-	-6,27	-2,94	6,92	3,80	12,76	0,01
4533	4596	1	1,000	-230,00	68,05	239,86	135,57	2,40	0,00
4542	4552	1	-	122,17	2,85	122,20	67,40	81,47	2,52
4552	4572	1	-	107,05	6,45	107,24	60,73	71,49	1,58
4562	4572	1	-	-86,73	-13,88	87,84	51,67	58,56	0,74
4562	4582	1	-	62,93	6,48	63,26	37,22	42,93	0,53
4592	21	1	1,000	-130,00	19,49	131,45	72,36	1,31	0,00
4592	4542	1	-	130,00	-19,49	131,45	72,36	55,00	1,55
4623	4533	1	-	8,25	-6,74	10,65	5,96	10,65	0,11
4703	4533	1	-	-91,05	-14,87	92,26	52,75	93,22	0,75
4703	4533	2	-	-91,05	-14,87	92,26	52,75	93,22	0,75
4805	4804	1	1,000	-50,00	24,65	55,74	31,25	40,39	0,00
4805	4807	1	-	25,00	-12,32	27,87	15,63	32,41	0,22
4805	4807	2	-	25,00	-12,32	27,87	15,63	32,41	0,22
4862	4532	1	-	-39,67	-47,35	61,77	33,82	12,58	0,37
4862	4532	2	-	-39,67	-47,35	61,77	33,82	12,58	0,37
4862	4807	1	1,000	79,34	61,33	100,28	54,90	33,43	0,00
9085	1060	1	-	-1.499,96	-175,21	1.510,15	835,94	43,15	0,00
9085	9049	1	1,013	0,00	-14,25	14,25	7,89	1,36	0,00
9086	210	1	-	1.467,29	-13,56	1.467,35	813,03	41,92	0,00
9086	9048	1	1,013	0,00	31,39	31,39	17,39	2,99	0,00

Tabela 13a – Relatório de Barras - Sudeste exportando 1500 MW pelo Elo CC

Número	Barra			Tensão		Geração		Carga		Link DC		Shunt de Barra	
	Nome	Tipo	Área	Módulo [pu]	Ângulo [°]	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	Atual [pu]	Espec. Mvar
12	LCBARRET-2GR	1	1	1,000	-23,84	300,0	-140,41	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	FURNAS---5GR	1	1	1,000	-28,72	800,0	-15,89	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	ITUMBIAR-6GR	2	1	1,010	-24,00	1.171,1	-440,74	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	MARIMBON-5GR	1	1	1,010	-21,73	930,0	-176,72	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	MANSO----3GR	1	3	1,040	-65,84	130,0	-9,34	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	M.MOR.A--3GR	1	1	1,000	-20,12	150,0	-8,27	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
35	CORUMBA--2GR	1	1	1,000	-27,16	200,0	-37,78	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
48	IBIUNA---4CS	1	1	1,000	-52,14	0,0	-432,98	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
86	IBIUNA---345	0	1	1,031	-52,14	0,0	0,00	66,0	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00
100	MARIMBON-500	0	1	1,039	-28,16	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
101	ARARAQUA-500	0	1	1,038	-39,16	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	-215,42	-200,00
102	POCOS----500	0	1	1,027	-47,57	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	-105,40	-100,00
103	CAMPINAS-500	0	1	1,052	-50,12	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
104	C.PAULIS-500	0	1	1,028	-57,57	0,0	0,00	910,0	235,00	0,00	0,00	0,00	0,00
106	ADRIANO--500	0	1	1,014	-58,24	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	-102,86	-100,00
120	P.CALDAS-345	0	1	1,017	-46,44	0,0	0,00	180,0	90,00	0,00	0,00	0,00	0,00
122	IBIUNA---500	0	1	1,070	-51,99	0,0	0,00	200,0	38,00	0,00	0,00	0,00	0,00
123	CAMPINAS-345	0	1	1,012	-52,45	0,0	0,00	450,0	175,00	0,00	0,00	0,00	0,00
126	GUARULHOS345	0	1	1,028	-51,95	0,0	0,00	290,0	95,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 13a – Relatório de Barras - Sudeste exportando 1500 MW pelo Elo CC

