

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Avaliação de Regiões de Segurança  
Dinâmicas de Sistemas Elétricos de Potência  
com Áreas Ilhadas**

**Bruno Venâncio**

**Itajubá, Dezembro de 2016**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA ELÉTRICA

Bruno Venâncio

Avaliação de Regiões de Segurança  
Dinâmicas de Sistemas Elétricos de Potência  
com Áreas Ilhadas

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Sistemas Elétricos de Potência

Orientador: Pedro Paulo de Carvalho Mendes

Coorientador: Zulmar Machado Soares Júnior

Dezembro de 2016

Itajubá - MG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA ELÉTRICA

Avaliação de Regiões de Segurança  
Dinâmicas de Sistemas Elétricos de Potência  
com Áreas Ilhadas

**Bruno Venâncio**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 16  
de Dezembro de 2016, conferindo ao autor o título de  
**Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.**

***Banca Examinadora:***

Prof. Dr. Pedro Paulo de Carvalho Mendes (Orientador)

Prof. Dr. Zulmar Soares Machado Júnior (Coorientador)

Prof. Dr. Ronaldo Rossi

Prof. Dr. Maurício Campos Passaro

**Itajubá**

**2016**

*Dedico este trabalho a Deus o Qual me mostrou o verdadeiro significado do amor através de Seu Filho Jesus Cristo. Dedico também este trabalho aos meus pais, que sempre me amaram e cuidaram de mim.*

# Agradecimentos

Em primeiro lugar a Deus, que é o responsável por eu estar aqui e que me capacita na minha vida.

Aos meus queridos e amados pais, que sempre me amaram e me deram apoio em toda a minha vida.

Aos professores Pedro Paulo e Zulmar, pelo apoio, amizade e ajuda ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

A HPPA - High Performance Power Systems Applications, pela disponibilização da versão acadêmica do programa ORGANON, que foi utilizada nesta dissertação.

Aos amigos e professores do GESis - Grupo de Engenharia de Sistemas da UNIFEI, pela amizade, ajuda e conhecimentos adquiridos.

Aos amigos de trabalho da Operação da CPFL - Companhia Paulista de Força e Luz, pela amizade, ajuda e conhecimentos adquiridos.

A CAPES, pelo apoio financeiro em parte do desenvolvimento deste trabalho.

Aos demais familiares, amigos e a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

*"O futuro começa agora, Deus já abençoou".  
Ray Venâncio, minha querida mãe*

# Resumo

Ilhamentos e operações ilhadas em sistemas de potência, podem ser utilizados como forma de aumentar a confiabilidade sistêmica, durante contingências ou grandes perturbações. Muitos agentes dos sistemas de potência, evitam realizar ilhamentos e operações ilhadas, pois, estes eventos podem gerar uma instabilidade na região ilhada, o que, muitas vezes, é mais prejudicial ao sistema, do que uma interrupção total das cargas na ilha formada. Para minimizar estes riscos de instabilidade, são necessários estudos de estabilidade, para avaliar os níveis de tensão, carregamento e frequência do sistema ilhado. A análise tradicional de estabilidade, não é capaz de avaliar a segurança do sistema frente a ilhamentos e operações ilhadas, ou seja, não é capaz de avaliar para determinado ponto operativo o quão distante de uma instabilidade este está. Para determinar estas margens de segurança, as quais, definem os limites operativos (limites de geração) que o sistema pode chegar, para que estas condições operativas possam ser realizadas com sucesso, é necessário aplicar ferramentas que mapeiam as regiões de segurança dinâmicas de interesse. Frente a esta necessidade, esta dissertação propõe uma nova metodologia de estudos de ilhamentos e operações ilhadas, sendo esta, composta por duas etapas, onde na primeira é realizada um estudo preliminar de segurança (através do uso de regiões de segurança dinâmicas), e na segunda é realizada uma análise tradicional de estabilidade, possuindo esta, interesse no comportamento da frequência sistêmica. Para mostrar esta nova metodologia e sua abrangência são realizadas aplicações para um sistema de transmissão e para um sistema de subtransmissão/distribuição, sendo o resultado destas, obtidos através do uso das regiões de segurança do programa ORGANON.

**Palavras-chaves:** Regiões de segurança dinâmicas, ilhamento, operações ilhadas, organon, avaliação de segurança dinâmica, estabilidade de sistemas de potência.

# Abstract

Islanding and islanding operations in power systems can be used as a way to increase systemic reliability during contingencies or large disturbances. Many agents of the power system avoid conduct islanding and islanding operations as these events may cause instability in the islanded region, which many times, it is more harmful to the system than a complete interruption of the loads in the formed island. To minimize these risks of instability, stability studies are needed in order to evaluate voltage levels, loading and frequency of the islanded system. Traditional stability analysis, is not able to assess the system security in case of islanding and islanding operations, in other words, is not able to assess for a given operating point how far from instability it is. To determine these security margins, which define the operating limits (limits generation) that the system can reach to these operating conditions can be successfully performed, it is necessary to apply tools that map the dynamic security regions of interest. Facing this need, this thesis proposes a new methodology for islanding and islanding operations studies, which is composed of two steps, in the first a preliminary safety study is conducted (through the use of dynamic security regions), and in the second a traditional stability analysis is performed, with interest in the behavior of system frequency. In order to demonstrate this new methodology and its comprehensiveness, applications are conducted for a transmission system and a sub-transmission/distribution system and the result is obtained through the use of security regions of the ORGANON program.

**Key-words:** Dynamic security regions, dynamic security assessment, islanding, islanding operations, organon, power system stability.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Região de segurança que atende aos critérios de frequência (CHEN; XU; OSTERGAARD, 2009) e (CHEN; XU; OSTERGAARD, 2011). . . . .	42
Figura 2 – Gráfico tridimensional com os grupos G1, G2 e G3 (LONDERO et al., 2010a). . . . .	50
Figura 3 – Nomograma G2xG3 do gráfico tridimensional da Figura 2 (LONDERO et al., 2010a). . . . .	50
Figura 4 – Região de segurança com PO dentro da região estável de operação. . . . .	51
Figura 5 – Região de segurança com PO fora da região estável de operação. . . . .	54
Figura 6 – Sistema equivalente 65 barras Sul-Sudeste (ALVES, 2007). . . . .	60
Figura 7 – Diagrama esquemático dos grupos geradores do sistema Sul-Sudeste. . . . .	61
Figura 8 – Nomograma G1xG2 - sistema interligado - carga elevada - área 1 exportando. . . . .	68
Figura 9 – Nomograma G1xG3 - sistema interligado - carga elevada - área 1 exportando. . . . .	68
Figura 10 – Nomograma G2xG3 - sistema interligado - carga elevada - área 1 exportando. . . . .	69
Figura 11 – Nomograma G1xG2 - sistema interligado - carga elevada - área 2 exportando. . . . .	70
Figura 12 – Nomograma G1xG3 - sistema interligado - carga elevada - área 2 exportando. . . . .	70
Figura 13 – Nomograma G2xG3 - sistema interligado - carga elevada - área 2 exportando. . . . .	70
Figura 14 – Nomograma G1xG2 - sistema interligado - carga moderada – área 1 exportando. . . . .	72
Figura 15 – Nomograma G1xG3 - sistema interligado - carga moderada - área 1 exportando. . . . .	72
Figura 16 – Nomograma G2xG3 - sistema interligado - carga moderada - área 1 exportando. . . . .	72
Figura 17 – Nomograma G1xG2 - sistema interligado - carga reduzida - área 1 exportando. . . . .	74
Figura 18 – Nomograma G1xG3 - sistema interligado - carga reduzida - área 1 exportando. . . . .	74
Figura 19 – Nomograma G2xG3 - sistema interligado - carga reduzida - área 1 exportando. . . . .	74
Figura 20 – Abertura da interligação Bateias - Ibiúna. . . . .	77

Figura 21 – Nomograma G1xG2 - sistema durante ilhamento - carga elevada - área 1 - exportando. . . . .	78
Figura 22 – Nomograma G1xG3 - sistema durante ilhamento - carga elevada - área 1 - exportando. . . . .	79
Figura 23 – Nomograma G2xG3 - sistema durante ilhamento - carga elevada - área 1 - exportando. . . . .	79
Figura 24 – Nomograma G1xG2 - sistema durante ilhamento - carga elevada - área 2 - exportando. . . . .	80
Figura 25 – Nomograma G1xG3 - sistema durante ilhamento - carga elevada - área 2 - exportando. . . . .	81
Figura 26 – Nomograma G2xG3 - sistema durante ilhamento - carga elevada - área 2 - exportando. . . . .	81
Figura 27 – Nomograma G1xG2 - sistema durante ilhamento - carga moderada - área 1 - exportando. . . . .	83
Figura 28 – Nomograma G1xG3 - sistema durante ilhamento - carga moderada - área 1 - exportando. . . . .	83
Figura 29 – Nomograma G2xG3 - sistema durante ilhamento - carga moderada - área 1 - exportando. . . . .	83
Figura 30 – Nomograma G1xG2 - sistema durante ilhamento - carga reduzida - área 1 - exportando. . . . .	84
Figura 31 – Nomograma G1xG3 - sistema durante ilhamento - carga reduzida - área 1 - exportando. . . . .	84
Figura 32 – Nomograma G2xG3 - sistema durante ilhamento - carga reduzida - área 1 - exportando. . . . .	85
Figura 33 – Ilha 1 simulada do sistema equivalente ilhado 65 barras Sul-Sudeste, adaptado de (ALVES, 2007). . . . .	89
Figura 34 – Grupos geradores G1, G2 e G3 no sistema equivalente ilhado de 65 barras Sul-Sudeste. . . . .	90
Figura 35 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga elevada - área 1 - exportando.	92
Figura 36 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga elevada - área 1 - exportando.	92
Figura 37 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga elevada - área 1 - exportando.	93
Figura 38 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga elevada - área 2 - exportando.	94
Figura 39 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga elevada - área 2 - exportando.	94
Figura 40 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga elevada - área 2 - exportando.	94
Figura 41 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga moderada - área 1 - exportando. . . . .	96
Figura 42 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga moderada - área 1 - exportando. . . . .	96

Figura 43 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga moderada - área 1 - exportando. . . . .	97
Figura 44 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga reduzida - área 1 - exportando. . . . .	98
Figura 45 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga reduzida - área 1 - exportando. . . . .	98
Figura 46 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga reduzida - área 1 - exportando. . . . .	98
Figura 47 – Ilha 2 simulada do sistema equivalente ilhado 65 barras Sul-Sudeste, adaptado de (ALVES, 2007). . . . .	101
Figura 48 – Grupos geradores G1, G2 e G3 no sistema equivalente ilhado de 65 barras Sul-Sudeste. . . . .	102
Figura 49 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga elevada - área 1 - exportando.	105
Figura 50 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga elevada - área 1 - exportando.	105
Figura 51 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga elevada - área 1 - exportando.	105
Figura 52 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga elevada - área 2 - exportando.	106
Figura 53 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga elevada - área 2 - exportando.	107
Figura 54 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga elevada - área 2 - exportando.	107
Figura 55 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga moderada - área 1 - exportando. . . . .	108
Figura 56 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga moderada - área 1 - exportando. . . . .	109
Figura 57 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga moderada - área 1 - exportando. . . . .	109
Figura 58 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga reduzida - área 1 - exportando. . . . .	110
Figura 59 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga reduzida - área 1 - exportando. . . . .	110
Figura 60 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga reduzida - área 1 - exportando. . . . .	110
Figura 61 – Sistema <i>Brazilian Birds</i> (OLIVEIRA, 2014). . . . .	116
Figura 62 – Área modificada do sistema <i>Brazilian Birds</i> (OLIVEIRA, 2014). . . . .	117
Figura 63 – Sistema <i>Brazilian Birds</i> com modificação da área da Figura 62, adaptado de (OLIVEIRA, 2014). . . . .	117
Figura 64 – Grupos geradores G1, G2 e G3 do sistema <i>Brazilian Birds 2</i> . . . . .	120
Figura 65 – Nomograma G1xG2 - sistema interligado - carga elevada. . . . .	125
Figura 66 – Nomograma G1xG3 - sistema interligado - carga elevada. . . . .	125
Figura 67 – Nomograma G2xG3 - sistema interligado - carga elevada. . . . .	125
Figura 68 – Nomograma G1xG2 - sistema interligado - carga moderada. . . . .	127

Figura 69 – Nomograma G1xG3 - sistema interligado - carga moderada. . . . .	127
Figura 70 – Nomograma G2xG3 - sistema interligado - carga moderada. . . . .	127
Figura 71 – Nomograma G1xG2 - sistema interligado - carga reduzida. . . . .	128
Figura 72 – Nomograma G1xG3 - sistema interligado - carga reduzida. . . . .	129
Figura 73 – Nomograma G2xG3 - sistema interligado - carga reduzida. . . . .	129
Figura 74 – Abertura da interligação entre a área 3 e área 1. . . . .	132
Figura 75 – Nomograma G1xG2 - sistema durante ilhamento - carga elevada. . . .	133
Figura 76 – Nomograma G1xG3 - sistema durante ilhamento - carga elevada. . . .	133
Figura 77 – Nomograma G2xG3 - sistema durante ilhamento - carga elevada. . . .	133
Figura 78 – Nomograma G1xG2 - sistema durante ilhamento - carga moderada. . .	135
Figura 79 – Nomograma G1xG3 - sistema durante ilhamento - carga moderada. . .	135
Figura 80 – Nomograma G2xG3 - sistema durante ilhamento - carga moderada. . .	135
Figura 81 – Nomograma G1xG2 - sistema durante ilhamento - carga reduzida. . . .	136
Figura 82 – Nomograma G1xG3 - sistema durante ilhamento - carga reduzida. . . .	137
Figura 83 – Nomograma G2xG3 - sistema durante ilhamento - carga reduzida. . . .	137
Figura 84 – Ilha simulada do sistema <i>Brazilian Birds 2</i> , adaptado de (OLIVEIRA, 2014). . . . .	140
Figura 85 – Grupos geradores G1, G2 e G3 no sistema <i>Brazilian Birds 2</i> . . . . .	141
Figura 86 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga elevada. . . . .	143
Figura 87 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga elevada. . . . .	143
Figura 88 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga elevada. . . . .	144
Figura 89 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga moderada. . . . .	145
Figura 90 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga moderada. . . . .	145
Figura 91 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga moderada. . . . .	146
Figura 92 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga reduzida. . . . .	147
Figura 93 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga reduzida. . . . .	147
Figura 94 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga reduzida. . . . .	147

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Dispositivos de Proteção e suas Funções, Retiradas e Adaptadas de (NIGIM; HEGAZY, 2003). . . . .	37
Tabela 2 – Comparação entre os Métodos Ativos e Passivos (FUNABASHI; KOYANAGI; YOKOYAMA, 2003). . . . .	38
Tabela 3 – Comparação entre as Técnicas Remotas e Locais (MAHAT; CHEN; BAK-JENSEN, 2008). . . . .	39
Tabela 4 – Interpretação da Região de Segurança da Figura 4, adaptado de (ONS, 2009b). . . . .	53
Tabela 5 – Interpretação da Região de Segurança da Figura 5, adaptado de (ONS, 2009b). . . . .	55
Tabela 6 – Cenários de Carga Utilizados para as Simulações. . . . .	59
Tabela 7 – Tipos de Contingência e Respective Mneônicos. . . . .	61
Tabela 8 – Grupos Geradores - Carga Elevada - Área 1 Exportando. . . . .	62
Tabela 9 – Grupos Geradores - Carga Elevada - Área 2 Exportando. . . . .	62
Tabela 10 – Grupos Geradores - Carga Moderada - Área 1 Exportando. . . . .	63
Tabela 11 – Grupos Geradores - Carga Reduzida - Área 1 Exportando. . . . .	63
Tabela 12 – Despachos da Barra <i>Swing</i> Itumbiara. . . . .	63
Tabela 13 – Carregamentos e Fluxos do Sistema Sul-Sudeste. . . . .	64
Tabela 14 – Variações de Carga ou Geração - <i>LS</i> . . . . .	65
Tabela 15 – Curtos-Circuitos <i>Shunt</i> , com Abertura de Linhas - <i>CAL</i> . . . . .	66
Tabela 16 – Curtos-Circuitos <i>Shunt</i> em Barras - <i>CSB</i> . . . . .	67
Tabela 17 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	69
Tabela 18 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	71
Tabela 19 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	73
Tabela 20 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	73
Tabela 21 – Comparação das Simulações do Sistema Interligado. . . . .	75
Tabela 22 – Comparativo dos Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	76
Tabela 23 – Contingências de Ilhamento. . . . .	77
Tabela 24 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	80
Tabela 25 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	82
Tabela 26 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	82
Tabela 27 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	85
Tabela 28 – Comparação das Simulações do Sistema Durante o Ilhamento . . . . .	86
Tabela 29 – Comparativo dos Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	87

Tabela 30 – Despachos da Barra <i>Swing</i> Itumbiara. . . . .	88
Tabela 31 – Grupos Geradores - Ilha 1 – Carga Elevada – Área 1 Exportando. . . . .	88
Tabela 32 – Grupos Geradores - Ilha 1 – Carga Elevada – Área 2 Exportando. . . . .	89
Tabela 33 – Grupos Geradores - Ilha 1 - Carga Moderada – Área 1 Exportando. . . . .	90
Tabela 34 – Grupos Geradores - Ilha 1 – Carga Reduzida - Área 1 Exportando. . . . .	91
Tabela 35 – Carregamentos e Fluxos do Sistema Ilha 1. . . . .	91
Tabela 36 – Tipos de Contingência e Respectivos Mnemônicos. . . . .	91
Tabela 37 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	93
Tabela 38 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	95
Tabela 39 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	96
Tabela 40 – Limites De Geração Que Garantem A Segurança Do Sistema. . . . .	97
Tabela 41 – Comparação das Simulações do Sistema Interligado. . . . .	99
Tabela 42 – Comparativo dos Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	100
Tabela 43 – Despachos da Barra <i>Swing</i> G. B. Munhoz. . . . .	102
Tabela 44 – Grupos Geradores - Carga Elevada - Ilha 2 - Área 1 - Exportando. . . . .	102
Tabela 45 – Grupos Geradores - Carga Elevada-Ilha 2- Área 2- Exportando. . . . .	103
Tabela 46 – Grupos Geradores - Carga Moderada-Ilha 2- Área 1- Exportando. . . . .	103
Tabela 47 – Grupos Geradores - Carga Reduzida-Ilha 2- Área 1- Exportando. . . . .	103
Tabela 48 – Tipos de Contingência e Respectivos Mnemônicos . . . . .	103
Tabela 49 – Carregamentos e Fluxos do Sistema Ilha 2. . . . .	104
Tabela 50 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	106
Tabela 51 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	107
Tabela 52 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	108
Tabela 53 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	111
Tabela 54 – Comparação das Simulações do Sistema Interligado. . . . .	111
Tabela 55 – Comparativo dos Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	112
Tabela 56 – Cenários de Carga Utilizados para as Simulações. . . . .	118
Tabela 57 – Tipos de Contingência e Respectivos Mnemônicos. . . . .	119
Tabela 58 – Despachos da Barra <i>Swing</i> Canário. . . . .	120
Tabela 59 – Grupos Geradores - Carga Elevada. . . . .	121
Tabela 60 – Grupos Geradores - Carga Moderada. . . . .	121
Tabela 61 – Grupos Geradores - Carga Reduzida. . . . .	121
Tabela 62 – Carregamentos e Fluxo do Sistema <i>Brazilian Birds 2</i> . . . . .	122
Tabela 63 – Curtos-Circuitos <i>Shunt</i> , com Abertura Das Linhas - <i>CAL</i> . . . . .	123
Tabela 64 – Contingências de Variações de Carga e Geração - <i>LS</i> . . . . .	124
Tabela 65 – Curtos-Circuitos <i>Shunt</i> em Barras - <i>CBS</i> . . . . .	124
Tabela 66 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	126