Número	Barra			Tensão		Geração		Carga		Link DC		Shunt de Barra	
	Nome	Tipo	Área	Módulo [pu]	Ângulo [°]	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	Atual [pu]	Espec. Mvar
131	M.MORAES-345	0	1	1,016	-27,62	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
134	LBARRETO-345	0	1	1,019	-26,09	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
136	FURNAS---345	0	1	1,010	-35,71	0,0	0,00	54,0	23,00	0,00	0,00	0,00	0,00
138	ITUTINGA-345	0	1	1,003	-48,06	0,0	0,00	72,0	34,00	0,00	0,00	0,00	0,00
140	ADRIANO--345	0	1	0,985	-59,11	0,0	0,00	700,0	250,00	0,00	0,00	0,00	0,00
210	ITUMBIARA500	0	1	1,042	-28,25	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
213	MARIMBON-345	0	1	1,036	-28,40	0,0	0,00	93,0	39,00	0,00	0,00	0,00	0,00
216	PCOLOMBIA345	0	1	1,040	-27,45	0,0	0,00	53,0	25,00	0,00	0,00	0,00	0,00
217	ITUMBIARA345	0	1	1,043	-32,73	0,0	0,00	364,0	58,00	0,00	0,00	0,00	0,00
218	BANDEIRA-345	0	1	1,016	-40,17	0,0	0,00	600,0	200,00	0,00	0,00	0,00	0,00
219	B.SUL----345	0	1	1,018	-38,62	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
220	CORUMBA--345	0	1	1,047	-32,21	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
225	ITUMBIARA230	0	1	1,002	-35,15	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
228	B.SUL----230	0	1	1,005	-40,35	0,0	0,00	86,0	34,00	0,00	0,00	0,00	0,00
231	R.VERDE--230	0	3	1,007	-50,38	0,0	0,00	89,7	31,90	0,00	0,00	0,00	0,00
233	SAMAMBAI-500	0	1	1,028	-35,69	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
234	SAMAMBAI-345	0	1	1,016	-38,70	0,0	0,00	1.000,0	350,00	0,00	0,00	0,00	0,00
300	EMBORCAC-4GR	1	1	1,020	-12,29	1.184,0	-59,76	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
301	JAGUARA--3GR	1	1	1,010	-16,56	300,0	-96,84	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
302	N.PONTE--3GR	1	1	1,020	-15,30	400,0	-91,86	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
303	S.SIMAO--6GR	1	1	1,020	-6,50	1.680,0	-12,29	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
305	V.GRANDE-4GR	1	1	1,000	-21,49	300,0	-30,79	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
320	EMBORCAC-500	0	1	1,040	-21,00	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
325	JAGUARA--500	0	1	1,038	-20,88	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
326	JAGUARA--345	0	1	1,025	-24,68	0,0	0,00	274,0	104,0	0,00	0,00	0,00	0,00
360	NPONTE--500	0	1	1,040	-19,49	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
370	SSIMAO---500	0	1	1,036	-16,18	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
396	VGRANDE--345	0	1	1,034	-25,24	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
500	A.VERMEL-4GR	1	1	1,020	-15,52	800,0	7,91	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
535	AVERMELHA500	0	1	1,022	-20,03	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
536	AVERMELH-440	0	1	0,996	-25,64	0,0	0,00	700,0	150,0	0,00	0,00	0,00	0,00
800	GBMUNHOZ-2GR	1	2	1,020	-33,22	600,0	-47,39	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
808	SCAXIAS--2GR	1	2	1,020	-22,50	600,0	44,65	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
810	SSEGREDO-2GR	1	2	1,020	-29,02	600,0	-196,52	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
814	BATEIAS--230	0	2	1,011	-54,02	0,0	0,00	735,4	191,0	0,00	0,00	0,00	0,00
824	GBMUNHOZ-500	0	2	1,057	-38,72	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
834	S.MATEUS-230	0	2	0,999	-47,89	0,0	0,00	13,4	4,2	0,00	0,00	0,00	0,00
839	CASCAVEL-230	0	2	0,999	-28,97	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
840	CASCAVEL-138	0	2	0,986	-31,96	0,0	0,00	159,0	36,0	0,00	0,00	0,00	0,00
848	FCHOPIM--138	0	2	0,999	-27,66	0,0	0,00	94,0	18,0	0,00	0,00	0,00	0,00
856	SEGREDO--500	0	2	1,042	-32,42	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
895	BATEIAS--500	0	2	1,076	-51,90	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
896	CASCAVEL0500	0	2	1,030	-27,07	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
897	SCAXIAS--500	0	2	1,042	-25,88	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
898	FCHOPIM--230	0	2	1,012	-24,27	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
904	ITA-----3GR	1	2	1,020	-36,09	600,0	-299,24	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
915	MACHADIN-2GR	1	2	1,020	-33,29	700,0	-162,72	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
919	SOSOR1A4-4GR	1	2	1,000	-16,34	700,0	86,62	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
925	SSANTIAG-2GR	1	2	1,020	-22,64	600,0	35,85	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
933	AREIA---500	0	2	1,058	-38,91	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
934	AREIA---230	0	2	1,000	-39,03	0,0	0,00	237,0	59,0	0,00	0,00	0,00	0,00
938	BLUMENAU-500	0	2	1,073	-55,33	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
939	BLUMENAU-230	0	2	1,011	-57,59	0,0	0,00	1.149,0	53,06	0,00	0,00	0,00	0,00
955	CNOVOS---500	0	2	1,074	-43,81	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
959	CURITIBA-500	0	2	1,067	-52,37	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	113,75	100,00
960	CURITIBA-230	0	2	1,000	-54,82	0,0	0,00	844,7	469,1	0,00	0,00	0,00	0,00
964	CAXIAS---500	0	2	1,051	-51,05	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
965	CAXIAS---230	0	2	1,000	-53,45	0,0	0,00	755,6	56,24	0,00	0,00	0,00	0,00
976	GRAVATAI-500	0	2	1,026	-53,68	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
995	ITA-----500	0	2	1,056	-39,78	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
1015	JOINVILLE230	0	2	1,009	-57,31	0,0	0,00	70,0	2,0	0,00	0,00	0,00	0,00
1030	MACHADIN-500	0	2	1,062	-40,96	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
1047	SOSORIO--230	0	2	1,017	-23,23	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
1060	SSANTIAG-500	0	2	1,043	-27,66	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
1210	GRAVATAI-230	0	2	1,000	-56,36	0,0	0,00	1.228,0	425,0	0,00	0,00	0,00	0,00
1503	ITAJUBA--500	0	1	1,026	-55,04	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
1504	ITAJUBA--138	0	1	0,991	-59,29	0,0	0,00	145,0	63,0	0,00	0,00	0,00	0,00
2458	CASCAVEL-230	0	2	1,000	-29,26	0,0	0,00	403,0	126,0	0,00	0,00	0,00	0,00
4501	B.PEIXE--230	0	3	1,031	-62,21	0,0	0,00	31,4	7,1	0,00	0,00	-47,84	-45,00
4521	ITUIQUIRA-230	0	3	1,041	-68,05	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
4522	RONDONOP-230	0	3	1,045	-70,17	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
4523	ITUIQUIR--2GR	1	3	1,000	-62,34	50,0	-17,20	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 13a – Relatório de Barras - Sudeste exportando 1500 MW pelo Elo CC

Número	Barra			Tensão		Geração		Carga		Link DC		Shunt de Barra	
	Nome	Tipo	Área	Módulo [pu]	Ângulo [°]	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	Atual [pu]	Espec. Mvar
4530	COXIPO-CE-12	0	3	1,040	-74,85	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
4532	COXIPO---230	0	3	1,053	-74,85	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
4533	COXIPO---138	0	3	1,021	-75,17	0,0	0,00	75,4	16,1	0,00	0,00	0,00	0,00
4542	NOBRES---230	0	3	1,047	-74,47	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
4552	N.MUTUM---230	0	3	1,019	-81,53	0,0	0,00	12,6	1,2	0,00	0,00	0,00	0,00
4562	SORRISO--230	0	3	0,981	-89,27	0,0	0,00	23,8	7,4	0,00	0,00	0,00	0,00
4572	LUCAS-RV-230	0	3	0,996	-86,48	0,0	0,00	18,0	6,4	0,00	0,00	0,00	0,00
4582	SINOP---230	0	3	0,965	-91,99	0,0	0,00	62,4	15,9	0,00	0,00	0,00	0,00
4592	MANSO----230	0	3	1,049	-70,21	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
4596	CBA--GAS-2GR	1	3	1,000	-70,31	230,0	-46,99	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
4623	RONDONOP-138	0	3	1,031	-73,06	0,0	0,00	128,2	40,76	0,00	0,00	0,00	0,00
4703	CUIABA---138	0	3	1,010	-76,26	0,0	0,00	182,1	29,75	0,00	0,00	0,00	0,00
4804	GUAPORE--2GR	1	3	1,000	-76,49	50,0	-20,68	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
4805	GUAPORE--138	0	3	1,030	-80,20	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
4807	JAURU----138	0	3	1,031	-81,49	0,0	0,00	128,9	36,3	0,00	0,00	0,00	0,00
4862	JAURU---230	0	3	1,054	-79,79	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	-33,35	-30,00
9048	AC_INVER-4CS	1	9	1,009	-27,66	0,0	-288,87	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
9049	AC_RETIF-4CS	1	9	1,069	-28,26	0,0	597,82	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
9085	AC_RETIF-500	0	9	1,042	-28,26	0,0	0,00	0,0	0,0	-1.467,28	449,30	830,61	765,00
9086	AC_INVER-500	0	9	1,043	-27,66	0,0	0,00	0,0	0,0	1.500,00	1.021,94	467,78	430,00

Tabela 13b – Relatório de Linhas - Sudeste exportando 1500 MW pelo Elo CC

DA Barra Número	PARA Barra Número	Circuito Número	Tap pu	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
				MW	Mvar	MVA	kA	Percentual	MW
86	48	1	1,000	0,00	446,38	446,38	249,98	42,51	0,00
86	122	1	1,000	-14,77	-212,23	212,74	119,14	29,45	0,00
86	122	2	1,000	-14,77	-212,23	212,74	119,14	29,45	0,00
100	20	1	1,000	-930,00	287,76	973,50	541,13	64,05	0,00
100	101	1	-	758,02	-96,77	764,17	424,77	45,90	9,17
100	101	2	-	763,63	-95,99	769,64	427,81	46,22	9,26
100	210	1	-	5,17	-149,39	149,48	83,09	8,63	0,00
100	213	1	1,000	18,80	10,24	21,41	11,90	3,82	0,00
100	535	1	-	-615,61	44,23	617,20	343,08	38,71	5,71
101	102	1	-	636,97	-58,99	639,69	355,86	38,42	5,92
101	103	1	-	866,26	-142,81	877,95	488,41	52,73	10,61
102	120	1	1,000	-85,85	43,07	96,05	54,01	17,15	0,00
102	1503	1	-	716,90	-78,61	721,19	405,57	43,31	5,36
103	123	1	1,000	179,21	180,35	254,25	139,52	45,40	0,00
104	103	1	-	-453,75	-161,86	481,75	270,58	28,93	3,83
104	1503	1	-	-565,00	29,36	565,76	317,76	34,34	1,53
106	104	1	-	-54,29	-158,82	167,84	95,55	10,08	0,09
106	104	2	-	-54,29	-159,02	168,04	95,66	10,09	0,09
106	140	1	1,000	51,81	102,59	114,93	65,43	20,52	0,00
106	140	2	1,000	56,76	112,39	125,91	71,68	22,48	0,00
122	103	1	-	-218,25	60,40	226,45	122,15	17,99	0,61
123	120	1	-	-270,79	-8,78	270,93	154,65	46,02	2,60
126	86	1	-	18,23	-42,59	46,33	26,01	3,02	0,01
126	86	2	-	18,24	-42,61	46,35	26,02	3,03	0,01
126	120	1	-	-164,18	-4,36	164,24	92,21	30,53	1,64
126	120	2	-	-162,29	-5,44	162,38	91,16	30,25	1,62
131	22	1	1,000	-150,00	28,20	152,63	86,73	40,38	0,00
134	12	1	0,999	-300,00	155,06	337,70	191,43	29,73	0,00
134	131	1	-	273,41	-4,48	273,45	155,01	38,14	0,66
134	396	1	-	-47,90	-71,45	86,02	48,76	12,31	0,12
136	16	1	1,000	-800,00	114,23	808,11	461,97	63,13	0,00
136	120	1	-	442,88	-53,14	446,06	255,00	74,59	8,40
136	120	2	-	442,88	-53,14	446,06	255,00	74,59	8,40
136	131	1	-	-416,72	27,52	417,63	238,74	59,04	6,03
136	134	1	-	-411,46	15,77	411,76	235,39	69,93	6,32
136	138	1	-	336,77	-37,97	338,90	193,74	46,55	7,23
136	138	2	-	351,64	-36,27	353,51	202,09	46,15	6,78
140	138	1	-	-288,20	-19,63	288,87	169,36	40,50	5,64
140	138	2	-	-303,22	-23,26	304,11	178,30	40,38	5,34
210	18	1	1,000	-1.171,10	543,06	1.290,89	715,28	53,79	0,00
210	217	1	1,000	493,71	10,79	493,82	273,63	82,42	0,00
210	217	2	1,000	493,71	10,79	493,82	273,63	82,42	0,00