Tabela 67 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	128
Tabela 68 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	129
Tabela 69 – Comparação das Simulações do Sistema Interligado. . . . .	130
Tabela 70 – Comparativo dos Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	131
Tabela 71 – Contingências de Ilhamento. . . . .	131
Tabela 72 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	134
Tabela 73 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	134
Tabela 74 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	137
Tabela 75 – Comparação das Simulações do Sistema Durante Ilhamento. . . . .	138
Tabela 76 – Comparativo dos Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	139
Tabela 77 – Despachos da Barra <i>Swing</i> UTE Tiziu. . . . .	141
Tabela 78 – Grupos Geradores - Carga Elevada. . . . .	141
Tabela 79 – Grupos Geradores - Carga Moderada. . . . .	142
Tabela 80 – Grupos Geradores - Carga Reduzida. . . . .	142
Tabela 81 – Carregamentos e Fluxos do Sistema Ilha 1. . . . .	142
Tabela 82 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	144
Tabela 83 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	145
Tabela 84 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	146
Tabela 85 – Comparação das Simulações do Sistema Ilhado. . . . .	148
Tabela 86 – Comparativo dos Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema. . . . .	149
Tabela 87 – Tipos de Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	157
Tabela 88 – Barras de Geração do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	159
Tabela 89 – Linhas de Transmissão do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	159
Tabela 90 – Dados Elétricos de Linhas de Transmissão do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	161
Tabela 91 – Limites de Carregamento das Linhas de Transmissão do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	162
Tabela 92 – Transformadores do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	164
Tabela 93 – Dados Elétricos de Transformadores do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	165
Tabela 94 – Barras Controladas e Taps dos Transformadores do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	166
Tabela 95 – Limites de Carregamentos dos Transformadores do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	168
Tabela 96 – Dados de Compensação Reativa do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	169
Tabela 97 – Limites de Tensão do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	169
Tabela 98 – Barras de Geração e Barra <i>Swing</i> do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	170

Tabela 99 – Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	170
Tabela 100–Continuação da Tabela 99 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	171
Tabela 101–Compensação Reativa do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	172
Tabela 102–Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	172
Tabela 103–Barras de Geração e Barra <i>Swing</i> do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	173
Tabela 104–Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	173
Tabela 105–Continuação da Tabela 104 - Gerações e Seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	174
Tabela 106–Compensação Reativa do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	174
Tabela 107–Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	175
Tabela 108–Barras de Geração e Barra <i>Swing</i> do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	176
Tabela 109–Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	176
Tabela 110–Continuação da Tabela 109 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	177
Tabela 111–Compensação Reativa do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	177
Tabela 112–Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	178
Tabela 113–Barras de Geração e Barra <i>Swing</i> do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	179
Tabela 114–Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	179
Tabela 115–Continuação da Tabela 114 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	180
Tabela 116–Compensação Reativa do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	180
Tabela 117–Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	181
Tabela 118–Barras de Geração e Barra <i>Swing</i> do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	182
Tabela 119–Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	182
Tabela 120–Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	183
Tabela 121–Continuação da Tabela 120 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	183
Tabela 122–Barras de Geração e Barra <i>Swing</i> do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	184
Tabela 123–Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	184
Tabela 124–Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	184
Tabela 125–Continuação da Tabela 124 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	185
Tabela 126–Barras de Geração e Barra <i>Swing</i> do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	186
Tabela 127–Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	186
Tabela 128–Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	186
Tabela 129–Continuação da Tabela 128 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	187
Tabela 130–Barras de Geração e Barra <i>Swing</i> do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	188

Tabela 131 – Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	188
Tabela 132 – Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	188
Tabela 133 – Continuação da Tabela 132 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	189
Tabela 134 – Barras de Geração e Barra <i>Swing</i> do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.	190
Tabela 135 – Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	190
Tabela 136 – Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	191
Tabela 137 – Continuação da Tabela 136 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	191
Tabela 138 – Compensação Reativa do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	191
Tabela 139 – Barras de Geração e Barra <i>Swing</i> do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.	192
Tabela 140 – Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	192
Tabela 141 – Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	192
Tabela 142 – Continuação da Tabela 141 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	193
Tabela 143 – Compensação Reativa do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	193
Tabela 144 – Barras de Geração e Barra <i>Swing</i> do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.	194
Tabela 145 – Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	194
Tabela 146 – Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	194
Tabela 147 – Continuação da Tabela 146 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	195
Tabela 148 – Compensação Reativa do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	195
Tabela 149 – Barras de Geração e Barra <i>Swing</i> do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.	196
Tabela 150 – Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	196
Tabela 151 – Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	196
Tabela 152 – Continuação da Tabela 151 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	197
Tabela 153 – Compensação Reativa do Sistema Equivalente Sul-Sudeste. . . . .	197
Tabela 154 – Dados de Classificação - G. B. Munhoz. . . . .	198
Tabela 155 – Dados do Gerador Síncrono - G. B. Munhoz. . . . .	198
Tabela 156 – Dados dos Reguladores do Gerador - G. B. Munhoz. . . . .	199
Tabela 157 – Dados de Classificação - Salto Segredo. . . . .	200
Tabela 158 – Dados do Gerador Síncrono - Salto Segredo. . . . .	200
Tabela 159 – Dados dos Reguladores do Gerador - Salto Segredo. . . . .	201
Tabela 160 – Dados de Classificação - Itá. . . . .	202
Tabela 161 – Dados do Gerador Síncrono - Itá. . . . .	202
Tabela 162 – Dados do Reguladores do Gerador - Itá. . . . .	203
Tabela 163 – Dados de Classificação - Machadinho. . . . .	204
Tabela 164 – Dados do Gerador Síncrono - Machadinho. . . . .	204

Tabela 165–Dados dos Reguladores do Gerador - Machadinho. . . . .	205
Tabela 166–Dados de Classificação - Salto Osório. . . . .	206
Tabela 167–Dados do Gerador Síncrono - Salto Osório. . . . .	206
Tabela 168–Dados dos Reguladores do Gerador - Salto Osório. . . . .	207
Tabela 169–Dado do Regulador OEL do Gerador - Salto Osório. . . . .	207
Tabela 170–Dados de Classificação - Salto Santiago. . . . .	208
Tabela 171–Dados do Gerador Síncrono - Salto Santiago. . . . .	208
Tabela 172–Dados dos Reguladores do Gerador - Salto Santiago. . . . .	209
Tabela 173–Dados de Classificação - Salto Caxias. . . . .	210
Tabela 174–Dados do Gerador Síncrono - Salto Caxias. . . . .	210
Tabela 175–Dados dos Reguladores do Gerador - Salto Caxias. . . . .	211
Tabela 176–Dados de Classificação - Itumbiara. . . . .	212
Tabela 177–Dados do Gerador Síncrono - Itumbiara. . . . .	212
Tabela 178–Dados dos Reguladores do Gerador - Itumbiara. . . . .	213
Tabela 179–Dados de Classificação - Marimbondo. . . . .	214
Tabela 180–Dados do Gerador Síncrono - Marimbondo. . . . .	214
Tabela 181–Dados dos Reguladores do Gerador - Marimbondo. . . . .	215
Tabela 182–Dados de Classificação - Emborcação. . . . .	216
Tabela 183–Dados do Gerador Síncrono - Emborcação. . . . .	216
Tabela 184–Dados dos Reguladores do Gerador - Emborcação. . . . .	217
Tabela 185–Dado do Regulador OEL do Gerador - Emborcação. . . . .	217
Tabela 186–Dados de Classificação - Jaguará. . . . .	218
Tabela 187–Dados do Gerador Síncrono - Jaguará. . . . .	218
Tabela 188–Dados dos Reguladores do Gerador - Jaguará. . . . .	219
Tabela 189–Dados de Classificação - Nova Ponte. . . . .	220
Tabela 190–Dados Do Gerador Síncrono - Nova Ponte. . . . .	220
Tabela 191–Dados Dos Reguladores Do Gerador - Nova Ponte. . . . .	221
Tabela 192–Dado do Regulador OEL do Gerador - Nova Ponte. . . . .	221
Tabela 193–Dados de Classificação - São Simão. . . . .	222
Tabela 194–Dados do Gerador Síncrono- São Simão. . . . .	222
Tabela 195–Dados dos Reguladores do Gerador - São Simão. . . . .	223
Tabela 196–Dados De Classificação - Água Vermelha. . . . .	224
Tabela 197–Dados do Gerador Síncrono - Água Vermelha. . . . .	224
Tabela 198–Dados dos Reguladores do Gerador - Água Vermelha. . . . .	225
Tabela 199–Dados de Classificação - Ibiúna. . . . .	226
Tabela 200–Dados do Gerador Síncrono - Ibiúna. . . . .	226
Tabela 201–Dado do Regulador do Gerador - Ibiúna. . . . .	227
Tabela 202–Tipos de Barras do Sistema <i>Brazilian Birds 2</i> . . . . .	228
Tabela 203–Barras de Geração do Sistema <i>Brazilian Birds 2</i> . . . . .	230

Tabela 204–Linhas de Transmissão do Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	230
Tabela 205–Dados Elétricos de Linhas de Transmissão do Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i>	231
Tabela 206–Limites de carregamento das Linhas de Transmissão do <i>Brazilian Birds</i> 2. . . . .	232
Tabela 207–Transformadores do Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	233
Tabela 208–Dados Elétricos de Transformadores do Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . .	234
Tabela 209–Barras Controladas e Taps dos Transformadores do Sistema <i>Brazilian</i> <i>Birds 2.</i> . . . . .	235
Tabela 210–Limites de Carregamentos dos Transformadores do Sistema <i>Brazilian</i> <i>Birds 2.</i> . . . . .	236
Tabela 211–Dados de Compensação Reativa do Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	237
Tabela 212–Limites de Tensão do Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	237
Tabela 213–Barras de Geração e Barra <i>Swing</i> do Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	238
Tabela 214–Gerações e seus Limites para o Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	238
Tabela 215–Continuação da Tabela 214 - Gerações e seus Limites para o Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	239
Tabela 216–Dados de Compensação Reativa do Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	239
Tabela 217–Carga das Barras do Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	240
Tabela 218–Barras de Geração e Barra <i>Swing</i> do Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	241
Tabela 219–Gerações e seus Limites para o Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	241
Tabela 220–Continuação da Tabela 219 - Gerações e seus Limites para o Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	241
Tabela 221–Carga das Barras do Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	242
Tabela 222–Carga das Barras do Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	242
Tabela 223–Barras de Geração e Barra <i>Swing</i> do Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	243
Tabela 224–Gerações e seus Limites para o Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	243
Tabela 225–Continuação da Tabela 224 - Gerações e seus Limites para o Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	243
Tabela 226–Carga das Barras do Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	244
Tabela 227–Carga das Barras do Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	244
Tabela 228–Barras de Geração e Barra <i>Swing</i> do Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	245
Tabela 229–Carga das Barras do Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	245
Tabela 230–Gerações e seus Limites para o Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	245
Tabela 231–Continuação da Tabela 230 - Gerações e seus Limites para o Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	246
Tabela 232–Barras de Geração e Barra <i>Swing</i> do Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	247
Tabela 233–Carga das Barras do Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	247
Tabela 234–Gerações e seus Limites para o Sistema <i>Brazilian Birds 2.</i> . . . . .	247

Tabela 235 – Continuação da Tabela 234 - Gerações e seus Limites para o Sistema <i>Brazilian Birds 2</i> . . . . .	247
Tabela 236 – Barras de Geração e Barra <i>Swing</i> do Sistema <i>Brazilian Birds 2</i> . . . . .	249
Tabela 237 – Carga das Barras do Sistema <i>Brazilian Birds 2</i> . . . . .	249
Tabela 238 – Gerações e seus Limites para o Sistema <i>Brazilian Birds 2</i> . . . . .	249
Tabela 239 – Continuação da Tabela 238 - Gerações e seus Limites para o Sistema <i>Brazilian Birds 2</i> . . . . .	249
Tabela 240 – Dados de Classificação - Canário. . . . .	251
Tabela 241 – Dados do Gerador Síncrono - Canário. . . . .	251
Tabela 242 – Dados dos Reguladores do Gerador - Canário. . . . .	252
Tabela 243 – Dados de Classificação - Sabiá. . . . .	253
Tabela 244 – Dados do Gerador Síncrono - Sabiá. . . . .	253
Tabela 245 – Dados Dos Reguladores Do Gerador - Sabiá. . . . .	254
Tabela 246 – Dados de Classificação - Tucano. . . . .	255
Tabela 247 – Dados do Gerador Síncrono - Tucano. . . . .	255
Tabela 248 – Dados dos Reguladores do Gerador - Tucano. . . . .	256
Tabela 249 – Dados de Classificação - Gavião. . . . .	257
Tabela 250 – Dados do Gerador Síncrono - Gavião. . . . .	257
Tabela 251 – Dados dos Reguladores do Gerador - Gavião. . . . .	258
Tabela 252 – Dados de Classificação - UTE Tiziu. . . . .	259
Tabela 253 – Dados do Gerador Síncrono - UTE Tiziu. . . . .	259
Tabela 254 – Dados dos Reguladores do Gerador - UTE Tiziu. . . . .	260
Tabela 255 – Dados de Classificação - PCH's Sabiá 1 e Sabiá 2. . . . .	261
Tabela 256 – Dados do Gerador Síncrono - PCH's Sabiá 1 e Sabiá 2. . . . .	261
Tabela 257 – Dados dos Reguladores do Gerador - PCH's Sabiá 1 e Sabiá 2. . . . .	262
Tabela 258 – Dados de Classificação - UTEs Pardal 1 e Pardal 2. . . . .	263
Tabela 259 – Dados do Gerador Síncrono - UTE's Pardal 1 e Pardal 2. . . . .	263
Tabela 260 – Dados dos Reguladores do Gerador - UTE's Pardal 1 e Pardal 2. . . . .	264
Tabela 261 – Dados de Classificação - UTE's Azulão 1 e Azulão 2. . . . .	265
Tabela 262 – Dados do Gerador Síncrono - UTE's Azulão 1 e Azulão 2. . . . .	265
Tabela 263 – Dados dos Reguladores do Gerador - UTE's Azulão 1 e Azulão 2. . . . .	266

# Lista de abreviaturas e siglas

UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá
GD	Geração Distribuída
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
UTE	Usina Termoelétrica
SEP	Sistema Elétrico de Potência
DSA	" <i>Dynamic Security Assessment</i> ", avaliação de segurança dinâmica
CAG	Controle Automático de Geração
PEA	" <i>Provincial Electricity Authority</i> ", autoridade elétrica da província
CLP	Controladores de Lógicas Programáveis
NDZ	" <i>Non Detectable Zone</i> ", zona não detectável.
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico Brasileiro
EMS	" <i>Energy Management System</i> ", sistema de gestão de energia
HPC	" <i>High Performance Computation</i> ", cálculo de alto desempenho
SDPF	" <i>Synthetic Dynamic Power Flow</i> ", fluxo de potência por dinâmica sintética
SIN	Sistema Interligado Nacional.
IEEE	" <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> ", instituto de engenheiros eletricitas e eletrônicos
ANSI	" <i>American National Standards Institute</i> ", instituto nacional americano de padrões
ROCOF	" <i>Rate of Change of Frequency</i> ", taxa de variação da frequência
SCADA	" <i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> ", sistema de supervisão e aquisição de dados
HVDC	" <i>High-Voltage Direct Current</i> ", alta tensão em corrente contínua
PSS	" <i>Power System Stabilizer</i> ", estabilizadores de potência

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>27</b>
1.1	Considerações Iniciais	27
1.2	Objetivos da Dissertação	28
1.3	Estrutura da Dissertação	29
<b>2</b>	<b>ILHAMENTOS E OPERAÇÕES ILHADAS</b>	<b>31</b>
2.1	Introdução	31
2.2	Requisitos Gerais de Ilhamentos e Operações Ilhadas	32
2.3	Revisão de Trabalhos sobre Ilhamentos Intencionais	33
2.3.1	Estudo de Ilhamento e Operação Ilhada	33
2.3.2	Proteção	36
2.3.3	Métodos de Detecção de Ilhamento	37
2.3.4	Uso de Regiões de Segurança em Ilhamentos e Operações Ilhadas	41
<b>3</b>	<b>ORGANON</b>	<b>43</b>
3.1	Introdução	43
3.2	Visão Geral do Programa ORGANON	43
3.3	Ferramentas e Métodos Utilizados no ORGANON	44
3.3.1	Avaliação de Segurança	44
3.3.2	Fluxo de Potência Convencional	45
3.3.3	Fluxo de Potência Continuado	45
3.3.4	Fluxo de Potência por Dinâmica Sintética	45
3.3.5	Análise de Sensibilidade	45
3.3.6	Simulação no Domínio do Tempo	46
3.3.7	Função de Energia	46
3.3.8	Análise Prony	47
<b>4</b>	<b>REGIÕES DE SEGURANÇA DINÂMICAS</b>	<b>48</b>
4.1	Importância das Regiões de Segurança Dinâmicas no Planejamento de Ilhamentos e Operações Ilhadas de SEPs	48
4.2	Conceitos Básicos sobre Região de Segurança Dinâmica no ORGANON	49
4.3	Exemplos de Interpretação dos Resultados de Regiões de Segurança Dinâmicas	51