Tabela 13b – Relatório de Linhas - Sudeste exportando 1500 MW pelo Elo CC

DA Barra	PARA Barra	Circuito	Tap	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
Número	Número	Número	pu	MW	Mvar	MVA	kA	Percentual	MW
210	370	1	-	-961,54	83,90	965,20	534,81	58,79	13,01
213	216	1	-	-74,20	-28,86	79,61	44,35	13,31	0,11
216	396	1	-	-286,03	59,53	292,16	162,24	42,40	1,04
217	216	1	-	-157,39	-30,33	160,29	88,70	24,24	1,33
217	218	1	-	248,34	-6,82	248,44	137,47	33,03	2,97
217	218	2	-	248,34	-6,82	248,44	137,47	33,03	2,97
218	234	1	-	-54,63	-38,33	66,73	37,94	11,10	0,13
218	234	2	-	-54,63	-38,33	66,73	37,94	11,10	0,13
219	234	1	-	34,87	24,63	42,69	24,22	7,42	0,01
219	234	2	-	34,87	24,63	42,69	24,22	7,42	0,01
220	35	1	1,025	-200,00	56,41	207,80	114,65	49,83	0,00
220	217	1	-	42,55	-13,91	44,77	24,70	7,02	0,04
220	219	1	-	157,45	-42,50	163,08	89,97	23,24	1,72
225	217	1	0,955	-169,58	26,39	171,62	98,88	76,28	0,00
225	217	2	0,955	-157,06	24,44	158,95	91,58	28,38	0,00
225	231	1	-	131,65	-30,08	135,04	77,81	68,55	7,14
225	231	2	-	194,98	-20,75	196,09	112,98	99,54	4,81
228	219	1	1,000	-86,00	-34,00	92,48	53,13	41,62	0,00
231	4501	1	-	93,91	-40,88	102,42	58,71	51,99	4,11
231	4501	2	-	131,08	-41,50	137,50	78,82	69,79	2,55
233	210	1	-	-346,79	-177,26	389,47	218,78	14,99	3,19
233	320	1	-	-692,99	-75,34	697,07	391,57	27,50	12,56
234	233	1	1,000	-492,09	-92,53	500,71	284,46	48,23	0,00
234	233	2	1,000	-547,69	-102,98	557,29	316,61	53,68	0,00
320	210	1	-	705,33	-92,72	711,40	394,95	36,52	5,75
320	300	1	1,000	-1.184,00	243,03	1.208,69	671,03	86,33	0,00
320	360	1	-	-226,88	-37,99	230,04	127,71	11,35	0,39
325	301	1	1,000	-300,00	122,49	324,04	180,20	64,81	0,00
325	326	1	1,000	326,63	72,96	334,68	186,12	83,67	0,00
325	326	2	1,000	326,63	72,96	334,68	186,12	83,67	0,00
325	360	1	-	-172,45	-64,92	184,26	102,47	8,19	0,28
325	370	1	-	-180,80	-203,49	272,21	151,38	13,39	0,86
326	134	1	-	344,11	57,10	348,82	196,43	40,56	0,82
326	396	1	-	35,14	-60,07	69,59	39,19	11,17	0,06
360	302	1	1,000	-400,00	123,22	418,55	232,31	77,94	0,00
370	303	1	1,000	-1.679,98	299,17	1.706,41	950,94	98,07	0,00
370	535	1	-	523,76	24,52	524,33	292,20	24,14	2,44
396	305	1	1,025	-300,00	50,80	304,27	169,87	67,62	0,00
535	500	1	1,000	-800,00	55,15	801,90	452,85	53,46	0,00
536	535	2	1,000	-700,00	-150,00	715,89	414,94	97,97	0,00
814	895	1	0,950	-370,83	-95,89	383,03	218,82	64,57	0,41
814	895	2	0,950	-364,57	-95,11	376,77	215,25	63,51	0,38
824	800	1	1,024	-600,00	105,88	609,27	332,69	36,35	0,00
824	933	1	-	302,36	-53,41	307,04	167,66	14,07	0,08
824	933	2	-	297,65	-52,45	302,23	165,03	13,85	0,08
834	934	1	-	-115,68	19,98	117,40	67,86	33,84	3,51
839	840	1	1,000	77,35	21,81	80,36	46,45	53,58	0,00
839	840	2	1,000	81,65	23,03	84,84	49,04	56,56	0,00
839	898	1	-	-117,55	-1,35	117,56	67,95	63,03	1,57
839	1047	1	-	-131,41	-3,38	131,45	75,98	70,66	2,11
839	2458	1	-	43,22	-20,20	47,71	27,58	14,95	0,05
839	2458	2	-	46,74	-19,90	50,80	29,36	14,27	0,04
856	810	1	1,000	-600,00	236,75	645,02	357,37	51,19	0,00
856	933	1	-	1.881,73	-332,47	1.910,87	1.058,71	84,50	17,36
856	1060	1	-	-1.281,73	95,72	1.285,30	712,11	59,25	8,58
895	122	1	-	5,65	-242,64	242,70	130,23	20,76	0,01
895	122	2	-	5,65	-242,64	242,70	130,23	20,76	0,01
896	897	1	-	-313,14	-178,23	360,31	201,91	22,01	0,55
897	808	1	1,024	-600,00	-9,16	600,07	332,58	44,77	0,00
898	848	1	1,000	94,00	23,84	96,98	55,32	64,65	0,00
898	1047	1	-	-213,12	-22,14	214,26	122,23	66,41	0,67
933	895	1	-	1.000,11	-215,32	1.023,02	558,49	48,48	17,91
933	955	1	-	465,90	-240,80	524,45	286,31	24,86	3,29
933	959	1	-	976,37	-180,83	992,98	542,09	45,51	17,05
934	933	1	0,956	-21,79	-100,07	102,42	59,13	15,41	0,03
934	1047	1	-	-167,09	32,24	170,18	98,25	55,39	9,14
934	1047	2	-	-167,31	32,32	170,40	98,38	55,46	9,15
938	955	1	-	-774,59	-63,82	777,22	418,22	39,86	13,78