<b>5</b>	<b>APLICAÇÃO DE REGIÕES DE SEGURANÇA DINÂMICAS EM SISTEMAS DE TRANSMISSÃO</b> . . . . .	<b>56</b>
<b>5.1</b>	<b>Introdução</b> . . . . .	<b>56</b>
<b>5.2</b>	<b>Aplicação das Regiões de Segurança Dinâmicas em Sistemas de Transmissão</b> . . . . .	<b>56</b>
<b>5.3</b>	<b>Sistema Sul-Sudeste</b> . . . . .	<b>58</b>
<b>5.4</b>	<b>Sistema Sul-Sudeste - Sistema Interligado</b> . . . . .	<b>61</b>
5.4.1	Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Interligado - Carga Elevada - Área 1 Exportando . . . . .	68
5.4.2	Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Interligado - Carga Elevada - Área 2 Exportando . . . . .	69
5.4.3	Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Interligado - Carga Moderada - Área 1 Exportando . . . . .	71
5.4.4	Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Interligado - Carga Reduzida - Área 1 Exportando . . . . .	73
5.4.5	Comparativo dos Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Interligado . .	75
<b>5.5</b>	<b>Sistema Sul-Sudeste - Sistema Durante Ilhamento</b> . . . . .	<b>77</b>
5.5.1	Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Durante Ilhamento - Carga Elevada - Área 1 Exportando . . . . .	78
5.5.2	Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Durante Ilhamento - Carga Elevada - Área 2 Exportando. . . . .	80
5.5.3	Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Durante Ilhamento - Carga Moderada - Área 1 Exportando . . . . .	82
5.5.4	Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Durante Ilhamento - Carga Reduzida - Área 1 Exportando . . . . .	84
5.5.5	Comparativo dos Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Durante Ilhamento . . . . .	85
<b>5.6</b>	<b>Sistema Sul-Sudeste Após Ilhamento</b> . . . . .	<b>87</b>
5.6.1	Sistema Sul-Sudeste - Após Ilhamento - Área 1 - Ilha 1 . . . . .	88
5.6.1.1	Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Após Ilhamento - Ilha1 - Carga Elevada - Área 1 Exportando . . . . .	91
5.6.1.2	Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Após Ilhamento - Ilha1 - Carga Elevada - Área 2 Exportando . . . . .	93
5.6.1.3	Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Após Ilhamento - Ilha1 - Carga Moderada - Área 1 Exportando . . . . .	95
5.6.1.4	Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Após Ilhamento - Ilha1 - Carga Reduzida - Área 1 Exportando . . . . .	97
5.6.1.5	Comparativo dos Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Ilha1 - Sistema Após Ilhamento	99
5.6.2	Sistema Sul - Sudeste Após Ilhamento - Área 2 - Ilha 2 . . . . .	100

5.6.2.1	Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Após Ilhamento - Ilha2 - Carga Elevada - Área 1 Exportando . . . . .	104
5.6.2.2	Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Após Ilhamento - Ilha2 - Carga Elevada - Área 2 Exportando . . . . .	106
5.6.2.3	Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Após Ilhamento - Ilha 2 - Carga Moderada - Área 1 Exportando . . . . .	108
5.6.2.4	Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Após Ilhamento - Ilha2 - Carga Reduzida - Área 1 Exportando . . . . .	109
5.6.2.5	Comparativo dos Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Ilha 2 - Sistema Após Ilhamento . . . . .	111
<b>6</b>	<b>APLICAÇÃO DE REGIÕES DE SEGURANÇA DINÂMICAS EM SISTEMAS DE SUBTRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO . . . . .</b>	<b>113</b>
<b>6.1</b>	<b>Introdução . . . . .</b>	<b>113</b>
<b>6.2</b>	<b>Aplicação das Regiões de Segurança Dinâmicas em Sistemas de Subtransmissão e Distribuição . . . . .</b>	<b>113</b>
<b>6.3</b>	<b>Sistema <i>Brazilian Birds 2</i> . . . . .</b>	<b>114</b>
<b>6.4</b>	<b>Sistema <i>Brazilian Birds 2</i> - Sistema Interligado . . . . .</b>	<b>119</b>
6.4.1	Resultados - Sistema <i>Brazilian Birds 2</i> - Sistema Interligado - Carga Elevada	124
6.4.2	Resultados - Sistema <i>Brazilian Birds 2</i> - Sistema Interligado - Carga Moderada	126
6.4.3	Resultados - Sistema <i>Brazilian Birds 2</i> - Sistema Interligado - Carga Reduzida	128
6.4.4	Comparativo dos Resultados - Sistema <i>Brazilian Birds 2</i> - Sistema Interligado	129
<b>6.5</b>	<b>Sistema <i>Brazilian Birds 2</i> - Durante Ilhamento . . . . .</b>	<b>131</b>
6.5.1	Resultados - Sistema <i>Brazilian Birds 2</i> - Sistema Durante Ilhamento - Carga Elevada . . . . .	132
6.5.2	Resultados - Sistema <i>Brazilian Birds 2</i> - Sistema Durante Ilhamento - Carga Moderada . . . . .	134
6.5.3	Resultados - Sistema <i>Brazilian Birds 2</i> - Sistema Durante Ilhamento - Carga Reduzida . . . . .	136
6.5.4	Comparativo dos Resultados - Sistema <i>Brazilian Birds 2</i> - Sistema Durante Ilhamento . . . . .	137
<b>6.6</b>	<b>Sistema <i>Brazilian Birds</i> - Após Ilhamento . . . . .</b>	<b>139</b>
6.6.1	Resultados - Sistema <i>Brazilian Birds</i> - Sistema Após Ilhamento - Área 3 - Ilha - Carga Elevada . . . . .	143
6.6.2	Resultados - Sistema <i>Brazilian Birds</i> - Sistema Após Ilhamento - Área 3 - Ilha - Carga Moderada . . . . .	144
6.6.3	Resultados - Sistema <i>Brazilian Birds</i> - Sistema Após Ilhamento - Área 3 - Ilha - Carga Reduzida . . . . .	146
6.6.4	Comparativo dos Resultados - Sistema <i>Brazilian Birds</i> - Sistema Ilhado . . . . .	148

7	<b>CONCLUSÃO</b> . . . . .	150
7.1	Considerações Finais . . . . .	150
7.2	Sugestões para Trabalhos Futuros . . . . .	152
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	153
	<b>ANEXOS</b>	<b>156</b>
	<b>ANEXO A – DADOS ELÉTRICOS DO SISTEMA EQUIVALENTE SUL-SUDESTE</b> . . . . .	<b>157</b>
A.1	Dados Elétricos Gerais do Sistema Equivalente Sul-Sudeste . . . . .	157
	<b>ANEXO B – DADOS PARA O FLUXO DE POTÊNCIA DO SIS- TEMA EQUIVALENTE SUL-SUDESTE OPERANDO DE FORMA INTERLIGADA</b> . . . . .	<b>170</b>
B.1	Fluxo de Potência - Carga Elevada - Área 1 - Exportando . . . . .	170
B.2	Fluxo de Potência - Carga Elevada - Área 2 - Exportando . . . . .	173
B.3	Fluxo de Potência - Carga Moderada - Área 1 - Exportando . . . . .	176
B.4	Fluxo de Potência - Carga Reduzida - Área 1 - Exportando . . . . .	179
	<b>ANEXO C – DADOS PARA O FLUXO DE POTÊNCIA DO SIS- TEMA EQUIVALENTE SUL-SUDESTE OPERANDO DE FORMA ILHADA - ÁREA 1</b> . . . . .	<b>182</b>
C.1	Fluxo de Potência - Carga Elevada - Área 1 - Exportando - Ilha 1 . . . . .	182
C.2	Fluxo de Potência - Carga Elevada - Área 2 - Exportando - Ilha 1 . . . . .	184
C.3	Fluxo de Potência - Carga Moderada - Área 1 - Exportando - Ilha 1 . . . . .	186
C.4	Fluxo de Potência - Carga Reduzida - Área 1 - Exportando - Ilha 1 . . . . .	188
	<b>ANEXO D – DADOS PARA O FLUXO DE POTÊNCIA DO SIS- TEMA EQUIVALENTE SUL-SUDESTE OPERANDO DE FORMA ILHADA - ÁREA 2</b> . . . . .	<b>190</b>
D.1	Fluxo de Potência - Carga Elevada - Área 1 - Exportando - Ilha 2 . . . . .	190
D.2	Fluxo de Potência - Carga Elevada - Área 2 - Exportando - Ilha 2 . . . . .	192
D.3	Fluxo De Potência - Carga Moderada - Área 1 - Exportando - Ilha 2 . . . . .	194
D.4	Fluxo de Potência - Carga Reduzida - Área 1 - Exportando - Ilha 2 . . . . .	196
	<b>ANEXO E – DADOS DINÂMICOS DO SISTEMA EQUIVALENTE SUL-SUDESTE</b> . . . . .	<b>198</b>
E.1	Dados Dinâmicos da Usina Governador Bento Munhoz . . . . .	198
E.2	Dados Dinâmicos da Usina Salto Segredo . . . . .	200

E.3	Dados Dinâmicos da Usina Itá . . . . .	202
E.4	Dados Dinâmicos da Usina Machadinho . . . . .	204
E.5	Dados Dinâmicos da Usina Salto Osório . . . . .	206
E.6	Dados Dinâmicos da Usina Salto Santiago . . . . .	208
E.7	Dados Dinâmicos da Usina Salto Caxias . . . . .	210
E.8	Dados Dinâmicos da Usina Itumbiara . . . . .	212
E.9	Dados Dinâmicos da Usina Marimbondo . . . . .	214
E.10	Dados Dinâmicos da Usina Emborcação . . . . .	216
E.11	Dados Dinâmicos da Usina Jaguará . . . . .	218
E.12	Dados Dinâmicos da Usina Nova Ponte . . . . .	220
E.13	Dados Dinâmicos da Usina de São Simão . . . . .	222
E.14	Dados Dinâmicos da Usina de Água Vermelha . . . . .	224
E.15	Dados Dinâmicos do Compensador Síncrono de Ibiúna . . . . .	226
	<b>ANEXO F – DADOS ELÉTRICOS SISTEMA <i>BRAZILIAN BIRDS</i></b>	<b>2228</b>
F.1	Dados Elétricos Gerais do Sistema <i>Brazilian Birds 2</i> . . . . .	228
	<b>ANEXO G – DADOS PARA O FLUXO DE POTÊNCIA DO SISTEMA <i>BRAZILIAN BIRDS 2</i> OPERANDO DE FORMA INTERLIGADA.</b>	<b>238</b>
G.1	Fluxo de Potência - Carga Elevada . . . . .	238
G.2	Fluxo de Potência - Carga Moderada . . . . .	241
G.3	Fluxo de Potência - Carga Reduzida . . . . .	243
	<b>ANEXO H – DADOS PARA O FLUXO DE POTÊNCIA DO SISTEMA <i>BRAZILIAN BIRDS 2</i> OPERANDO DE FORMA ILHADA - ÁREA 3.</b>	<b>245</b>
H.1	Fluxo de Potência - Carga Elevada - Área 3 - Ilha . . . . .	245
H.2	Fluxo de Potência - Carga Moderada - Área 3 - Ilha . . . . .	247
H.3	Fluxo de Potência - Carga Reduzida - Área 3 - Ilha . . . . .	249
	<b>ANEXO I – DADOS DINÂMICOS SISTEMA <i>BRAZILIAN BIRDS 2</i></b>	<b>251</b>
I.1	Dados Dinâmicos da Usina Canário . . . . .	251
I.2	Dados Dinâmicos da Usina Sabiá . . . . .	253
I.3	Dados Dinâmicos da Usina Tucano . . . . .	255
I.4	Dados Dinâmicos da Usina Gavião . . . . .	257
I.5	Dados Dinâmicos da Usina UTE Tiziu . . . . .	259
I.6	Dados Dinâmicos das Usinas PCH's Sabiá 1 e Sabiá 2 . . . . .	261
I.7	Dados Dinâmicos das Usinas UTE's Pardal 1 e Pardal 2 . . . . .	263
I.8	Dados Dinâmicos das Usinas UTE's Azulão 1 e Azulão 2 . . . . .	265

# 1 Introdução

## 1.1 Considerações Iniciais

Cada vez mais o Sistema Elétrico de Potência (SEP) passa por mudança em sua característica operativa, isto quer dizer que, as fontes geradoras de energia elétrica que antes eram localizadas em pontos distantes dos centros de cargas, agora se encontram cada vez mais próximas destes. Estas aproximações das fontes de geração aos centros de carga estão relacionadas com a necessidade de exploração de novos e grandes potenciais hídricos e energéticos (sistemas de transmissão), com a possibilidade de comercialização total ou do excedente de energia elétrica gerada através de médios e pequenos geradores de forma descentralizada (sistemas de subtransmissão), como também ao aumento do uso de fontes de Geração Distribuída (GD)(sistemas de distribuição).

Com o aumento da distribuição destas fontes pelo sistema de potência, os agentes de transmissão, geração e distribuição podem aproveitar destes recursos para maximizar a confiabilidade do sistema (redução do tempo de interrupção de energia). Uma maneira de se realizar isso, é através da consideração de operações ilhadas de partes do mesmo, evitando perda de receita com a energia não suprida aos clientes, como também minimizando o impacto social em contingências sistêmicas severas, como no caso dos *blackouts*, popularmente conhecidos como apagões.

A operação ilhada de um SEP caracteriza-se pela desconexão de uma parte do sistema original, que após uma contingência ou necessidade de manutenção, separa-se deste e através de seus recursos de geração disponíveis, consegue atender totalmente ou parcialmente as cargas, independentemente dos recursos de geração do sistema original. Assim o uso de uma nova condição operativa como a ilhada traz muitos benefícios aos consumidores e agentes do SEP, durante contingências ou manutenções programadas.

Para que ocorra o sucesso da operação ilhada, os geradores remanescentes devem ser capazes de fornecer energia elétrica com a qualidade e confiabilidade determinadas pelos procedimentos operativos vigentes (ANEEL, 2010) e (ONS, 2009a). Como o controle de frequência e de tensão da área ilhada será feito por um número reduzido de unidades geradoras, em comparação com a operação de forma interligada, são necessários estudos de regime permanente e dinâmicos (FUANGFOO; LEE; KUO, 2007) e (LONDERO et al., 2010b) para determinar a viabilidade do ilhamento. Caso o mesmo seja viável, estes mesmos estudos devem ser realizados avaliando o desempenho desta porção ilhada frente a novas contingências (FUANGFOO et al., 2008) tais como: partida de motores, variações de carga e curtos-circuitos, as quais impactam no controle dos níveis adequados de frequência

e tensão pelos geradores.

Desta forma, com as devidas análises de regime permanente e dinâmicas para um sistema de potência é possível determinar se serão necessárias medidas de controle (corte de carga, corte de geração, manobras dos dispositivos de controle de tensão) para que ocorra o controle eficaz de frequência e tensão, durante e após o ilhamento deste, tornando a operação ilhada uma forma real de operação de SEPs.

## 1.2 Objetivos da Dissertação

Como citado no Item 1.1 é de fundamental importância a realização dos estudos tradicionais de ilhamento (regime permanente e dinâmico) para a avaliação da viabilidade de uma operação ilhada. Durante estas análises são separados casos de estudo (casos base) com diversas condições operativas para o sistema de interesse, após o levantamento destes casos base, as simulações são realizadas e os resultados de níveis de frequência, tensão e carregamento do sistema são avaliados, definindo ou não o sucesso do ilhamento.

A análise tradicional de ilhamento fornece os resultados transitórios e de regime permanente para a frequência do sistema, podendo esta, em regime normal, ser menor ou maior do que 60 Hz, representando uma subfrequência ou sobrefrequência, respectivamente. Se estes valores de subfrequência ou sobrefrequência forem elevados, a realização do ilhamento e sua posterior operação ilhada precisarão de medidas de controle ou até mesmo não poderão ser realizadas.

Porém, durante o processo de análise tradicional, muitas vezes, são realizadas simulações que são muito conservadoras ou até mesmo subestimadas em relação à operação real do sistema, podendo levar o mesmo a uma operação restrita ou até mesmo insegura quando colocadas em prática. Assim, de forma adicional a análise tradicional de ilhamento é necessária uma análise complementar que esteja relacionada à segurança do sistema de interesse, ou seja, uma análise preliminar à análise tradicional que determine de forma simples e rápida as regiões limítrofes de segurança operativas (regiões de atendimento sem violações dos limites operativos) de limites de geração, de estabilidade, de limites térmicos de equipamentos e de tensão para as contingências mais severas que possam ocorrer durante e após um ilhamento.

Oriunda da necessidade de estudos mais completos no processo de análise de viabilidade de ilhamentos e operações ilhadas, esta dissertação propõe como objetivo uma nova metodologia de estudo para determinar a viabilidade e condições de operação destas alternativas. Para isso, esta dissertação sugere como metodologia o uso de regiões de segurança dinâmicas como forma preliminar de determinar quais são os pontos operativos possíveis (pontos em que não ocorrem violações dos limites de geração, estabilidade, de carregamento e tensão) para determinado SEP, e somente após esta determinação,

dar continuidade nas análises tradicionais de frequência em regime transitório e permanente. Ao aplicar a metodologia proposta nesta dissertação (análise de segurança inicial, adicionada da análise tradicional de frequência) nos estudos de ilhamentos e operações ilhadas, garantem-se as condições de operações ideais para que na ocorrência destes eventos, os mesmos sejam realmente factíveis, confiáveis e seguros no atendimento aos clientes, durante contingências e ou manutenções programadas.

Dentro da nova metodologia de estudos proposta, esta dissertação aborda de forma detalhada a primeira etapa, ou seja, a aplicação preliminar para determinação das regiões de segurança, pois, as análises tradicionais já são utilizadas e de conhecimento difundido nestes tipos de estudo.

Para determinar das regiões de segurança dinâmicas o presente trabalho considerou a aplicação da ferramenta computacional de cálculo de região de segurança dinâmica (*DSA - Dynamic Security Assessment*) do *software* ORGANON (JARDIM et al., 2000) e (JARDIM; NETO; KWASNICKI, 2004), sendo esta, utilizada como ferramenta de auxílio para a realização de estudos de viabilidade de ilhamentos e avaliação das regiões ilhadas após a ilha ter atingido um novo regime de operação. A ferramenta *DSA* avalia a violação, ou não, de limites pré-estabelecidos, tais como: limites de tensão, limites térmicos, limites de geração e limites de estabilidade, levando em conta contingências e variações de despachos dos grupos geradores que compõem o sistema, mantendo-se a carga do mesmo constante.

### 1.3 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está organizada em 7 Capítulos e 9 Anexos.

O Capítulo 2 mostra as necessidades para realização de uma operação ilhada, no caso: critérios de estudos de regime normal e dinâmico, requisitos necessários de proteção e métodos de detecção de ilhamento. Este mostra também trabalhos que já aplicaram as regiões de segurança dinâmicas no suporte a análises de ilhamentos e operações ilhadas.

O Capítulo 3 mostra o *software* ORGANON, suas funções de análise de rede em regime permanente e transitório, que são utilizadas em ambientes de tempo real (*on-line*) ou *off-line* para estudos de expansão e operação do sistema elétrico de potência.

O Capítulo 4 detalha a base técnica das regiões de segurança dinâmicas e como o ORGANON gera as mesmas através de sua capacidade robusta de processamento.

O Capítulo 5 mostra a aplicação da metodologia das regiões de segurança dinâmicas no ilhamento e operação ilhada de um sistema de transmissão, sendo este um sistema equivalente da região Sul-Sudeste do Sistema Interligado Nacional (SIN).

O Capítulo 6 mostra a aplicação da metodologia das regiões de segurança dinâmi-

cas no ilhamento e operação ilhada de um sistema de subtransmissão/distribuição, sendo este um sistema teste denominado *Brazilian Birds 2*.

O Capítulo 7 apresenta a conclusão e as sugestões de trabalhos futuros na área.

Os 9 Anexos estão divididos conforme abaixo:

- Anexo A: Parâmetros Elétricos do Sistema Equivalente Sul-Sudeste;
- Anexo B: Dados para os Fluxos de Potência para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste Operando de Forma Interligada;
- Anexo C: Dados para os Fluxos de Potência para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste Operando de Forma Ilhada - Área 1 - Ilha 1;
- Anexo D: Dados para os Fluxos de Potência para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste Operando de Forma Ilhada - Área 2 - Ilha 2;
- Anexo E: Dados Dinâmicos do Sistema Equivalente Sul-Sudeste;
- Anexo F: Parâmetros Elétricos do Sistema *Brazilian Birds 2*;
- Anexo G: Dados para os Fluxos de Potência do Sistema *Brazilian Birds 2* Operando de Forma Interligada;
- Anexo H: Dados para os Fluxos de Potência do Sistema *Brazilian Birds 2* Operando de Forma Ilhada;
- Anexo I: Dados Dinâmicos do Sistema *Brazilian Birds 2*.

## 2 Ilhamentos e Operações Ilhadas

### 2.1 Introdução

No Capítulo 1 foi dada ênfase na necessidade de complementar a tradicional análise de frequência (regime permanente e transitório), a qual verifica se há subfrequência ou sobrefrequência inadmissíveis durante os estudos de ilhamento e operação ilhada, com uma análise preliminar de segurança do sistema (regiões de segurança dinâmicas). Esta segunda análise mapeia todos os pontos possíveis de operação do sistema, e com isso, pode-se dar continuidade com a análise tradicional de frequência, garantindo assim, que todos os cenários de ilhamentos e operações ilhadas que atendam aos critérios desejados sejam estudados e que em suas realizações os mesmos obtenham sucesso.

Desta forma, neste Capítulo 2 a ênfase é dada no entendimento do problema a ser estudado, ou seja, como são realizados, classificados e conduzidos os ilhamentos e operações ilhadas de um SEP (FUANGFOO; LEE; KUO, 2007), (FUANGFOO et al., 2008) e (LONDERO et al., 2010b), levantando os requisitos e premissas utilizados em estudos de regime permanente (MONTICELLI, 1983) e transitórios (KUNDUR; BALU; LAUBY, 1994) na análise destes. Também neste capítulo são mostrados estudos que já aplicaram as regiões de segurança dinâmicas em ilhamentos e operações ilhadas de sistemas de potência (CHEN; XU; OSTERGAARD, 2009) e (CHEN; XU; OSTERGAARD, 2011).

Para uma análise detalhada do problema, o Capítulo 2 é dividido de forma que se possa identificar, isolar e estudar cada uma das dificuldades envolvidas na realização de uma operação ilhada, como também os procedimentos e metodologias usadas por diversos pesquisadores para seu estudo. Como exposto acima o Item 2.2 mostra os requisitos gerais de ilhamentos e operações ilhadas, o Subitem 2.3.1 mostra os desafios e estudos necessários para que o ilhamento possa ser realizado de forma segura, o Subitem 2.3.2 mostra os requisitos de proteção para uma operação ilhada, o Subitem 2.3.3 mostra os métodos de detecção da ocorrência de ilhamentos e por fim o Subitem 2.3.4 mostra a utilização de ferramentas de avaliações de segurança dinâmicas em estudos de ilhamentos. Vale ressaltar que, os requisitos, metodologias e recomendações descritas nos Itens 2.2 e 2.3 são gerais e desta forma, aplicáveis para o ilhamento e a operação ilhada de qualquer tipo de sistema de transmissão, subtransmissão ou distribuição.

## 2.2 Requisitos Gerais de Ilhamentos e Operações Ilhadas

Como um sistema elétrico de potência trabalha com várias unidades geradoras de energia elétrica para atender a totalidade de sua carga, durante sua operação interligada podem ocorrer vários cenários de despachos dos geradores. Estes casos variados implicam em diferentes cenários de intercâmbio e carregamentos de circuitos.

Por outro lado, conforme o decorrer de sua operação, o sistema de potência está exposto a contingências, as quais, podem vir a ilhar partes do mesmo. Desta forma, quanto maior o intercâmbio de potência entre o sistema interligado e a área que poderá ser ilhada, maiores serão as excursões das grandezas elétricas durante o ilhamento, podendo este não ser viável.

Para que o ilhamento seja realizado com sucesso, deve haver um equilíbrio, ou um nível máximo de desbalanço entre a carga e geração da porção que pode sofrer o ilhamento. Se este desbalanço não for bem determinado, podem ocorrer subfrequência ou sobrefrequência inadmissíveis, situações estas que podem ser resolvidas com medidas de controle, como cortes de carga e/ou geração adequados.

Além de analisar os máximos desbalanços e medidas de controle, é necessário também para viabilizar um ilhamento, levar em conta outros fatores como: ajustes e sistemas de proteções adaptados para o ilhamento e operação ilhada, os métodos de detecção de ilhamento (para que as medidas de controle possam ser aplicadas) e por fim, como requisito mais importante, a segurança dos usuários da rede.

Estes requisitos de estudos de viabilidade, proteção, detecção de ilhamento e de segurança devem seguir normas rígidas e que levam em conta os riscos envolvidos de um ilhamento e uma operação ilhada. As normas atuais de interconexão de geradores distribuídos, como, por exemplo, a norma IEEE 1547 ([IEEE, 2011](#)), recomenda que o ilhamento seja evitado e que quando detectado o mesmo, as unidades geradoras da ilha, sejam desconectadas, mas mesmo nesta norma já é sinalizado que em futuras versões o ilhamento intencional será avaliado.

A norma IEEE 1547 versa a respeito dos procedimentos de outros países na determinação e necessidade para o ilhamento. Já, para o sistema de potência brasileiro os agentes devem obedecer aos Procedimentos de Distribuição – Prodist ([ANEEL, 2016](#)) e Procedimentos de Rede ([ONS, 2010](#)).

Em leitura do Módulo 4 dos Procedimentos de Distribuição ([ANEEL, 2010](#)), observa-se que para realização de uma operação ilhada é necessário um acordo operativo entre a central geradora e/ou transmissora envolvida, quando for o caso, cabendo à distribuidora realizar estudos, instruções operativas e de segurança específicos para a operação ilhada. Estes estudos devem ser de regime permanente e dinâmico, sendo os dados para os mesmos enviados pela central geradora, que, por sua vez, deve também adequar

os parâmetros de seus sistemas de controle de forma a garantir o controle de frequência da parcela eletricamente isolada do sistema de distribuição. Para isto, a central geradora deve ser dotada de controle automático de geração (CAG), ou qualquer outra tecnologia que seja capaz de desempenhar a mesma função, caso a operação ilhada seja utilizada de forma permanente. Já na leitura do Submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede (ONS, 2009a) o ilhamento de parte do sistema é considerado como parte das diretrizes e critérios para estudos de alívio de carga por subfrequência e alívio de geração por sobrefrequência.

Muitas normas internas de empresas de energia não permitem a ocorrência de ilhamento, mesmo que este seja intencional. As restrições ao ilhamento estão ligadas à possibilidade de falhas de equipamentos, muitas vezes na dificuldade de detecção do próprio ilhamento, como também da segurança dos usuários da rede, que podem estar trabalhando em trechos energizados, sem o saber.

Diante do exposto neste item é necessário criar metodologias de estudos que sejam cada vez mais completas, minimizando os riscos e gerando confiança nos agentes dos sistemas de potência para que a operação ilhada seja aceita e possa aumentar a confiabilidade destes. Por esse motivo, esta dissertação sugere uma nova metodologia, com o uso preliminar de regiões de segurança dinâmicas, conforme já explicado nos itens anteriores, a fim de contribuir com o aumento de realizações de ilhamentos e operações ilhadas em SEPs.

## 2.3 Revisão de Trabalhos sobre Ilhamentos Intencionais

Dentro da presente análise, neste item é feita uma revisão dos trabalhos que mostram e definem as necessidades e os critérios para que no sistema de interesse seja possível realizar o ilhamento e a operação ilhada, mesmo com as restrições e dificuldades já citadas.

### 2.3.1 Estudo de Ilhamento e Operação Ilhada

Para Fuangfoo (FUANGFOO; LEE; KUO, 2007) o ilhamento pode ser realizado por duas causas diferentes, sendo estas:

- Formação de ilhas causadas por faltas;
- Formação de ilhas causadas por manutenções.

O ilhamento decorrente de faltas no sistema é o tipo mais severo, pois, no mesmo ocorrem grandes excursões das grandezas elétricas, com atuações de dispositivos de proteção. Já o ilhamento por causa de manutenções pode ser realizado com menores excursões de potência e carga sendo, desta forma, mais fácil de ser realizado com sucesso.

Fuangfoo (FUANGFOO; LEE; KUO, 2007) realizou estudos dinâmicos em um sistema de subtransmissão da Tailândia, para mostrar os requisitos básicos que o sistema deve apresentar para que o ilhamento seja realizado com sucesso. Ele reforça também que os geradores devem ser capazes de controlar a frequência e a tensão do sistema ilhado, atendendo aos limites impostos pelos procedimentos de qualidade vigentes por cada agente.

A avaliação da operação ilhada de qualquer sistema de potência, para aumento de confiabilidade operativa, é dividida em duas partes (FUANGFOO; LEE; KUO, 2007).

- Comportamento dos geradores durante o ilhamento;
- Comportamento dos geradores após o ilhamento.

Estes estudos são necessários, pois, durante o ilhamento ocorrem desbalanços entre a carga e a geração da porção ilhada e neste caso é necessário que agora os geradores remanescentes sejam capazes de controlar a frequência e a tensão da mesma dentro dos limites operativos aceitáveis. Em muitas situações somente a ação dos controladores dos geradores é insuficiente para viabilizar o ilhamento, assim, esquemas de corte de carga e esquemas especiais de proteção devem ser estudados em conjunto para o sucesso do ilhamento.

Dentro da análise do sistema após o ilhamento, (FUANGFOO; LEE; KUO, 2007) identifica os três tipos críticos de distúrbios que afetam o sistema, sendo estes:

- Distúrbios de carga como grande rejeição de carga;
- Distúrbios em geradores, devido a desligamentos de unidades;
- Contingências devido às faltas no sistema.

Outro trabalho de Fuangfoo (FUANGFOO et al., 2008) apresenta um guia de estudos dos impactos de ilhamentos, estruturado pela PEA (*The Provincial Electricity Authority - Autoridade Elétrica da Província*), que é responsável pelo fornecimento de 99% da energia no território da Tailândia.

Neste estudo, a análise de impacto de um ilhamento é dividida em três partes:

- Formação da ilha;
- Operação após o ilhamento;
- Recomposição da ilha ao sistema principal.

O estudo da formação da ilha é relacionado com a mudança de estado do sistema de potência da ilha conectada ao sistema, para o sistema ilhado. No modo ilhado, os geradores têm que suprir ambas as potências ativa e reativa de todas as cargas, se estes não conseguirem, esquemas de corte de carga devem ser realizados.

Um estudo de operação após o ilhamento avalia o desempenho de um sistema na condição ilhada. Como o desempenho de um gerador síncrono depende do seu regulador de velocidade e do sistema de excitação, o desempenho deste é examinado nos seguintes aspectos (FUANGFOO et al., 2008):

- Variação de carga durante o dia: O sistema deve ser capaz de atender as variações de carga. Se o gerador não conseguir atender a máxima variação de carga, a operação ilhada deve ser evitada. As máximas variações de tensão e frequência devem ser investigadas para o ajuste dos sistemas de proteção.
- Grande rejeição de carga e partidas de grandes motores: Nestes casos grandes variações de frequência e tensão ocorrem e o sistema deve suportar tais condições, os ajustes de proteção devem ser adequados.
- Falhas: Quando uma falta ocorre, o sistema deve ser capaz de eliminar a mesma antes do sistema se tornar instável, pois, um sistema ilhado é um sistema fraco com inércia reduzida.
- Regulação de tensão e frequência: Os reguladores devem manter dentro dos limites estas grandezas.
- Qualidade da energia: Harmônicas e tensões desbalanceadas podem ser agravados com a operação ilhada.

Por fim, o último estudo realizado por (FUANGFOO et al., 2008) é o de recomposição com o sistema principal. Este processo se refere à reconexão entre a área ilhada e o sistema principal.

Em relação às análises de sistemas brasileiros, Londero (LONDERO et al., 2010b) apresenta um estudo dinâmico em um sistema brasileiro que opera de modo ilhado durante faltas, para suprir cargas críticas. A análise realizada inclui o comportamento do sistema ilhado sob variações dos patamares de cargas, rejeição de carga, faltas, controle de frequência e variação do nível de curto-circuito.

Cada autor estudou e definiu as variações limites das grandezas elétricas do sistema, através de estudos de regime permanente e dinâmico. Desse modo, a ênfase comum em todos os trabalhos foi a de que, o sistema durante ou após o ilhamento precisa manter o controle de tensão e frequência, frente as contingências mais severas para este. E em caso de necessidade medidas como corte de carga ou alívio de geração devem ser realizadas.

### 2.3.2 Proteção

Os sistemas de proteção são ajustados e planejados para proteger os equipamentos do sistema, de forma adequada e coordenada. É através da coordenação que ocorre o aumento de confiabilidade, pois, a atuação correta e coordenada das proteções, desligam somente os trechos defeituosos, permanecendo os trechos íntegros energizados, atendendo os clientes.

Os ajustes dos dispositivos de proteção são realizados, muitas vezes, com o sistema operando de modo interligado, não cobrindo assim a operação de forma ilhada. Nestes casos, um novo grupo de ajuste de proteção deve ser implementado para atender a necessidade da operação ilhada. Com os avanços tecnológicos e disponibilidades de grupos de ajustes nos relés, esta conversão de modo não ilhado para ilhado se torna factível.

Fuangfoo (FUANGFOO; LEE; KUO, 2007) cita como necessárias as proteções adaptativas que mudem do modo de operação normal para o modo ilhado. Para os sistemas de distribuição, as GDs em operação ilhada necessitam de um relé de sequência negativa (46), pois nestes sistemas existem altas tensões desbalanceadas, protegendo assim, o gerador das correntes de sequência negativa que podem danificar o mesmo.

Dentro desta necessidade de chaveamento de modo interligado para modo de operação ilhado, o trabalho de Zeineldin (ZEINELDIN; EL-SAADANY; SALAMA, 2005) apresenta um estudo sobre detecção e estratégia de controle para operação ilhada com geradores distribuídos baseados em inversores. Este estudo é composto por um algoritmo de detecção de ilhamento passivo híbrido, que envia um sinal para o controle de interface de modos operativos, chaveando assim o gerador de operação normal (gerador com potência e tensão constantes) para o controle em modo ilhado (gerador controlando tensão e frequência da ilha).

Por fim, Nigim (NIGIM; HEGAZY, 2003) faz uma análise dos dispositivos de proteção para coordenação das proteções da rede, para que ocorra o ilhamento entre o sistema interligado e o sistema composto pelos geradores remanescentes.

A Tabela 1 mostra as principais funções de proteção necessárias para operação de forma interligada entre o sistema principal e os geradores. Com a utilização dos dispositivos da Tabela 1, Nigim (NIGIM; HEGAZY, 2003) propõe a utilização de um sistema conjunto de CLPs (Controladores de Lógicas Programáveis) / Dispositivos de proteção, para a comunicação entre a rede principal e a instalação dos geradores.

Com esta comunicação entre os sistemas, é possível identificar e atuar de forma mais específica na ocorrência de um ilhamento, promovendo medidas de controle para que o mesmo seja realizado. O CLP foi escolhido por sua versatilidade, resistência e confiabilidade, sendo sua aplicabilidade já conhecida em inúmeras aplicações industriais.

Tabela 1 – Dispositivos de Proteção e suas Funções, Retiradas e Adaptadas de (NIGIM; HEGAZY, 2003).

IEEE – ANSI (Número da Proteção)	Função da Proteção
Regulação de Tensão (27 e 27G)	Para manter a tensão constante (+/- 5%) para todos os usuários, decorrente das variações de tensão causadas pela interligação.
Sincronismo (25)	Esta proteção é importante para que a frequência do sistema e dos geradores seja a mesma e que a tensão fornecida seja a mesma dentro da tolerância do sistema. Adicionalmente, a sequência de fase e o balanceamento de fases das unidades de geração distribuídas devem ser iguais as dos sistemas em que as mesmas estão conectadas.
Proteção de Sobrecorrente (25, 50, 51)	Para eliminar de forma rápida as faltas que geram elevadas correntes de curto-circuito.
Religamento (79)	Para evitar a continuidade de uma condição de falta e para proteger a instalação dos geradores de energização e desenergização de circuitos de distribuição.
Ilhamento (32)	Ilhamento de geradores podem expor os trabalhadores a partes energizadas, sem os mesmos estarem protegidos destes efeitos.
Distúrbios de Tensão (59 e 59G ou 59N)	Para evitar que ocorra sobre ou subtensões, entre fase e terra não permitidos na operação e decorrentes de distúrbios nas redes.
Distúrbio de Frequência (81 e 81R)	Proteções de sub e sobrefrequência são necessárias para evitar instabilidades e operações ilhadas.
Qualidade de Energia (27TN e 87T)	Gerações distribuídas podem expor a rede a problemas de qualidade e estes devem estar dentro dos limites estabelecidos.
Aterramento (64F, 87GD)	Caminhos adicionais para a malha de aterramento não devem ser permitidos para que não haja mau funcionamento dos relés de proteção

### 2.3.3 Métodos de Detecção de Ilhamento

Outra parte fundamental na análise de ilhamento é como determinar a ocorrência do mesmo, ou seja, como detectar que um sistema que antes operava de forma interligada, agora está operando de forma desconectada do sistema principal. Uma falha na detecção

do ilhamento ou demora nesta, pode levar um ilhamento que teria sucesso a não ter mais. Neste contexto, este item mostra um resumo de quais são os métodos de detecção de ilhamento disponíveis, com suas vantagens e desvantagens associadas.