Tabela 13b – Relatório de Linhas - Sudeste exportando 1500 MW pelo Elo CC

DA Barra	PARA Barra	Circuito	Tap	Fluxo		Potência	Corrente	Carregamento	Perdas
Número	Número	Número	pu	MW	Mvar	MVA	kA	Percentual	MW
938	959	1	-	-362,29	-31,60	363,67	195,69	31,83	1,52
939	938	1	0,945	-393,30	-14,22	393,56	224,83	58,76	0,42
939	938	2	0,945	-388,91	-13,84	389,15	222,31	58,10	0,42
939	938	3	0,945	-353,84	-22,35	354,55	202,54	52,93	0,00
939	1015	1	-	-6,48	-1,27	6,61	3,77	3,95	0,01
939	1015	2	-	-6,47	-1,37	6,62	3,78	3,99	0,01
955	964	1	-	613,23	-70,21	617,24	331,84	37,43	6,27
959	895	1	-	-234,28	-227,89	326,83	176,92	15,49	0,42
960	834	1	-	-99,92	16,79	101,32	58,50	32,95	2,36
960	959	1	0,962	-414,88	-218,63	468,97	270,76	71,58	0,65
960	959	2	0,962	-413,62	-218,46	467,77	270,07	71,40	0,63
960	1015	1	-	41,73	-24,26	48,27	27,87	15,13	0,38
960	1015	2	-	42,00	-24,54	48,64	28,08	15,25	0,38
964	976	1	-	560,61	192,70	592,80	325,74	37,05	2,52
965	964	1	0,956	-381,20	-28,32	382,25	220,70	57,15	0,27
965	964	2	0,956	-374,40	-27,92	375,44	216,77	56,13	0,26
976	995	1	-	-671,87	-208,99	703,62	396,07	41,68	12,17
995	904	1	1,000	-600,00	349,09	694,16	379,51	42,72	0,00
995	964	1	-	717,39	-147,66	732,43	400,43	33,57	7,62
995	1030	1	-	243,41	-153,00	287,50	157,18	13,18	0,44
995	1060	1	-	-1.044,84	111,32	1.050,75	574,46	51,07	17,87
1030	915	1	1,000	-700,00	265,26	748,57	406,79	59,69	0,00
1030	955	1	-	942,97	-297,87	988,90	537,38	45,32	3,98
1047	919	1	1,025	-700,00	-1,94	700,00	397,30	89,51	0,00
1060	897	1	-	-285,73	-33,13	287,65	159,22	12,71	0,58
1060	925	1	1,024	-600,00	16,75	600,23	332,25	42,87	0,00
1210	976	1	0,994	-399,00	-140,32	422,95	244,19	64,15	0,53
1210	976	2	0,994	-428,71	-146,13	452,93	261,49	68,69	0,79
1210	976	3	0,994	-400,29	-138,55	423,59	244,56	64,24	0,64
1503	1504	1	1,000	145,00	76,25	163,82	92,15	54,61	0,00
2458	896	1	0,991	-313,14	-162,70	352,88	203,74	60,05	0,00
4501	4522	1	-	69,55	-33,67	77,27	43,27	26,92	1,79
4501	4522	2	-	117,38	-51,58	128,22	71,79	53,65	2,18
4521	4523	1	1,000	-50,00	23,00	55,03	30,53	0,55	0,00
4522	4521	1	-	-49,61	9,41	50,50	27,89	27,52	0,39
4522	4532	1	-	48,07	-28,83	56,06	30,96	19,53	0,72
4522	4532	2	-	48,07	-28,83	56,06	30,96	19,53	0,72
4522	4623	1	1,000	68,22	20,67	71,28	39,37	71,28	0,00
4522	4623	2	1,000	68,22	20,67	71,28	39,37	71,28	0,00
4532	4530	1	1,000	0,00	9,30	9,30	5,10	0,09	0,00
4532	4533	1	1,000	6,96	38,29	38,92	21,35	38,92	0,00
4532	4533	2	1,000	6,96	38,29	38,92	21,35	38,92	0,00
4532	4533	3	1,000	6,96	38,29	38,92	21,35	38,92	0,00
4532	4542	1	-	-6,26	-3,01	6,95	3,81	12,71	0,01
4533	4596	1	1,000	-230,00	67,73	239,76	135,53	2,40	0,00
4542	4552	1	-	122,17	2,88	122,20	67,41	81,47	2,52
4552	4572	1	-	107,05	6,47	107,24	60,74	71,50	1,58
4562	4572	1	-	-86,73	-13,89	87,84	51,68	58,56	0,74
4562	4582	1	-	62,93	6,49	63,27	37,22	42,93	0,53
4592	21	1	1,000	-130,00	19,39	131,44	72,35	1,31	0,00
4592	4542	1	-	130,00	-19,39	131,44	72,35	55,00	1,55
4623	4533	1	-	8,23	-6,82	10,69	5,99	10,69	0,11
4703	4533	1	-	-91,05	-14,87	92,26	52,75	93,22	0,75
4703	4533	2	-	-91,05	-14,87	92,26	52,75	93,22	0,75
4805	4804	1	1,000	-50,00	24,58	55,72	31,24	40,37	0,00
4805	4807	1	-	25,00	-12,29	27,86	15,62	32,39	0,22
4805	4807	2	-	25,00	-12,29	27,86	15,62	32,39	0,22
4862	4532	1	-	-39,67	-47,31	61,74	33,81	12,58	0,37
4862	4532	2	-	-39,67	-47,31	61,74	33,81	12,58	0,37
4862	4807	1	1,000	79,34	61,27	100,24	54,89	33,41	0,00
9085	210	1	-	-1.500,08	383,93	1.548,43	857,95	44,24	0,00
9085	9049	1	1,013	0,00	-575,45	575,45	318,85	56,94	0,00
9086	1060	1	-	1.467,39	-275,93	1.493,10	826,50	42,66	0,00
9086	9048	1	1,013	0,00	294,72	294,72	163,14	28,07	0,00

NÍVEIS DE CURTO-CIRCUITO DOS SISTEMAS-TESTE PROPOSTOS

Neste anexo são apresentados os níveis de curto-circuito por barramento dos **Sistemas-Teste** propostos. No cálculo destes valores, não foram representados os capacitores e reatores shunt, sendo estes equipamentos considerados, para efeito operativo, desligados. Este procedimento não acarreta maiores prejuízos, um vez que a contribuição fornecida por esses elementos corresponde aproximadamente às suas potências nominais.

1) Sistema-Teste de 9 Barras

Relatório de Nível de Curto-Circuito

Barra		Trifásico		Monofásico	
Número	Nome	Módulo [MVA]	Ângulo [°]	Módulo [MVA]	Ângulo [°]
1	BAR-1 GER1	611,00	-89,22	0,00	0,00
2	BAR-2 GER2	668,16	-89,39	0,00	0,00
3	BAR-3	567,37	-88,94	752,41	-88,98
4	BAR-4	576,47	-89,03	731,65	-89,02
5	BAR-5 CAR1	453,17	-86,73	446,64	-84,79
6	BAR-6 CAR2	495,67	-88,13	508,23	-86,95
7	BAR-7 CAR3	493,69	-87,71	502,76	-86,30
8	BAR-8 CAR4	509,64	-88,18	531,15	-86,89
9	BAR-9 CAR5	411,64	-86,46	373,27	-84,67

2) Sistema-Teste de 16 Barras

Relatório de Nível de Curto-Circuito

Barra		Trifásico		Monofásico	
Número	Nome	Módulo [MVA]	Ângulo [°]	Módulo [MVA]	Ângulo [°]
1	BARRA-1 GER	1.358,02	-89,41	1.724,63	-89,47
2	BARRA-2	1.271,16	-89,28	1.760,94	-89,31
3	BARRA-3	1.189,12	-88,79	1.266,93	-87,35
4	BARRA-4	915,09	-88,04	988,39	-86,26
5	BARRA-5	951,75	-88,00	945,91	-83,06
6	BARRA-6	1.181,37	-88,87	1.648,97	-88,89
7	BARRA-7	992,73	-88,07	1.004,44	-85,08
8	BARRA-8	1.051,26	-88,63	1.242,13	-88,31
9	BARRA-9 CS	1.167,45	-89,62	897,52	-89,36
10	BARRA-10	852,72	-88,32	863,31	-87,83
11	BARRA-11	885,95	-88,07	785,15	-85,44