De acordo com Funabashi (FUNABASHI; KOYANAGI; YOKOYAMA, 2003), os métodos de detecção de ilhamento podem ser divididos em métodos ativos e passivos. Os métodos passivos incluem relés de sobre/subtensão e sobre/subfrequência, já os métodos ativos trabalham com aplicações de distúrbios provocados pelos geradores no sistema. Em operação interligada estas variações não promovem grandes variações na tensão e frequência do sistema, mas na ocorrência do ilhamento, a frequência e tensão sofrem grandes variações devido a estas perturbações, indicando a ocorrência do mesmo.

Nos métodos passivos, algumas grandezas elétricas são monitoradas, entre elas, tensão, frequência e distorção harmônica no ponto de conexão. Quando o ilhamento ocorre, as grandezas elétricas medidas variam muito em relação à operação integrada ao sistema. O método passivo possui uma alta sensibilidade e rápida detecção do ilhamento quando o mesmo é possível. Uma desvantagem é que uma operação errada pode ocorrer devido a uma variação abrupta de carga no sistema, e a detecção pode não ocorrer quando a diferença entre a geração e a carga é pequena (FUNABASHI; KOYANAGI; YOKOYAMA, 2003). A Tabela 2 mostra um comparativo entre os métodos passivo e ativo.

Tabela 2 – Comparação entre os Métodos Ativos e Passivos (FUNABASHI; KOYANAGI; YOKOYAMA, 2003).

Item	Método passivo	Método ativo
Princípio	Monitora mudanças na tensão, frequência e harmônicos	Aplica distúrbios através dos geradores distribuídos
Tempo de Detecção	Curto	Longo
Zona Morta	Necessária	Não necessária
Mau Funcionamento	Possível	Não tão possível
Influência no Sistema	Não	Possível, como flutuação de tensão

O relé ROCOF (*Rate Of Change Of Frequency - Taxa de Variação de Frequência*) (FUNABASHI; KOYANAGI; YOKOYAMA, 2003) é geralmente aceito como o método padrão de detecção de ilhamento em sistemas com geração distribuída. Este relé monitora a forma de onda da tensão e opera quando a taxa de variação da frequência excede o valor de pick-up e a duração dessa variação excede também um determinado valor de tempo.

Para os métodos ativos, Funabashi (FUNABASHI; KOYANAGI; YOKOYAMA, 2003) mostra que mesmo na condição em que carga e geração apresentam valores próximos,

o ilhamento pode ser detectado, o que não pode ser feito pelo método passivo. Nesse tipo de método, perturbações externas são aplicadas pelos geradores no seu ponto de conexão associado, sendo assim, frequência e tensão sofrem grandes variações na presença de um ilhamento. O método ativo, em relação ao método passivo, precisa de um tempo maior para detectar o ilhamento, em vista de ter que fornecer a perturbação e detectar variações de tensão e frequência em decorrência da mesma. Assim, o tempo de detecção aumenta, mas nesse método não há uma zona morta de detecção na qual o método não reconhece o ilhamento.

Em ordem de escolher o melhor método de detecção de ilhamento, é preciso ter um método que use tanto o método passivo, como o método ativo para que a detecção do ilhamento possa ser perfeitamente detectada. Uma grande desvantagem acontece quando vários geradores estão em uma mesma área causando interferência um no outro e com isso, ocorre uma diminuição na sensibilidade do método.

Já para Mahat (MAHAT; CHEN; BAK-JENSEN, 2008), as técnicas de detecção de ilhamento podem ser divididas em remotas ou locais, sendo que as técnicas locais podem ser divididas em técnicas passivas, ativas e híbridas. A Tabela 3 faz uma comparação destes métodos.

Tabela 3 – Comparação entre as Técnicas Remotas e Locais (MAHAT; CHEN; BAK-JENSEN, 2008).

Detecção de ilhamento			
Técnica remota	Técnicas Locais		
	Técnica Passiva	Técnica Ativa	Técnica Híbrida

As técnicas remotas de detecção de ilhamento para Mahat (MAHAT; CHEN; BAK-JENSEN, 2008) são baseadas na comunicação entre os geradores e o sistema principal, esse tipo de técnica precisa ter mais confiabilidade do que as técnicas locais e são técnicas mais caras em relação a estas. Dentre as técnicas remotas tem-se (MAHAT; CHEN; BAK-JENSEN, 2008):

- Transferência do *TRIP*: Essa técnica visa monitorar todos os disjuntores e religadores que podem ilhar o sistema, o sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition - Controle de Supervisão e Aquisição de Dados*) pode ser usado nessa tarefa. Essa técnica necessita de uma ótima interação entre geradores e o sistema interligado, aumentando assim o custo de ambas as partes.
- Sinalizador na linha de transmissão: Um gerador de sinal é colocado na linha de transmissão e emite um sinal para um receptor localizado no gerador, se o mesmo

não receber o sinal é porque o sistema encontra-se ilhado, esse método é muito bem aceito em sistemas com várias unidades geradoras.

Para Mahat (MAHAT; CHEN; BAK-JENSEN, 2008), as técnicas locais são baseadas na medição dos parâmetros do sistema do lado do gerador, como tensão, frequência ou por demais grandezas de interesse. Já os métodos passivos trabalham com a medição de parâmetros do sistema como tensão, frequência e distorção harmônica. Esses parâmetros variam muito quando em operação ilhada, e a determinação do ilhamento é realizada se esses parâmetros violarem ou não um valor de *pick-up*. Esses valores de *pick-up* têm que ser escolhidos de forma que o ilhamento seja diferenciado de outras faltas que ocorrem no sistema. Os métodos passivos são rápidos e não aplicam distúrbios no sistema, mas possuem uma zona larga de não detecção (*Large Non Detectable Zone - NDZ*) do ilhamento no sistema. Dentre as técnicas passivas de ilhamento destacam-se (MAHAT; CHEN; BAK-JENSEN, 2008):

- Taxa de variação da potência de saída;
- Taxa de variação da frequência;
- Desequilíbrio de tensão.

Para as técnicas ativas, Mahat (MAHAT; CHEN; BAK-JENSEN, 2008) mostra que é possível detectar o ilhamento, mesmo que a geração e a carga se encontrem em equilíbrio. Como os métodos ativos interagem com o sistema introduzindo perturbações, temos que uma pequena perturbação irá causar uma grande variação nos parâmetros da rede, quando o gerador operar em modo ilhado. Entretanto, se o gerador estiver acoplado ao sistema, essa perturbação não gerará grandes variações nos parâmetros do mesmo. Algumas das técnicas de detecção ativas são (MAHAT; CHEN; BAK-JENSEN, 2008):

- Detecção de erro na exportação de potência reativa;
- Método de medida de impedância;
- Método de variação de fase ou frequência.

Por fim, o estudo de Mahat (MAHAT; CHEN; BAK-JENSEN, 2008) finaliza com as técnicas híbridas, que utilizam ambas as técnicas passivas e ativas. Técnicas ativas são utilizadas conjuntamente com as passivas quando há suspeita de que o ilhamento aconteceu e com isso são aplicados os distúrbios para confirmação.

### 2.3.4 Uso de Regiões de Segurança em Ilhamentos e Operações Ilhadas

Este item mostra os trabalhos que utilizam a concepção de regiões de segurança para a avaliação das condições operativas de um sistema, frente a contingências de grande impacto (CHEN; XU; OSTERGAARD, 2009) e (CHEN; XU; OSTERGAARD, 2011). Como objetivo desta dissertação, o uso de regiões de segurança foi estendido para operações de sistemas ilhados, para definição dos pontos operativos em que a ilha tem sucesso de operar de forma segura. Como aplicação do uso de regiões de segurança para ilhamento, pode-se citar Chen (CHEN; XU; OSTERGAARD, 2009) e (CHEN; XU; OSTERGAARD, 2011), que investiga os mecanismos de controle para um ilhamento intencional, quando um sistema de distribuição, que geralmente opera conectado com o sistema principal, é separado do mesmo, devido a uma manutenção ou distúrbio no sistema.

Na Dinamarca, onde existe um programa energético (AUTHORITY, 2007), estes estudos foram conduzidos de forma real (CHEN; XU; OSTERGAARD, 2009) e (CHEN; XU; OSTERGAARD, 2011). No trabalho de Chen (CHEN; XU; OSTERGAARD, 2009) e (CHEN; XU; OSTERGAARD, 2011) o conceito de região de segurança ilhada foi proposto e aplicado como uma solução para estudos de ilhamento, de forma a avaliar corretamente a segurança de uma operação ilhada, particularmente em relação à estabilidade de frequência. Com este conceito de região de segurança ilhada, o operador do sistema é capaz de avaliar o quão distante o sistema está de uma operação ilhada ser realizada com ou sem sucesso, de acordo com seu ponto de operação atual. Correspondentemente, as medidas de controle adequadas e esquemas de coordenação podem ser melhor preparados para ocorra o sucesso do ilhamento.

Através da Figura 1 é possível observar uma simulação de região de segurança para um sistema ilhado, conforme detalhado no trabalho de Chen (CHEN; XU; OSTERGAARD, 2009) e (CHEN; XU; OSTERGAARD, 2011). As linhas contínuas da Figura 1 mostram a região onde os pontos de operação atendem aos critérios de frequência desejados, durante um ilhamento. A linha pontilhada mostra a região onde a potência gerada é igual a da carga.

O trabalho de Chen (CHEN; XU; OSTERGAARD, 2009) e (CHEN; XU; OSTERGAARD, 2011) mostra a relevância do uso de regiões de segurança dinâmicas em análises de ilhamento. O mesmo usa estas regiões para comparar com o ponto operativo atual do sistema e desta forma atuar ou não com medidas de controle para que o ilhamento seja factível. Uma grande dificuldade das regiões de segurança do trabalho de Chen (CHEN; XU; OSTERGAARD, 2009) e (CHEN; XU; OSTERGAARD, 2011) é que não é possível saber como se comporta o perfil de tensão e carregamento dos circuitos do sistema. Por essa necessidade de determinação dos limites de tensão e carregamentos dos circuitos e não somente da determinação da região estável, nesta dissertação foi utilizado o programa ORGANON para auxílio na obtenção das regiões de segurança dinâmicas, sendo estas

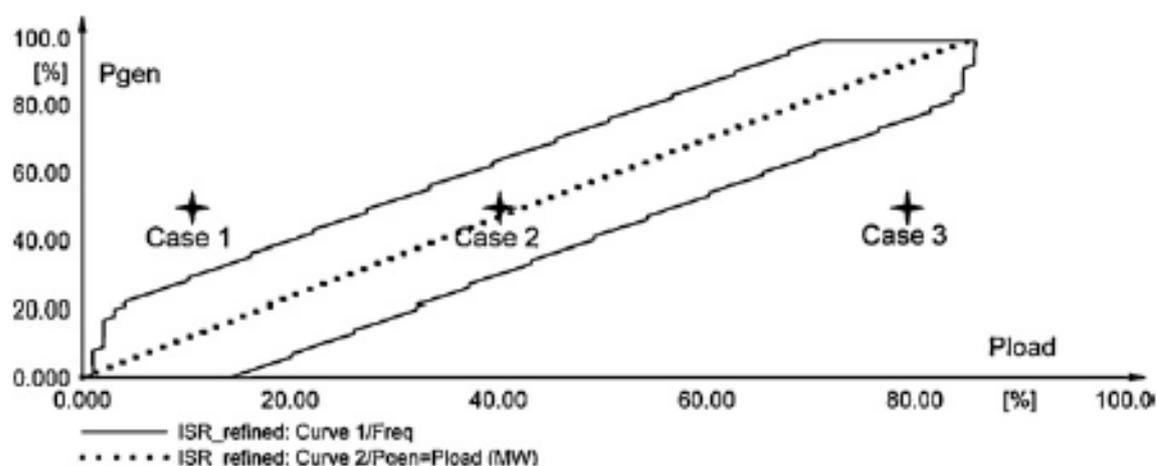


Figura 1 – Região de segurança que atende aos critérios de frequência (CHEN; XU; OSTERGAARD, 2009) e (CHEN; XU; OSTERGAARD, 2011).

capazes de analisar o sistema do ponto de vista de estabilidade, de perfil de tensão e de carregamento dos circuitos. O conceito e interpretação das regiões de segurança dinâmicas são abordados no Capítulo 4.

## 3 ORGANON

### 3.1 Introdução

Como citado no Capítulo 1, o objetivo desta dissertação é aplicar as regiões de segurança dinâmicas nas análises de ilhamentos e operações ilhadas de SEPs. Para que estas análises sejam completas e seguras é preciso que a ferramenta ou o programa utilizado seja robusto e ao mesmo tempo confiável. Desta forma, garantimos que os resultados obtidos nas simulações sejam os mais próximos possíveis da operação real do sistema.

Pelas necessidades de robustez e confiabilidade, o programa ORGANON (JARDIM et al., 2000) foi escolhido e utilizado nesta dissertação. Além destas características, o mesmo possui diversas ferramentas de análise e métodos diferenciados de soluções para estas, tornando-se um programa essencial nas análises de SEPs. Por ser relevante e de fácil uso em simulações, esta dissertação apresenta neste capítulo uma visão geral do programa ORGANON (Item 3.2), como também de suas ferramentas e métodos utilizados nas análises de segurança, de regime normal e de regime dinâmico de sistemas de potência (Item 3.3).

### 3.2 Visão Geral do Programa ORGANON

O ORGANON é uma ferramenta de análise e segurança de sistemas elétricos de potência, que atualmente é utilizado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico Brasileiro (ONS) em âmbito de análises em tempo real (JARDIM; NETO; SANTOS, 2006). O ORGANON pode ser usado para estudos de planejamento da operação e expansão, nos modos *off-line* e *online* (integrado com um EMS - *Energy Management System - Sistema de Gestão de Energia*) para os casos onde são necessárias aplicações em tempo real.

Em seu cerne, o Organon combina alto desempenho computacional (*High Performance Computation* - HPC), métodos e algoritmos confiáveis e representação detalhada dos sistemas de potência para atingir os requisitos de avaliação *off-line* e *on-line* necessários (JARDIM; NETO; SANTOS, 2006).

O HPC comentado acima é alcançado no ORGANON, através de uma estrutura de processamento paralelo, onde se define um processo mestre o qual distribui as tarefas para os processos ditos escravos. O sistema pode ser executado em um único computador (um ou múltiplos processadores) ou um computador *cluster* (multiprocessadores). A linguagem de programação do sistema é escrita basicamente em Fortran - 90/95 e C++ para plataformas Windows (JARDIM et al., 2000).

Outro ponto de destaque deste programa é a interface com o usuário que é baseada em menus, caixas de diálogos e janela de resultados, sendo assim, de interface amigável. Todas as operações como carregamentos e salvamentos de dados, edição, execução de simulações e relatórios são acessados através do menu principal e/ou menus secundários.

### 3.3 Ferramentas e Métodos Utilizados no ORGANON

O ORGANON, diferentemente dos programas comumente utilizados para simulações elétricas, possui em sua estrutura, análise integrada de estudos de regime permanente, transitório eletromecânico, como também análise de segurança (regiões de segurança).

Com esta estrutura, o ORGANON se torna uma ferramenta poderosa para subsidiar os planejadores e operadores dos SEPs a avaliarem, respectivamente as necessidades de expansões e os riscos de operação. Os Subitens 3.3.1 à 3.3.8 mostram de forma sucinta estas ferramentas disponíveis no ORGANON. As informações técnicas destas ferramentas e de seus métodos foram retiradas das referências (JARDIM *et al.*, 2000), (JARDIM; NETO; KWASNICKI, 2004) e (JARDIM; NETO; SANTOS, 2003). Para mais detalhes técnicos das funcionalidades/uso do programa ORGANON a referência (CHAVES, 2008) é recomendada.

#### 3.3.1 Avaliação de Segurança

A avaliação de segurança realizada pelo ORGANON, consiste em um processo automatizado de avaliação de contingências, determinando, através das soluções do fluxo de potência e simulações no domínio do tempo as regiões em que são possíveis operar o sistema sem violar os limites de estabilidade, de geração, de tensão e de carregamentos de equipamentos do sistema.

Todo este processo descrito é realizado através de processamento distribuído, ou seja, um processo mestre conduz processos escravos a fazerem determinadas funções básicas, enquanto, o processo mestre as recebe, as redireciona e finaliza o processo. Os componentes essenciais da avaliação de segurança automática do ORGANON são (JARDIM *et al.*, 2000):

- Ferramentas para realizar simples tarefas, como fluxo de potência, redespacho e simulações no domínio do tempo;
- Métodos de extração de diagnósticos das simulações realizadas sem interpretação do usuário ou de inspeção visual;
- Procedimentos para avaliar automaticamente aspectos de segurança do sistema, como: limites térmicos e regiões de segurança;

- Interface gráfica e relatório para checagem de dados;
- Ferramentas de controle dos processos paralelos.

### 3.3.2 Fluxo de Potência Convencional

Para realização do fluxo de potência convencional, o método de Newton-Raphson é usado por causa da sua melhor convergência. Todos os controles (*tap*, geração remota, *shunts*, HVDC (*High-Voltage Direct Current - Alta Tensão em Corrente Contínua*)) são resolvidos simultaneamente pelo método de Newton. No ORGANON existe o controle do passo do método de Newton, que é implementado para promover a convergência em casos difíceis. Procedimentos de inicialização e outros métodos não publicados para melhorar a convergência são também empregados (JARDIM et al., 2000).

### 3.3.3 Fluxo de Potência Continuado

Fluxo de potência continuado, consiste em avançar de uma solução convergida de fluxo de potência para outra através de um método automatizado, determinando desta forma, o máximo ponto de carregamento do sistema. A solução do fluxo de potência continuado é implementada com base no método do vetor tangente, que através da solução de um fluxo de potência convencional, realiza uma transição suave entre dois pontos de operação. Isto é possível através da reformulação das equações de fluxo de potência que evitam um mau condicionamento da matriz Jacobiana (JARDIM et al., 2000).

### 3.3.4 Fluxo de Potência por Dinâmica Sintética

Para soluções de problemas de fluxo de potência com difícil convergência, ou para determinar se existem soluções factíveis destes, o ORGANON usa como ferramenta, o Fluxo de Potência por Dinâmica Sintética (*Synthetic Dynamic Power Flow - SDPF*). Este método robusto de solução de fluxo de potência emprega uma simulação dinâmica inicial, onde a solução de regime permanente desta é utilizada como entrada de dados para a solução do fluxo de potência de interesse (JARDIM et al., 2000).

### 3.3.5 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade no ORGANON consiste na determinação de índices que mostram a influência de uma ou mais variáveis controladas sobre uma ou mais variáveis dependentes. O ORGANON realiza as análises de sensibilidade de (JARDIM et al., 2000):

- Variação do fluxo de MW no ramo por variação de MW no gerador ( $dPF/dPg$ );
- Variação da tensão na barra por variação de MW da carga ( $dV/dPL$ );

- Variação da tensão na barra por variação de tensão na barra controlada ( $dV/dVBcl$ );
- Variação da tensão na barra por variação de Mvar (*Shunt*) ( $dV/dQsh$ );
- Variação do fluxo de MW no ramo por abertura no ramo ( $dPF/dRpf$ ).

### 3.3.6 Simulação no Domínio do Tempo

As soluções dos problemas de transitórios eletromecânicos são realizadas no programa ORGANON através de um algoritmo de integração de ordem e passos variáveis e com solução simultânea das equações algébricas e diferenciais. Este algoritmo é adequado para a simulação eficiente da dinâmica de curto e longo prazo. O passo de integração é controlado conforme o comportamento da simulação. Por exemplo, se uma oscilação de alta frequência está presente na trajetória da simulação, o passo de integração será forçado a um valor menor. Por outro lado, se a trajetória se torna suave o passo de integração será aumentado. Também, no caso de instabilidade do sistema o passo será forçado a uma redução (tipicamente os passos de integração variam de 0,001s até 40s). As vantagens principais de um passo de integração variável são (JARDIM et al., 2000):

- Mais robustez;
- Simulações são geralmente mais rápidas;
- Os mesmos modelos podem ser usados para fenômenos dinâmicos lentos ou rápidos.

O ORGANON possui também algoritmos de funções de energia incorporados. Isto permite o término mais rápido da simulação, como também o cálculo de margens de energia.

### 3.3.7 Função de Energia

O programa ORGANON usa função de energia e técnicas relacionadas para determinação de margens de energia, estabilidade de sistemas e ações preventivas. O ORGANON também usa o conceito de funções de energia individuais onde cada gerador é mapeado em um sistema máquina-barra infinita. Esta abordagem individual para as máquinas permite a definição de suas respectivas margens de energia. Como a energia é calculada ao longo da simulação, se uma ou mais máquinas síncronas perdem o sincronismo, a energia não dissipada é calculada (margem de energia negativa). No final, estes valores são convertidos em MW para gerar limites individuais ou por grupos de geração. O Cálculo das margens negativas é mais simples do que o das margens positivas, as quais são, na verdade, estimadas. Os limites de geração são obtidos através de esquemas de compensação. Estas técnicas permitem determinar as máquinas críticas do sistema (JARDIM et al., 2000).

### 3.3.8 Análise Prony

A análise de Prony verifica o amortecimento das oscilações eletromecânicas de um sistema de potência. Isto é feito através de decomposição modal das variações angulares dos geradores ([JARDIM et al., 2000](#)).

## 4 Regiões de Segurança Dinâmicas

### 4.1 Importância das Regiões de Segurança Dinâmicas no Planejamento de Ilhamentos e Operações Ilhadas de SEPs

No contexto do planejamento da operação, várias configurações operativas são adotadas ao longo de um dia. Estas mudanças de configurações podem ser devidas a manutenções preventivas, tentativa de minimizar as perdas no sistema, indisponibilidade de equipamentos, superação da capacidade de disjuntores e por demais fatores que influenciam a operação do SEP.

Atreladas com as variações na topologia da rede, existem também as variações dos cenários hidrológicos associados. Os cenários de despachos das usinas hidrelétricas e os intercâmbios entre regiões são influenciados pela capacidade de armazenamento dos reservatórios, chuvas e outras condições climáticas. Estas variações de cenários hidrológicos e de topologias podem levar o sistema a um ponto de operação, o qual, tem uma pequena margem de estabilidade associada. Esta margem e análise das influências de topologias e cenários hidrológicos podem ser quantificadas, através do uso de regiões de segurança.

Como citado no parágrafo acima, a operação de um SEP tem alta complexidade e sem dúvidas, necessita de ferramentas de análise de segurança, para que os planejadores e operadores do sistema possam em um curto espaço de tempo, atuar de forma planejada no SEP, para que este sempre esteja operando com a maior confiabilidade possível. Neste contexto, o uso de regiões de segurança dinâmicas ([JARDIM; NETO; KWASNICKI, 2004](#)), é essencial para que se possam ter os pontos operativos possíveis dentro dos critérios definidos por ([ONS, 2009a](#)) e ([ANEEL, 2010](#)). Este uso pode ser estendido para a análise de ilhamentos e operações ilhadas ([CHEN; XU; OSTERGAARD, 2009](#)) e ([CHEN; XU; OSTERGAARD, 2011](#)), mostrando quais os limites e medidas de controle possíveis e necessárias para que estas condições operativas possam vir a ocorrer.

As regiões de segurança podem ser tanto estáticas como dinâmicas, sendo estas diferenciadas pela forma de serem obtidas, ou seja, obtenção através de simulações de regime permanente ou por simulações no domínio do tempo, respectivamente. O presente trabalho tem como escopo a análise de regiões de segurança dinâmicas, onde as mesmas avaliam o SEP frente a uma série de contingências.

Os capítulos anteriores tiveram como escopo propor uma nova metodologia de análise de ilhamentos e operações ilhadas através do uso de regiões de segurança dinâmicas, analisar de forma detalhada os impactos e os requisitos necessários para viabilizar uma

operação ilhada e como funciona e os recursos disponíveis no programa ORGANON. Já neste capítulo, o objetivo é mostrar os conceitos básicos sobre as regiões de segurança dinâmicas, como também consolidar este conhecimento através de exemplos teóricos. Tanto os conceitos básicos, como os exemplos expostos neste capítulo, são fundamentais para entender as aplicações da metodologia proposta nesta dissertação, as quais estão contidas nos Capítulos 5 e 6.

## 4.2 Conceitos Básicos sobre Região de Segurança Dinâmica no ORGANON

Para a criação das regiões de segurança dinâmicas, o ORGANON usa técnicas que automatizam sua criação, avaliando a condição de segurança operativa de um sistema elétrico de potência em um ponto de operação fornecido e em sua vizinhança (JARDIM et al., 2000), (JARDIM; NETO; KWASNICKI, 2004) e (JARDIM; NETO; SANTOS, 2006). Dispondo deste recurso, o ORGANON define através da solução de fluxo de potência, o ponto de operação inicial, após isso, utiliza as variações nos despachos de três grupos geradores equivalentes definidos para gerar a vizinhança operativa. Estes três grupos de geração, denominados G1, G2 e G3 devem conter todas as máquinas de interesse, exceto a máquina *swing* do sistema, pois, para a simulação é preciso definir o fator de participação de cada máquina, e como a potência da barra *swing* só é conhecida ao final da solução do fluxo de potência, esta máquina deve ter sua geração fixada. Desta forma o grupo equivalente G3 faz a função do balanço dos fluxos, absorvendo ou injetando potência conforme as variações de geração dos grupos G1 e G2, atuando como uma *swing* fictícia (LONDERO et al., 2010a).

Após determinados estes três grupos geradores, é necessário a determinação das contingências que serão aplicadas ao sistema. Com a definição dos três grupos geradores e das contingências, é mantida constante a carga do sistema, variando as gerações em determinadas direções, sendo estas, iniciadas pelo ponto de operação inicial. A cada variação de geração dos grupos são aplicadas as contingências definidas e as simulações dinâmicas são realizadas para avaliar se houve violação dos critérios de tensão, carregamento de equipamentos ou estabilidade.

Depois de realizadas todas as simulações, os resultados armazenados são mostrados ao usuário através de três gráficos bidimensionais, denominados nomogramas (LONDERO et al., 2010a). Estes três nomogramas representam respectivamente os gráficos G1xG2, G2xG3 e G1xG3, sendo que em qualquer um destes é possível analisar as violações ou não dos limites para cada par de grupo de geradores. A Figura 2 mostra o gráfico tridimensional com cada eixo representando um dos grupos geradores e a Figura 3, mostra o nomograma G2xG3, que é projeção no plano, da região G2 com a região G3. Pode-se ver

na Figura 3, o ponto de operação atual, e as respectivas regiões estáveis e instáveis. Para a análise realizada nesta dissertação foram adotadas as seguintes cores para cada região:

- Região Branca – Região Insegura;
- Região Colorida – Região Segura;
- Região Azul – Região Segura, mas com violação do limite térmico de pelo menos um dos equipamentos;
- Região Vermelha – Região Segura, sem violação do limite térmico para os equipamentos;
- Contorno Verde – Contorno da região onde não ocorrem violações dos limites de tensão.

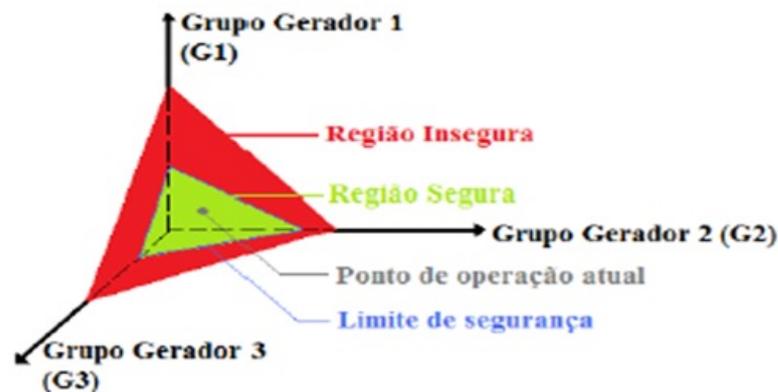


Figura 2 – Gráfico tridimensional com os grupos G1, G2 e G3 (LONDERO et al., 2010a).

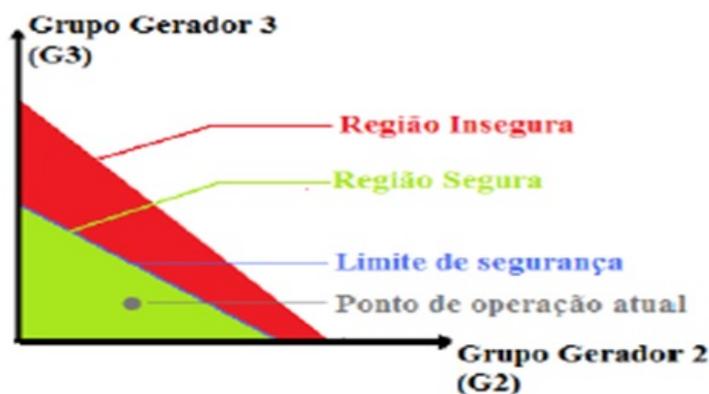


Figura 3 – Nomograma G2xG3 do gráfico tridimensional da Figura 2 (LONDERO et al., 2010a).

### 4.3 Exemplos de Interpretação dos Resultados de Regiões de Segurança Dinâmicas

Neste item são apresentados dois exemplos fictícios de resultados de regiões de segurança no formato de nomogramas, um com o ponto de operação dentro da região de operação estável e o outro com o ponto de operação fora da região estável. Estes dois exemplos têm como objetivo reforçar o conhecimento básico apresentado no Item 4.2, assim, o presente item foi baseado e adaptado (exemplos) da referência (ONS, 2009b). Como explicado no item anterior, nomogramas são gráficos bidimensionais que mostram regiões e contornos com cores diferenciadas. Cada região ou contorno, corresponde à informação sobre um limite de segurança do sistema elétrico. As características básicas da região de segurança dinâmica podem ser visualizadas na Figura 4, que mostra o Ponto de Operação (PO), como também as áreas e regiões coloridas geradas pela simulação. Para uma melhor interpretação dos nomogramas, o mesmo é separado por áreas e contornos (cores), sendo elas:

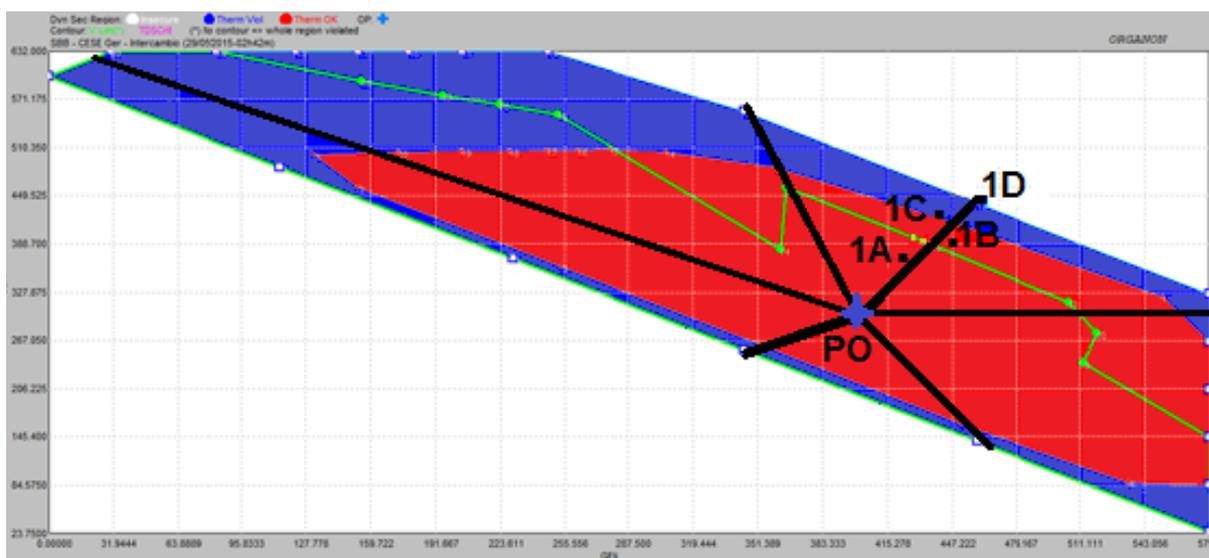


Figura 4 – Região de segurança com PO dentro da região estável de operação.

- Área Branca: Não é possível operar o sistema por qualquer uma das seguintes possibilidades:
  - Um dos grupos de geração atingiu o limite máximo ou mínimo de geração; (esgotamento de suporte de reativos na transmissão ).
- Áreas Coloridas: Dentro das áreas coloridas é possível operar o sistema com segurança, ou seja, o sistema é estável para todas as contingências simuladas.
- Área Vermelha: Dentro dessa área ou desse contorno não há violação da capacidade dos circuitos monitorados.

- Área Azul: Dentro dessa área ou desse contorno há violação da capacidade dos circuitos monitorados, para pelo menos um dos equipamentos.
- Contorno Verde claro: Dentro deste contorno não há a violação dos limites de tensão.

Quando um limite do tipo térmico, de tensão ou de simulação dinâmica não é violado em uma direção, o contorno associado a esse limite é traçado exatamente sobre o contorno do limite de segurança naquela direção (fronteira colorida). Quando um contorno associado a um limite do tipo térmico ou de tensão não aparece no nomograma, é porque esse limite está violado em toda a região de segurança.

A Figura 4 mostra um nomograma resultante de uma simulação de um sistema fictício, temos nesta figura a cruz azul (ponto de operação – PO), as áreas de cor branca, azul, vermelha e verde (que são geradas pela simulação do ORGANON), como também traçados em linha preta (representantes das direções de variação de geração tomadas pelo ORGANON) e as indicações PO, 1A, 1B, 1C e 1D, que não pertencem ao resultado da simulação, sendo estas acrescentadas manualmente para facilitar a interpretação da ferramenta. A Tabela 4 a seguir apresenta um resumo de interpretação de cada ponto destacado (PO, 1A, 1B, 1C, 1D) na região de segurança da Figura 4. Da Tabela 4 observa-se que existem alguns limites de saída, quando ocorrem violações dos critérios de tensão, estabilidade e carregamento das regiões de segurança, sendo os mesmos representados pelo índice *OUT*. Estes limites de saída para tensão, estabilidade e carregamento são fornecidos pelo ORGANON através de tabelas e relatórios, os mesmos são detalhados e explicados conforme abaixo (ONS, 2009b):

- O limite de saída ocorre porque no ponto de operação não há a violação de nenhum limite e ao se afastar do ponto original é possível que haja a violação de algum limite. Quando isso ocorre o ponto de operação sai da região na qual não há a violação.
- O limite de segurança *DS\_OUT* informa que além desse ponto não é possível operar o sistema, por qualquer uma das seguintes razões:
  - Limite do Tipo “*Generation Limit*” : Não é possível mover o ponto de operação além desse limite, pois a geração de algum dos grupos de geração atingiu seu valor máximo ou mínimo.
  - Limite do Tipo “*Nose Limit*”: Esse ponto indica uma condição em que o sistema atingiu seu ponto de máximo carregamento, ou seja, não é possível continuar naquela direção, pois há um esgotamento do suporte de reativos em um corredor de transmissão.
  - Limite do Tipo “*Convergence Limit*”: Este ponto também indica uma condição em que o sistema atingiu seu ponto de máximo carregamento. Entretanto o “*Nose*

Tabela 4 – Interpretação da Região de Segurança da Figura 4, adaptado de (ONS, 2009b).

Ponto	Limites		
	Segurança (Estável)	Térmico	Tensão
PO	Seguro, pois está na região colorida.	Sem violações, pois está dentro da região vermelha.	Sem violações, pois estão dentro do contorno verde claro.
1A	Seguro, pois está na região colorida.	Sem violações, pois está dentro da região vermelha.	Sem violações, pois estão dentro do contorno verde claro.
1B	Seguro, pois está na região colorida.	Sem violações, pois está dentro da região vermelha.	$VL\_OUT$ – Ponto limite de saída (além passa a ter violação) na direção 1.
1C	Seguro, pois está na região colorida.	$TL\_OUT$ – Ponto Limite de saída (além passa a ter violação) na direção 1.	Com violação, pois está fora do contorno verde claro.
1D	$DS\_OUT$ – Ponto limite de saída (além passa a ser inseguro) na direção 1.	Com violação, pois está fora da área vermelha.	Com violação, pois está fora do contorno verde claro.

*Limit*” não foi detectado explicitamente. O que ocorre é que o processo do fluxo de potência continuado é interrompido quando não há mais convergência do fluxo de potência no ciclo de correção, mesmo com passos muito pequenos no ciclo de previsão.

- Limite do Tipo “*Security Limit*”: Esse ponto indica realmente a condição insegura. Qualquer ponto além dele é inseguro, ou seja, para pelo menos uma das contingências simuladas o sistema perdeu a estabilidade.

- O limite térmico  $TL-OUT$  indica que além daquele ponto há a violação da capacidade de algum circuito. Essa avaliação é feita na condição de regime pós-defeito, através da comparação do fluxo em MVA com o limite de emergência definido.
- O limite de tensão  $VL-OUT$  indica que além daquele ponto há a violação da faixa de tensão operativa de alguma barra. Essa avaliação é feita na condição de regime pós-defeito, através da comparação da tensão na barra com a faixa de emergência definida.