Relatório de Nível de Curto-Circuito

Barra		Trifásico		Monofásico	
Número	Nome	Módulo [MVA]	Ângulo [°]	Módulo [MVA]	Ângulo [°]
12	BARRA-12	1.019,09	-88,27	953,85	-84,94
13	BARRA-13	904,51	-87,89	692,17	-83,11
14	BARRA-14	626,22	-89,36	784,90	-89,06
15	BARRA-15	982,71	-88,03	939,28	-85,60
16	BARRA-16 GER	1.191,61	-89,07	1.547,12	-89,14

3) Sistema-Teste de 33 Barras

Relatório de Nível de Curto-Circuito

Barra		Trifásico		Monofásico	
Número	Nome	Módulo [MVA]	Ângulo [°]	Módulo [MVA]	Ângulo [°]
800	G.B.MUNHOZ-4GR	10.392,52	-89,62	6.901,50	-89,05
808	S.CAXIAS-4GR	9.408,88	-89,28	7.752,80	-89,06
810	S.SEGREDO-4GR	12.099,86	-89,57	9.092,99	-89,18
814	BATEIAS-230	3.943,87	-87,33	4.763,16	-87,21
824	G.B.MUNHOZ-500	11.527,10	-88,02	12.102,99	-87,25
839	CASCAVEL-230	4.012,58	-86,25	3.452,42	-81,80
840	CASCAVEL-138	1.717,02	-88,40	1.737,61	-86,66
848	F.CHOPIM-138	1.082,01	-88,46	1.121,96	-88,06
856	SEGREDO-500	13.462,31	-88,49	14.405,95	-87,96
895	BATEIAS-500	5.245,25	-86,45	5.788,05	-86,00
896	CASCAVEL OESTE-500	6.225,21	-87,18	6.086,38	-85,43
897	S.CAXIAS-500	9.305,49	-88,20	10.439,63	-87,92
898	F.CHOPIM-230	3.460,93	-85,08	3.295,00	-83,56
904	ITÁ-4GR	10.172,85	-89,45	7.703,74	-88,95
915	MACHADINHO-3GR	8.819,97	-89,64	5.500,94	-88,67
919	S.OSÓRIO-4GR	4.850,33	-88,33	4.123,56	-88,64
925	SSANTIAGO-4GR	11.024,66	-89,71	7.416,31	-88,96
933	AREIA-500	11.923,43	-88,03	12.574,78	-87,10
934	AREIA-230	5.481,58	-88,19	5.547,61	-87,95
938	BLUMENAU-500	4.469,32	-86,28	5.233,23	-86,40
939	BLUMENAU-230	3.757,76	-86,88	4.435,09	-87,06
955	C.NOVOS-500	8.856,05	-87,57	7.505,03	-83,55
959	CURITIBA-500	5.505,37	-86,59	6.234,54	-86,15
960	CURITIBA-230	4.068,25	-87,48	4.612,19	-87,32
964	CAXIAS-500	5.366,35	-87,11	5.802,35	-86,20
965	CAXIAS-230	4.039,94	-87,82	4.712,65	-87,42
976	GRAVATAÍ-500	4.455,18	-86,80	5.165,49	-86,71
995	ITÁ-500	10.469,11	-88,31	11.170,68	-87,67
1030	MACHADINHO-500	9.562,16	-88,07	9.332,08	-86,73
1047	S.OSÓRIO-230	4.303,95	-86,43	4.920,60	-86,78
1060	S.SANTIAGO-500	13.672,86	-88,49	13.761,06	-87,29
1210	GRAVATAÍ-230	3.729,59	-87,32	4.533,93	-87,34
2458	CASCAVEL-230	4.358,06	-87,24	4.775,53	-86,57

4) Sistema-Teste de 65 Barras

Relatório de Nível de Curto-Circuito

Barra		Trifásico		Monofásico	
Número	Nome	Módulo [MVA]	Ângulo [°]	Módulo [MVA]	Ângulo [°]
18	ITUMBIARA-6GR	11.006,93	-89,37	13.364,57	-89,43
20	MARIMBONDO-8GR	7.901,77	-89,32	9.637,22	-89,41
48	IBIÚNA-4CS	7.254,76	-88,70	8.995,81	-88,89
100	MARIMBONDO-500	9.092,07	-88,11	10.537,90	-88,23
101	ARARAQUA-500	5.933,66	-87,26	3.714,09	-84,33
102	POÇOS-500	3.203,50	-86,86	2.473,14	-86,11
103	CAMPINAS-500	6.052,25	-87,34	4.247,15	-81,84
104	C.PAULISTA-500	3.042,43	-86,86	2.337,71	-85,65
120	P.CALDAS-345	1.730,27	-88,31	1.670,44	-87,81
122	IBIÚNA-500	7.487,48	-87,81	9.537,66	-88,03
123	CAMPINAS-345	2.292,96	-88,99	2.203,80	-86,79
210	ITUMBIARA-500	11.247,25	-88,69	13.949,47	-88,68
213	MARIMBONDO-345	2.681,37	-89,44	2.980,58	-89,52
217	ITUMBIARA-345	6.540,35	-89,24	7.625,22	-89,30
233	SAMAMBAIA-500	3.593,11	-86,87	2.794,88	-84,78
234	SAMAMBAIA-345	3.041,85	-87,35	2.584,87	-85,56
300	EMBORÇAÇÃO-4GR	6.542,82	-89,38	7.914,18	-89,40
301	JAGUARA-4GR	3.619,51	-89,34	3.169,55	-89,13
302	N.PONTE-3GR	4.091,92	-89,29	4.922,67	-89,29
303	S.SIMÃO-6GR	9.357,31	-89,47	7.524,63	-89,14
320	EMBORÇAÇÃO-500	7.978,26	-88,40	9.427,49	-88,11
325	JAGUARA-500	5.310,63	-88,01	5.912,09	-87,63
326	JAGUARA-345	3.366,90	-88,74	3.993,89	-88,64
360	N.PONTE-500	6.320,89	-88,16	7.345,76	-87,75
370	S.SIMAO-500	9.929,61	-88,59	10.688,76	-88,16
500	A.VERMELHA-6GR	6.869,52	-89,18	8.475,42	-89,27
535	A.VERMELHA-500	8.299,65	-88,25	10.078,82	-88,29
536	A.VERMELHA-440	3.419,34	-89,28	4.202,73	-89,33
800	G.B.MUNHOZ-4GR	10.621,81	-89,62	6.974,83	-89,04
808	S.CAXIAS-4GR	9.447,49	-89,25	7.770,24	-89,04
810	S.SEGREDO-4GR	12.302,07	-89,53	9.169,81	-89,15
814	BATEIAS-230	5.254,63	-87,73	6.038,26	-87,44
824	G.B.MUNHOZ-500	12.980,12	-87,83	13.155,25	-87,04
834	S.MATEUS-230	1.373,51	-80,45	938,42	-76,80
839	CASCAVEL-230	4.031,88	-86,18	3.461,72	-81,75
840	CASCAVEL-138	1.720,58	-88,37	1.740,02	-86,64
848	F.CHOPIM-138	1.083,75	-88,44	1.123,21	-88,05
856	SEGREDO-500	14.285,76	-88,27	15.026,95	-87,78
895	BATEIAS-500	7.850,39	-86,60	7.889,78	-85,81
896	CASCAVEL OESTE-500	6.268,86	-87,11	6.113,96	-85,38
897	S.CAXIAS-500	9.401,75	-88,11	10.520,13	-87,85
898	F.CHOPIM-230	3.478,49	-84,99	3.305,51	-83,49
904	ITÁ-5GR	10.268,39	-89,41	7.740,08	-88,92
915	MACHADINHO-3GR	8.888,08	-89,62	5.518,60	-88,65