A Figura 4, mostrou um nomograma no qual o ponto de operação estava dentro da região de operação estável do sistema, já para o nomograma da Figura 5 o ponto de operação está fora da região estável. Para a Figura 5 a metodologia de interpretação foi a mesma que foi utilizada para a Figura 4, sendo indicados também os pontos de destaque

(PO, 1A, 1B, 1C, 1D e 1E), como também as linhas contínuas pretas, que representam algumas direções de variação de geração dos grupos geradores equivalentes. A Tabela 5 a seguir apresenta um resumo de cada ponto destacado na região de segurança da Figura 5.

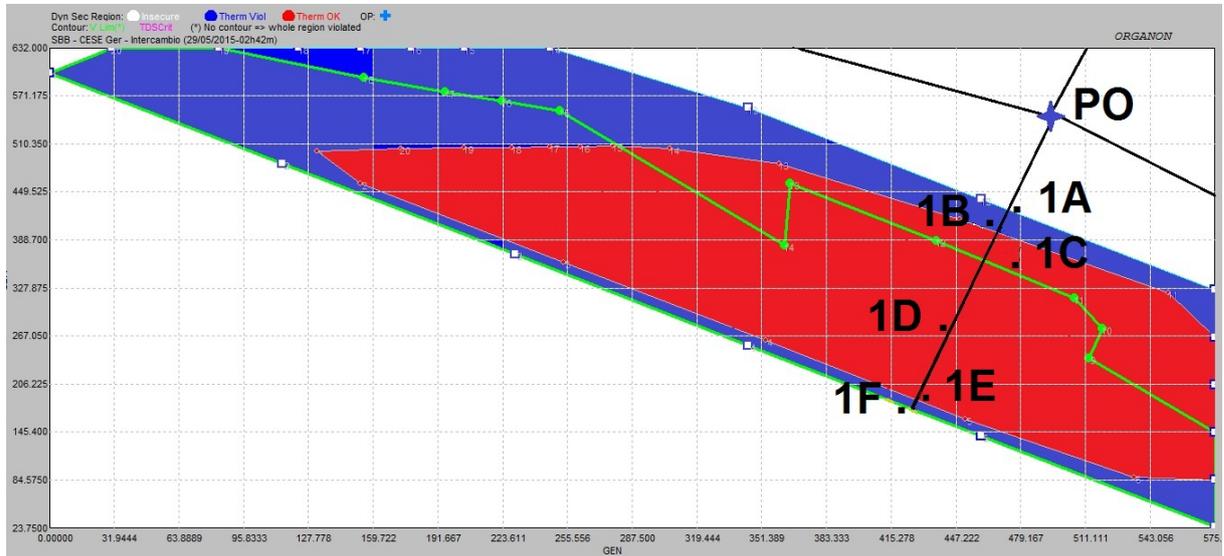


Figura 5 – Região de segurança com PO fora da região estável de operação.

Da Tabela 5 observa-se que existem alguns limites de entrada, quando não ocorre mais a violação dos critérios de tensão, estabilidade e carregamento nas Regiões de Segurança, sendo os mesmos representados pelo índice *IN*. Os limites de entrada para tensão, estabilidade e carregamento são fornecidos pelo ORGANON através de tabelas e relatórios, os mesmos são detalhados conforme abaixo (ONS, 2009b):

- O limite de entrada ocorre porque no ponto de operação todos os limites estão violados e ao se afastar do ponto original é possível que deixe de haver a violação de algum limite. Quando isso ocorre o ponto de operação passa a entrar na região na qual não há a violação daquele limite.
- O limite de segurança *DS-IN* informa que além desse ponto a operação do sistema passa a ser segura, ou seja, o sistema suporta todas as contingências analisadas sem perder a estabilidade. Deve-se ressaltar que apesar de ser estável o sistema pode estar violando os critérios, como acontece no exemplo da figura acima, entretanto, como já foi destacado anteriormente, o sistema é considerado seguro, mesmo que haja a violação dos critérios. O tipo do limite nesse caso é sempre “*Security Limit*”.
- O limite térmico *TL-IN* indica que além daquele ponto, inclusive, não há mais violação da capacidade de nenhum circuito. Essa avaliação é feita na condição de regime pós-defeito, através da comparação do fluxo em MVA com o limite de emergência definido.

Tabela 5 – Interpretação da Região de Segurança da Figura 5, adaptado de (ONS, 2009b).

Ponto	Limites		
	Segurança (Estável)	Térmico	Tensão
PO	Inseguro, pois está fora da região colorida.	Com violação, pois está fora da área vermelha.	Com violação, pois está fora do contorno verde claro.
1A	$DS\_IN$ – Ponto limite de entrada (passa a ser seguro) na direção 1.	Com violação, pois está fora da área vermelha.	Com violação, pois está fora do contorno verde claro.
1B	Seguro, pois está na região colorida.	$TL\_IN$ – Ponto Limite de entrada (deixa de ter violação) na direção 1	Com violação, pois está fora do contorno verde claro.
1C	Seguro, pois está na região colorida.	Sem violação, pois está dentro da área vermelha.	$VL\_IN$ – Ponto Limite de entrada (deixa de ter violação) na direção 1.
1D	Seguro, pois está na região colorida.	Sem violações, pois está dentro da região vermelha.	Sem violações, pois estão dentro do contorno verde claro.
1E	Seguro, pois está na região colorida.	$TL\_OUT$ – Ponto Limite de saída (além passa a ter violação) na direção 1.	Sem violações, pois estão dentro do contorno verde claro.
1F	$DS\_OUT$ – Ponto limite de saída (além passa a ser inseguro) na direção 1.	Com violação, pois está fora da área vermelha.	Sem violações, pois estão dentro do contorno verde claro.

- O limite de tensão  $VL-IN$  indica que além daquele ponto, inclusive, não há mais violação da faixa de tensão operativa de nenhuma barra. Essa avaliação é feita na condição de regime pós-defeito, através da comparação da tensão na barra com a faixa de emergência definida.

Em síntese, este capítulo através de dois exemplos mostrou como interpretar de forma clara e rápida o resultado de qualquer nomograma, observando quais são os pontos de entrada e saída (e suas causas) nas regiões de operação estável, de atendimento de carregamento e nível de tensão. A interpretação dos resultados das aplicações deste Capítulo 4 são base para o entendimento dos resultados obtidos nos Capítulos 5 e 6.

# 5 Aplicação de Regiões de Segurança Dinâmicas em Sistemas de Transmissão

## 5.1 Introdução

O Capítulo 1 mostrou o objetivo da presente dissertação, o qual é aplicar uma nova metodologia de análise de ilhamentos e operações ilhadas. Esta metodologia é composta por duas etapas, a primeira composta por uma análise preliminar de segurança (através do uso de regiões de segurança dinâmicas), a qual determina os pontos operativos que não violam os limites de estabilidade, de carregamento e de tensão do sistema, durante a realização de ilhamentos e operações ilhadas. Após a determinação dos pontos de operações que não violam os critérios supracitados, a segunda etapa é aplicar a tradicional análise de frequência (análises transitórias e de regime permanente) para determinar se existe para estes, subfrequência ou sobrefrequência inadmissíveis (devidas ao desbalanço entre carga e geração), durante o ilhamento e operação ilhada. Caso ocorra subfrequência ou sobrefrequência inadmissíveis, medidas de controle (corte de carga e/ou geração) podem ser aplicadas e as duas etapas da metodologia devem ser aplicadas novamente. Este processo deve ser repetido até que seja possível determinar se o ilhamento ou operação ilhada é ou não factível.

Ainda no Capítulo 1 foi esclarecido que na presente dissertação seria apenas estudada e aplicada a primeira etapa da nova metodologia sugerida para análise de estudos de ilhamentos e operações ilhadas, ou seja, como usar as regiões de segurança dinâmicas na determinação dos pontos operativos que não violam os critérios de estabilidade, de carregamento e de limites de tensão.

É importante ressaltar que a metodologia proposta por esta dissertação na análise de ilhamentos e operações ilhadas é abrangente, ou seja, pode ser aplicada tanto para sistemas de transmissão, subtransmissão, como também para sistemas de distribuição. Para mostrar esta abrangência este capítulo aborda a aplicação da metodologia para um sistema de transmissão e no Capítulo 6 é aplicada a mesma metodologia para um sistema de subtransmissão/distribuição.

## 5.2 Aplicação das Regiões de Segurança Dinâmicas em Sistemas de Transmissão

Os SEP's possuem grande inércia, capacidade elevada de geração de potência ativa e reativa e equipamentos para controle de frequência e tensão. Considerando estes elemen-

tos, ilhamentos decorrentes de manutenções, ou até mesmo por contingências, acabam parecendo razoáveis e de certa forma factíveis. Ocorrendo o ilhamento entre as áreas, um sistema de transmissão ainda poderá suprir a demanda ativa e reativa do sistema, em caso de não atendimento, esquemas de corte de carga ou geração podem ser implementados.

Um sistema de transmissão tem que manter rígidos critérios de operação, como por exemplo, controle de tensão nas barras, controle de frequência, controle dos níveis de carregamento, e demais condições determinadas pelos Procedimentos de Rede do ONS (ONS, 2009a). Para que o ilhamento neste tipo de sistema seja realizado com sucesso, o sistema ilhado, após o transitório, deve alcançar um ponto de equilíbrio estável e que atenda os critérios de qualidade já supracitados. Após a sua separação com relação ao sistema interligado, a ilha deverá ser capaz de suportar novas contingências, realizando o controle de tensão e frequência na área, para que o fornecimento de energia tenha qualidade e confiabilidade adequadas.

O estudo para viabilidade de operação ilhada de um sistema de transmissão deve prever que após o ilhamento, o sistema ainda estará sujeito a perturbações, e os cenários de despacho das máquinas podem não ser os mais adequados (próximos de limites de estabilidade), sendo assim, regiões de segurança dinâmicas são formas de mapear os despachos possíveis, para que uma operação ilhada tenha alta confiabilidade.

Desta forma, este capítulo mostra a utilização das regiões de segurança dinâmicas do ORGANON na análise de estabilidade de sistemas de transmissão, frente a curtos-circuitos *shunt* em barras, curtos-circuitos *shunt* em linhas de transmissão com aberturas destas, variações de carga, variações de geração e ilhamentos decorrentes de contingências, como também por manutenções. Para dar sequência nas análises e agora de forma prática através de simulações, neste capítulo são utilizadas as premissas adotadas por Fuangfoo (FUANGFOO; LEE; KUO, 2007), (FUANGFOO et al., 2008) e Londero (LONDERO et al., 2010b), aplicando assim a análise de regiões de segurança dinâmicas, para o sistema de transmissão antes, durante e após o ilhamento.

A simulação deste capítulo abordou um sistema de transmissão, sendo este um equivalente da região Sul-Sudeste do Sistema Interligado Nacional Brasileiro (ALVES, 2007), formado por usinas hidráulicas e com um amplo sistema de transmissão.

O Item 5.3 apresenta uma descrição do sistema teste, dos patamares de carga estudados, como também das contingências aplicadas no sistema de transmissão escolhido. Nos Itens 5.4, 5.5 e 5.6 são apresentadas as simulações desenvolvidas para o sistema Sul-Sudeste, abordando o sistema antes do ilhamento, durante o ilhamento e após o ilhamento das áreas, respectivamente. Para todas estas simulações foram obtidos os nomogramas com as respectivas regiões de segurança dinâmicas.

### 5.3 Sistema Sul-Sudeste

Para análise de ilhamento e operação ilhada de um sistema de transmissão considera-se, neste item, o sistema equivalente teste Sul-Sudeste contido em Alves (ALVES, 2007), sendo o mesmo um equivalente de um sistema real de transmissão brasileiro que opera de forma interligada. A Figura 6 mostra o diagrama unifilar do sistema-teste, o qual possui 65 barras, sendo que 33 estão localizadas na região Sul, denominada área 2 e 32 localizadas na região Sudeste, denominada área 1.

A região Sul, ou área 2, é composta pela rede de 230 kV estendida de Areia até Blumenau, conectando também Curitiba, a sua capacidade de geração é de 8912,0 MW, este montante de geração está dividido entre sete usinas, sendo elas: Salto Osório, Salto Caxias, Salto Segredo, Salto Santiago, Governador Bento Munhoz, Machadinho e Itá. Esta área tem uma carga de 5689,1 MW (ALVES, 2007). A região Sudeste, ou área 1, é composta pela rede de 500 kV da região Sudeste do Brasil, formando um sistema interligado. Nesta área são consideradas sete usinas: Itumbiara, Nova Pontes, Água Vermelha, São Simão, Marimbondo, Jaguará e Emborcação, totalizando 8946,2 MW, possuindo também um compensador síncrono em Ibiúna e um montante de carga de 4398,0 MW (ALVES, 2007).

Estas duas áreas são interligadas através de duas linhas de 500 kV ligando as subestações Bateias e Ibiúna, e com isso as áreas 2 e 1, respectivamente Alves (ALVES, 2007). Este sistema fornece para a análise de ilhamento diferentes cenários de intercâmbio entre as áreas, sendo possível ver a influência das usinas de um sistema em relação ao outro.

Foi utilizado como referência o caso base 1, (o qual foi modificado e ajustado de acordo com a necessidade da simulação, gerando quatro casos base de referência) disponibilizado na dissertação de Alves (ALVES, 2007) para o sistema de 65 barras. O caso base 1 (ALVES, 2007), foi tomado como referência de máxima carga do sistema, ou seja, representando o patamar de carga elevada, os demais patamares como o de carga moderada e reduzida foram tomados como porcentagens do caso de carga elevada. Para o patamar de carga elevada existem dois cenários de intercâmbio disponíveis, o primeiro em que a área 2 recebe intercâmbio de potência ativa da área 1 e o segundo em que a área 1 recebe intercâmbio de potência ativa da área 2, para os casos de carga moderada e reduzida, existe somente o cenário de intercâmbio de potência ativa da área 1 para a área 2.

Os resultados dos dados para os fluxos de potência de cada item para cada patamar de carga, os dados elétricos (incluindo os limites de tensão e carregamento) e dinâmicos dos equipamentos do sistema da Figura 6 estão contidos nos Anexos A a E. Desta forma para o sistema da Figura 6, vários cenários de cargas são considerados, estes cenários estão

contidos na Tabela 6. Conforme descrito no Item 5.2, as simulações para este sistema de transmissão englobam três etapas:

- Etapa 1: Sistema interligado;
- Etapa 2: Sistema interligado, durante o ilhamento;
- Etapa 3: Sistemas ilhados, divisão em duas áreas independentes.

Tabela 6 – Cenários de Carga Utilizados para as Simulações.

Patamares de Carga	Porcentagem de Carregamento
Carga elevada – Área I exportando	Patamar de carga máxima (100%)
Carga elevada – Área II exportando	Patamar de carga máxima (100%)
Carga moderada - Área I exportando	90% do patamar de carga elevada
Carga reduzida - Área I exportando	83% do patamar de carga elevada

Para estas três etapas, utilizando os cenários de carga da Tabela 6, aplicam-se as seguintes contingências:

- Curto-circuito em barra com abertura de linha (*CAL*): Curto através de reatância de 0,1 pu durante 300 ms em todas as barras (menos nas barras de geração), com abertura de circuito simples na extremidade desta;
- Curto-circuito em barra (*CSB*): Curto através de reatância de 0,1 pu durante 300 ms em todas as barras (menos nas barras de geração);
- Elevação de carga (*LS*): Elevação de carga de 10% na área 1 e 10% na área 2, sendo estas, não simultâneas;
- Corte de carga (*LS*): Corte de carga de 25% na área 1 e 15% na área 2, sendo estes, não simultâneos;
- Corte de geração (*LS*): Corte de unidades geradoras da área 1;
- Ilhamento (*ILH*): Contingência de abertura do circuito duplo de Bateias-Ibiúna, com ou sem aplicação de curto-circuito.

A Tabela 7, mostra os tipos de contingências aplicadas, como também o mnemônico de cada uma delas.

Para cada uma das três etapas são detalhadas as contingências, através de tabelas, mostrando os elementos que sofreram o defeito, tempo de defeito e severidade do mesmo. São detalhados também em cada etapa os grupos geradores equivalentes G1, G2 e G3.

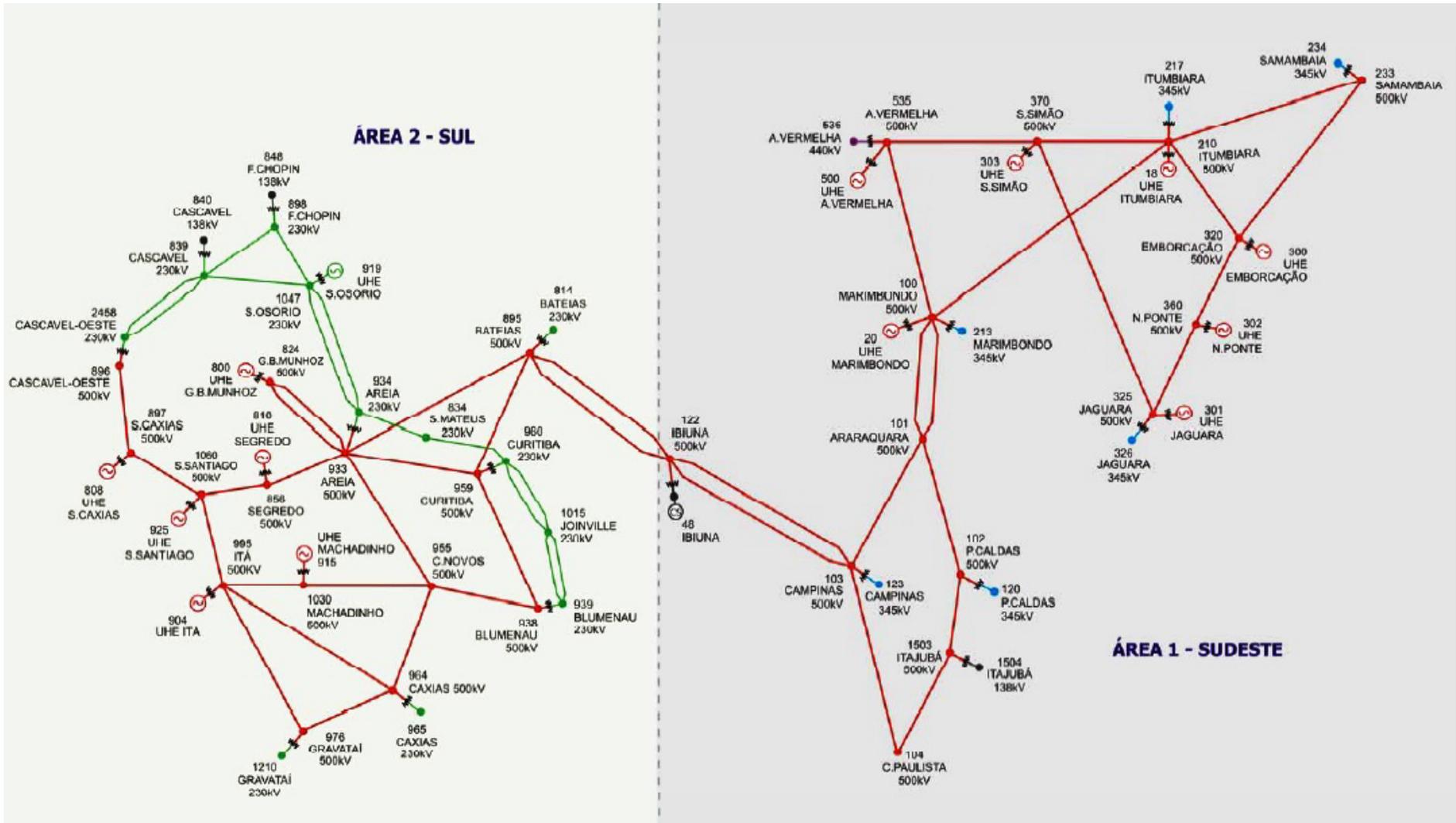


Figura 6 – Sistema equivalente 65 barras Sul-Sudeste (ALVES, 2007).