Relatório de Nível de Curto-Circuito

Barra		Trifásico		Monofásico	
Número	Nome	Módulo [MVA]	Ângulo [°]	Módulo [MVA]	Ângulo [°]
919	S.OSÓRIO-4GR	4.865,32	-88,28	4.130,81	-88,61
925	S.SANTIAGO-4GR	11.088,72	-89,69	7.435,66	-88,94
933	AREIA-500	13.556,73	-87,85	13.770,18	-86,88
934	AREIA-230	5.936,80	-87,90	5.896,14	-87,65
938	BLUMENAU-500	5.377,48	-85,91	6.062,67	-86,04
939	BLUMENAU-230	4.561,44	-86,30	5.192,79	-86,48
955	C.NOVOS-500	9.459,33	-87,35	7.784,73	-83,28
959	CURITIBA-500	7.590,35	-86,41	7.987,93	-85,74
960	CURITIBA-230	5.447,72	-86,98	5.822,14	-86,63
964	CAXIAS-500	5.497,36	-86,97	5.903,62	-86,09
965	CAXIAS-230	4.113,83	-87,74	4.779,38	-87,35
976	GRAVATAÍ-500	4.537,63	-86,69	5.239,07	-86,62
995	ITÁ-500	10.778,81	-88,13	11.403,50	-87,53
1015	JOINVILLE-230	2.769,94	-82,48	2.043,52	-75,54
1030	MACHADINHO-500	9.975,08	-87,88	9.590,10	-86,57
1047	S.OSÓRIO-230	4.332,19	-86,32	4.945,25	-86,70
1060	S.SANTIAGO-500	14.101,18	-88,30	14.047,03	-87,13
1210	GRAVATAÍ-230	3.787,26	-87,24	4.590,58	-87,27
1503	ITAJUBÁ-500	2.945,45	-86,85	2.611,61	-86,78
1504	ITAJUBÁ-138	1.240,37	-88,68	1.626,87	-88,71
2458	CASCAVEL-230	4.380,36	-87,18	4.793,30	-86,52

5) Sistema-Teste de 107 Barras

Relatório de Nível de Curto-Circuito

Barra		Trifásico		Monofásico	
Número	Nome	Módulo [MVA]	Ângulo [°]	Módulo [MVA]	Ângulo [°]
12	L.C.BARRETO-6GR	6.397,81	-89,20	7.999,40	-89,27
16	FURNAS-8GR	5.787,14	-88,95	6.935,36	-89,06
18	ITUMBIARA-6GR	11.787,13	-89,31	14.160,65	-89,38
20	MARIMBONDO-8GR	8.303,40	-89,36	10.040,20	-89,44
21	MANSO-4GR	501,76	-86,37	634,12	-86,88
22	M.MORAES-6GR	1.783,34	-89,70	2.277,83	-89,70
35	CORUMBÁ--3GR	2.497,49	-89,16	2.910,78	-89,19
48	IBIÚNA-4CS	7.217,57	-88,88	8.778,80	-89,06
86	IBIÚNA-345	7.423,66	-88,12	8.904,91	-88,39
100	MARIMBONDO-500	10.509,87	-88,04	11.843,07	-88,15
101	ARARAQUARA-500	6.854,59	-87,22	4.113,27	-84,27
102	POÇOS-500	4.939,32	-87,36	3.790,36	-85,20
103	CAMPINAS-500	6.277,15	-87,02	4.790,57	-84,19
104	C.PAULISTA-500	4.105,28	-86,82	3.330,67	-85,37
106	ADRIANÓPOLIS-500	3.290,13	-86,59	2.754,10	-85,22
120	P.CALDAS-345	5.942,02	-86,78	4.609,52	-83,76
122	IBIÚNA-500	7.555,83	-87,45	9.494,39	-87,74

Relatório de Nível de Curto-Circuito

Número	Barra Nome	Trifásico		Monofásico	
		Módulo [MVA]	Ângulo [°]	Módulo [MVA]	Ângulo [°]
123	CAMPINAS-345	3.523,00	-87,40	3.194,04	-86,25
126	GUARULHOS-345	5.478,15	-87,19	3.036,61	-79,36
131	M.MORAES-345	6.070,48	-86,87	5.557,20	-85,77
134	L.C.BARRETO-345	8.754,01	-87,91	10.417,64	-87,78
136	FURNAS-345	7.146,79	-87,28	8.265,66	-87,34
138	ITUTINGA-345	3.092,19	-85,93	1.755,79	-77,90
140	ADRIANÓPOLIS-345	2.930,87	-86,68	2.664,86	-85,67
210	ITUMBIARA-500	13.028,44	-88,45	15.923,85	-88,44
213	MARIMBONDO-345	4.558,53	-87,94	4.517,99	-88,24
216	P.COLÔMBIA-345	5.416,75	-86,76	3.884,95	-85,09
217	ITUMBIARA-345	8.790,54	-88,51	10.028,13	-88,49
218	BANDEIRA-345	3.932,92	-86,35	2.055,25	-83,48
219	BRASÍLIA SUL-345	4.412,78	-86,84	3.617,76	-84,75
220	CORUMBÁ-345	4.104,70	-86,80	4.329,16	-86,47
225	ITUMBIARA-230	4.524,69	-88,98	5.133,71	-89,05
228	BRASÍLIA SUL-230	1.705,31	-88,78	1.815,37	-88,09
231	RIO VERDE-230	1.271,39	-83,57	670,56	-74,14
233	SAMAMBAIA-500	5.055,24	-86,85	3.988,81	-85,02
234	SAMAMBAIA-345	4.725,22	-86,97	3.977,17	-85,39
300	EMBORÇAÇÃO-4GR	6.831,15	-89,32	8.193,97	-89,35
301	JAGUARA-4GR	4.126,89	-89,56	3.513,66	-89,18
302	N.PONTE-3GR	4.372,75	-89,28	5.191,25	-89,28
303	S.SIMAO-6GR	9.537,31	-89,42	7.602,71	-89,10
305	V.GRANDE-4GR	3.753,98	-88,98	4.362,16	-89,06
320	EMBORÇAÇÃO-500	8.949,01	-88,12	10.315,50	-87,85
325	JAGUARA-500	8.412,77	-88,16	8.724,74	-87,31
326	JAGUARA-345	8.247,29	-87,87	8.830,93	-86,83
360	N.PONTE-500	7.577,26	-87,91	8.441,20	-87,46
370	S.SIMÃO-500	10.454,67	-88,40	11.090,73	-88,01
396	V.GRANDE-345	6.365,30	-87,15	7.016,91	-87,12
500	A.VERMELHA-6GR	6.979,19	-89,13	8.586,45	-89,23
535	A.VERMELHA-500	8.586,64	-88,12	10.359,32	-88,18
536	A.VERMELHA-440	3.467,14	-89,24	4.250,77	-89,29
800	G.B.MUNHOZ-4GR	10.622,90	-89,62	6.975,14	-89,04
808	S.CAXIAS-4GR	9.447,65	-89,25	7.770,31	-89,04
810	S.SEGREDO-4GR	12.302,98	-89,52	9.170,15	-89,15
814	BATEIAS-230	5.262,39	-87,67	6.044,90	-87,39
824	G.B.MUNHOZ-500	12.987,49	-87,80	13.160,23	-87,02
834	S.MATEUS-230	1.373,70	-80,44	938,47	-76,80
839	CASCAVEL-230	4.031,95	-86,18	3.461,75	-81,75
840	CASCAVEL-138	1.720,59	-88,37	1.740,03	-86,64
848	F.CHOPIM-138	1.083,75	-88,44	1.123,21	-88,05
856	SEGREDO-500	14.289,60	-88,25	15.029,75	-87,77
895	BATEIAS-500	7.867,47	-86,51	7.900,66	-85,75
896	CASCAVEL OESTE-500	6.269,04	-87,10	6.114,06	-85,38
897	S.CAXIAS-500	9.402,14	-88,10	10.520,46	-87,85

Relatório de Nível de Curto-Circuito

Número	Barra Nome	Trifásico		Monofásico	
		Módulo [MVA]	Ângulo [°]	Módulo [MVA]	Ângulo [°]
898	F.CHOPIM-230	3.478,54	-84,99	3.305,54	-83,49
904	ITÁ-5GR	10.268,79	-89,41	7.740,23	-88,92
915	MACHADINHO-3GR	8.888,37	-89,62	5.518,68	-88,65
919	S.OSÓRIO-4GR	4.865,37	-88,28	4.130,83	-88,61
925	S.SANTIAGO-4GR	11.089,00	-89,68	7.435,74	-88,94
933	AREIA-500	13.565,13	-87,82	13.775,87	-86,86
934	AREIA-230	5.938,30	-87,88	5.897,11	-87,64
938	BLUMENAU-500	5.381,25	-85,88	6.065,87	-86,02
939	BLUMENAU-230	4.564,22	-86,27	5.195,19	-86,46
955	C.NOVOS-500	9.462,02	-87,33	7.785,87	-83,27
959	CURITIBA-500	7.602,12	-86,35	7.996,44	-85,69
960	CURITIBA-230	5.453,56	-86,93	5.826,51	-86,60
964	CAXIAS-500	5.497,91	-86,97	5.904,04	-86,09
965	CAXIAS-230	4.114,14	-87,73	4.779,66	-87,34
976	GRAVATAÍ-500	4.537,98	-86,68	5.239,38	-86,62
995	ITÁ-500	10.780,13	-88,13	11.404,47	-87,53
1015	JOINVILLE-230	2.771,08	-82,46	2.043,88	-75,52
1030	MACHADINHO-500	9.976,86	-87,87	9.591,17	-86,56
1047	S.OSÓRIO-230	4.332,27	-86,32	4.945,32	-86,70
1060	S.SANTIAGO-500	14.103,06	-88,29	14.048,25	-87,13
1210	GRAVATAÍ-230	3.787,50	-87,23	4.590,82	-87,27
1503	ITAJUBÁ-500	3.946,65	-86,93	3.433,32	-86,38
1504	ITAJUBÁ-138	1.388,61	-88,92	1.812,06	-88,91
2458	CASCADEL-230	4.380,45	-87,18	4.793,37	-86,52
4501	BARRA DO PEIXE-230	956,83	-83,26	544,61	-75,65
4521	ITIQUIRA-230	673,36	-83,04	770,25	-83,51
4522	RONDONÓPOLIS-230	1.063,98	-84,08	1.221,59	-83,85
4523	ITIQUIRA-2GR	430,26	-87,60	507,27	-87,92
4530	COXIPÓ-CE-12	460,33	-89,19	488,13	-89,23
4532	COXIPÓ-230	1.346,27	-87,62	1.615,30	-87,45
4533	COXIPÓ-138	1.442,71	-88,09	1.910,80	-88,17
4542	NOBRES-230	699,43	-84,84	677,40	-82,11
4552	N.MUTUM-230	394,30	-82,94	233,28	-78,36
4562	SORRISO-230	253,05	-82,06	144,96	-77,82
4572	LUCAS-RV 230	295,40	-82,33	170,84	-77,98
4582	SINOP-230	212,77	-81,81	120,80	-77,67
4592	MANSO-230	569,65	-84,90	753,21	-85,38
4596	CUIABÁ-GAS-2GR	1.763,86	-88,94	1.771,03	-89,15
4623	RONDONÓPOLIS-138	811,11	-84,64	1.024,55	-84,91
4703	CUIABÁ-138	1.232,87	-85,19	1.165,63	-82,50
4804	GUAPORE-3GR	705,51	-88,44	882,09	-88,67
4805	GUAPORE-138	649,35	-86,26	797,47	-86,70
4807	JAURU-138	686,63	-86,63	746,30	-86,39
4862	JAURU-230	726,26	-86,25	726,19	-86,18