Com estas contingências e determinações dos grupos geradores equivalentes são geradas as regiões de segurança para as três etapas. As etapas de maior interesse neste estudo são as etapas 2 e 3. A etapa 1 é realizada, para que ao final da etapa 3, seja possível ver se a ilha conseguiu suportar as mesmas contingências do sistema operando de forma interligada. Os itens 5.4, 5.5 e 5.6, tratam das etapas 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 7 – Tipos de Contingência e Respective Mnemônicos.

Tipo	Mnemônico
Curto-circuito <i>shunt</i> em barras	<i>CSB</i>
Curto-circuito <i>shunt</i> com aberturas de linha	<i>CAL</i>
Variações de carga ou geração	<i>LS</i>
Ilhamento	<i>ILH</i>

## 5.4 Sistema Sul-Sudeste - Sistema Interligado

Este item analisa a operação do sistema equivalente Sul-Sudeste de forma interligada, submetendo o mesmo a várias contingências, e com isso mostrando como aplicar as regiões de segurança dinâmicas na determinação dos pontos operativos (despacho das usinas) que suportem estas. Como informado no item anterior, esta etapa somente foi analisada para comparação com a etapa de operação totalmente ilhada das duas áreas.

Para o uso das regiões de segurança é preciso definir três grupos geradores equivalentes, contendo todas as unidades geradoras do sistema, exceto a usina de Itumbiara, que foi utilizada como *swing* (conforme detalhado no Item 4.2 do Capítulo 4). A Figura 7 mostra um diagrama esquemático de como estão divididos os três grupos geradores contidos nas duas áreas.

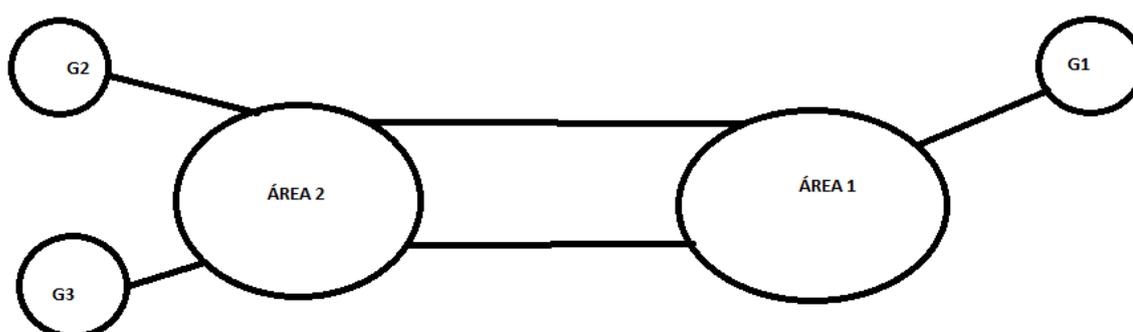


Figura 7 – Diagrama esquemático dos grupos geradores do sistema Sul-Sudeste.

No grupo gerador G1 são consideradas as usinas de Marimbondo, Emborcação, Jaguará, Nova Pontes, São Simão e Água Vermelha, no grupo gerador G2 estão as usinas G. B. Munhoz, Salto Segredo e Salto Santiago e no grupo G3 as usinas Salto Caxias, Salto Osório, Itá e Machadinho sendo a usina de Itumbiara representada como *swing*. As Tabelas 8 a 12 mostram as respectivas potências ativas totais das usinas para cada patamar de carga, como também a potência da barra *swing*.

Tabela 8 – Grupos Geradores - Carga Elevada - Área 1 Exportando.

G1	Total	G2	Total	G3	Total
	3700,1 MW		2648,8 MW		2759,9 MW
Usinas	Individual	Usinas	Individual	Usinas	Individual
Marimbondo	900,0 MW	G.B. Munhoz	1048,8 MW	S. Caxias	840,0 MW
Emborcação	700,0 MW			S. Osório	650,0 MW
Jaguara	250,0 MW	S. Segredo	750,0 MW	Itá	690,0 MW
N. Ponte	350,1 MW				
São Simão	700,2 MW	S. Santiago	850,0 MW	Machadinho	579,9 MW
Á. Vermelha	799,8 MW				

Tabela 9 – Grupos Geradores - Carga Elevada - Área 2 Exportando.

G1	Total	G2	Total	G3	Total
	3199,7 MW		3198,8 MW		3150,0 MW
Usinas	Individual	Usinas	Individual	Usinas	Individual
Marimbondo	900,0 MW	G.B. Munhoz	1048,8 MW	S. Caxias	1150,0 MW
Emborcação	700,0 MW			S. Osório	700,0 MW
Jaguara	250,0 MW	S. Segredo	1200,0 MW	Itá	700,0 MW
N. Ponte	350,1 MW				
São Simão	199,8 MW	S. Santiago	950,0 MW	Machadinho	600,0 MW
Á. Vermelha	799,8 MW				

A escolha dos grupos geradores foi baseada nas bacias hidrográficas, pois as usinas destas regiões são de características hidráulicas. Nestas áreas, procurou-se agrupar usinas de mesma bacia hidrográfica (possuindo assim as usinas, os mesmos recursos e restrições energéticas nas simulações), para que fosse representado de forma mais real possível as variações e os limites de geração de cada grupo.

Tabela 10 – Grupos Geradores - Carga Moderada - Área 1 Exportando.

G1	Total	G2	Total	G3	Total
	2775,0 MW		2347,8 MW		2760,0 MW
Usinas	Individual	Usinas	Individual	Usinas	Individual
Marinbondo	575,0 MW	G.B. Munhoz	747,8MW	S. Caxias	840,0 MW
Emborcação	600,0 MW			S. Osório	650,0 MW
Jaguara	250,0 MW	S. Segredo	750,0 MW	Itá	690,0 MW
N. Ponte	150,0 MW				
São Simão	600,0 MW	S. Santiago	850,0 MW	Machadinho	580,0 MW
Á. Vermelha	600,0 MW				

Tabela 11 – Grupos Geradores - Carga Reduzida - Área 1 Exportando.

G1	Total	G2	Total	G3	Total
	2599,0 MW		1960,0 MW		2339,3 MW
Usinas	Individual	Usinas	Individual	Usinas	Individual
Marinbondo	575,0 MW	G.B. Munhoz	688,0 MW	S. Caxias	672,9 MW
Emborcação	552,0 MW			S. Osório	598,0 MW
Jaguara	230,0 MW	S. Segredo	590,0 MW	Itá	534,8 MW
N. Ponte	138,0 MW				
São Simão	552,0 MW	S. Santiago	682,0 MW	Machadinho	533,6 MW
Á. Vermelha	552,0 MW				

Tabela 12 – Despachos da Barra *Swing* Itumbiara.

<i>Swing</i>	Patamares de Carga			
	Carga elevada	Carga elevada	Carga moderada	Carga reduzida
Itumbiara	Área I exportando	Área II exportando	Área I exportando	Área I exportando
	1282,8 MW	800,0 MW	1421,8 MW	1699,4 MW

Desta forma foram agrupadas as usinas que pertencem a uma mesma bacia, pois, possuem mesmo potencial energético. Se o mesmo grupo possuir usinas em diferentes bacias, podem ocorrer cenários de abundância de potência em uma das bacias e escassez

na outra, e assim a simulação não terá um resultado real da operação do sistema. A Tabela 13 mostra os montantes de carga e geração de cada área do sistema, como também os fluxos realizados na interligação Ibiúna - Bateias, para todos os patamares de carga. Nesta primeira etapa de simulações são consideradas as contingências das Tabelas 14 a 16.

Tabela 13 – Carregamentos e Fluxos do Sistema Sul-Sudeste.

<b>Área 1</b>			
<b>Carga Elevada Área 1 Export</b>	<b>Carga Elevada Área 2 Export</b>	<b>Carga Moderada Área 1 Export</b>	<b>Carga Reduzida Área 1 Export</b>
<b>Carga Área 1</b>	<b>Carga Área 1</b>	<b>Carga Área 1</b>	<b>Carga Área 1</b>
4398,0 MW	4398,0 MW	3958,2 MW	3641,5 MW
<b>Geração Área 1</b>	<b>Geração Área 1</b>	<b>Geração Área 1</b>	<b>Geração Área 1</b>
4983,0 MW	4007,4 MW	4191,9 MW	4284,7 MW
<b>Fluxo Bateias Ibiúna</b>	<b>Fluxo Bateias Ibiúna</b>	<b>Fluxo Bateias Ibiúna</b>	<b>Fluxo Bateias Ibiúna</b>
409,5 MW	-470,7 MW	131,4 MW	503,8 MW
<b>Área 2</b>			
<b>Carga Elevada Área 1 Export</b>	<b>Carga Elevada Área 2 Export</b>	<b>Carga Moderada Área 1 Export</b>	<b>Carga Reduzida Área 1 Export</b>
<b>Carga Área 2</b>	<b>Carga Área 2</b>	<b>Carga Área 2</b>	<b>Carga Área 2</b>
5689,1 MW	5689,1 MW	5119,9 MW	4710,79 MW
<b>Geração Área 2</b>	<b>Geração Área 2</b>	<b>Geração Área 2</b>	<b>Geração Área 2</b>
5409,0 MW	6349,0 MW	5107,8 MW	4299,2 MW
<b>Fluxo Bateias Ibiúna</b>	<b>Fluxo Bateias Ibiúna</b>	<b>Fluxo Bateias Ibiúna</b>	<b>Fluxo Bateias Ibiúna</b>
- 406,9 MW	473,9 MW	- 130,5 MW	- 498,8 MW

As contingências da Tabela 15 foram aplicadas para todos os patamares de carga, através de uma reatância de curto de 0,1 pu, com início em 0,2 segundos e remoção do curto (abertura do circuito (Nc) que sofreu o curto) no instante 0,5 segundos, totalizando 0,3 segundos de duração. A Tabela 16 mostra as contingências de curto-circuito em barras, sob as mesmas condições de severidade e tempo das contingências da Tabela 15. A última tabela, ou seja, a Tabela 14 mostra as contingências relacionadas a cortes de unidades geradoras das usinas da área 1 no instante de tempo de 0,5 segundos, como também corte

de carga (*load shedding*) e acréscimo de carga (*load restoration*) nas áreas 1 e 2 (de forma não simultânea) em porcentagem do montante de carga de cada área, ambas realizadas também no instante de tempo 0,5 segundos.

Para estes conjuntos de contingências foram gerados os respectivos nomogramas com as regiões de segurança dinâmicas. Para facilitar a análise destes nomogramas, os mesmos foram separados pelo par ordenado de cada grupo, a saber: G1xG2, G1xG3 e G2xG3. Como limites de tensão e como limites em MVA de carregamentos dos equipamentos de transmissão foram utilizados os valores do Anexo A. Os dados para os fluxos de potência para todos os patamares de carga se encontram nos Anexos B a D, já os dados dos reguladores de tensão, dos estabilizadores de potência (*Power System Stabilizer – PSS*) e dos reguladores de velocidade das máquinas do sistema encontram-se no Anexo E. Para uma melhor análise dos resultados das simulações das regiões de segurança dinâmicas, cada patamar de carga foi dividido em um subitem, desta forma as análises ficaram separadas e estruturadas de uma forma mais didática, sendo que ao final destes subitens existe um subitem comparativo de todos os patamares de carga, mostrando desta forma, para estes, suas diferenças ou semelhanças.

Tabela 14 – Variações de Carga ou Geração - *LS*.

<b>Contingência</b>	<b>Barra de Geração</b>	<b>Unidades Cortadas</b>
<i>Gen Shedding 1</i>	ITUMBIAR-4GR	3
<i>Gen Shedding 2</i>	MARIMBON-5GR	2
<i>Gen Shedding 3</i>	EMBORCAC-3GR	2
<i>Gen Shedding 4</i>	JAGUARA-3GR	2
<i>Gen Shedding 5</i>	N.PONTE-3GR	1
<i>Gen Shedding 6</i>	S.SIMÃO-3GR	4
<i>Gen Shedding 7</i>	A.VERMEL-4GR	4
<b>Contingência</b>	<b>Área</b>	<b>Variação de Carga</b>
<i>Load Shedding 1</i>	1	- 25%
<i>Load Shedding 2</i>	2	- 15%
<i>Load Restoration 1</i>	1	+ 10%
<i>Load Restoration 2</i>	2	+ 10%

Tabela 15 – Curtos-Circuitos *Shunt*, com Abertura de Linhas - *CAL*.

Contingência	Barra De	Barra Para	Nc	Início	Fim	Duração
'POCOS-500-P.CALDAS-345#1'	102	120	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
'ITUMBIARA500-ITUMBIARA345#1'	210	217	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
'ITUMBIARA500-ITUMBIARA345#2'	210	217	2	0,2 s	0,5 s	0,3 s
'EMBORCAC-500-ITUMBIARA500#1'	320	210	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
'JAGUARA-500-JAGUARA-345#1'	325	326	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
'JAGUARA-500-JAGUARA-345#2'	325	326	2	0,2 s	0,5 s	0,3 s
'JAGUARA-500-NPONTE-500#1'	325	360	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
'ITAJUBA-500-ITAJUBA-138#1'	1503	1504	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
'GBMUNHOZ-500-AREIA-500#1'	824	933	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
'CASCAVEL-230-CASCAVEL-230#1'	839	2458	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
'SEGREDO-500-SSANTIAG-500#1'	856	1060	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
'FCHOPIM-230-FCHOPIM-138#1'	898	848	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
'CURITIBA-500-BATEIAS-500#1'	959	895	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
ITA-500-MACHADIN-500#1'	995	1030	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s

Tabela 16 – Curtos-Circuitos *Shunt* em Barras - *CSB*.

<b>Contingência</b>	<b>Barra</b>	<b>Início</b>	<b>Fim</b>	<b>Duração</b>
Samambai-500	233	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Emboarc-500	320	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Itumbiara-500	210	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Nponte-500	360	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Jaguara-345	325	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Itumbiara-345	217	0,3 s	0,6 s	0,3 s
SSimao-500	370	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Avermelha-500	535	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Araraqua-500	101	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Itajuba-500	1503	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Campinas-500	103	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Ibiuna-500	122	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Gbmunhoz-500	824	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Areia-500	933	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Bateias-500	895	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Curitiba-500	959	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Blumenau-500	938	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Segredo-500	856	0,3 s	0,6 s	0,3 s
SSantiago-500	1060	0,3 s	0,6 s	0,3
SCaxias-500	897	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Ita-500	995	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Machadin-500	1030	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Gravatai-230	1210	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Caxias-500	964	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Cascavel-138	840	0,3 s	0,6 s	0,3 s
FChopim-230	898	0,3 s	0,6 s	0,3 s
SOsorio-230	1047	0,3 s	0,6 s	0,3 s
Areia-230	934	0,3 s	0,6 s	0,3 s

### 5.4.1 Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Interligado - Carga Elevada - Área 1 Exportando

Neste subitem foram simuladas as contingências das Tabelas 14 à 16, para o patamar de carga elevada área 1 exportando, levando em conta os grupos de gerações equivalentes G1, G2 e G3 definidos no Item 5.4. As Figuras 8 até 10 mostram os respectivos nomogramas (regiões de segurança dinâmicas) gerados pelo ORGANON.

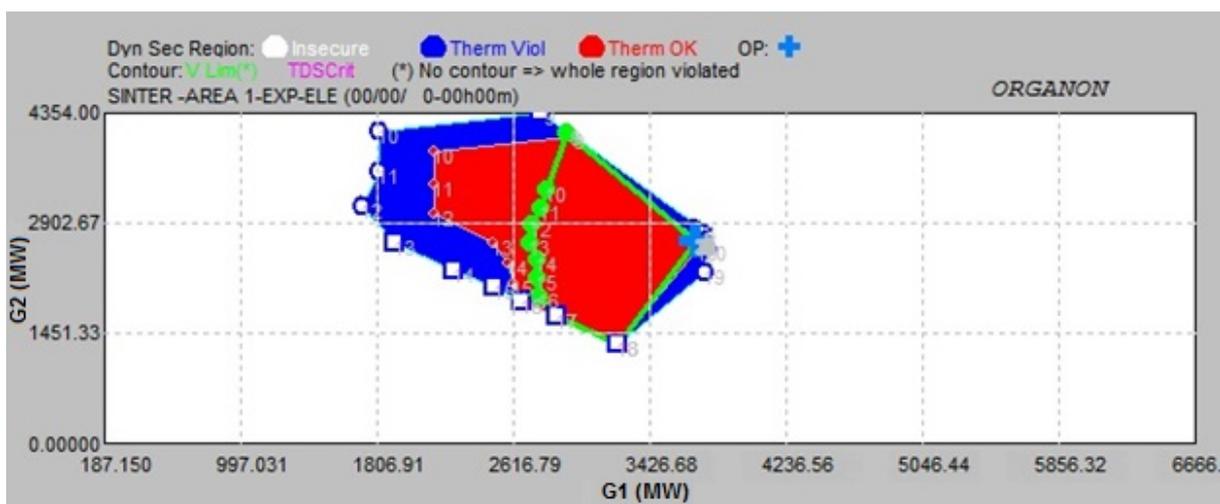


Figura 8 – Nomograma G1xG2 - sistema interligado - carga elevada - área 1 exportando.

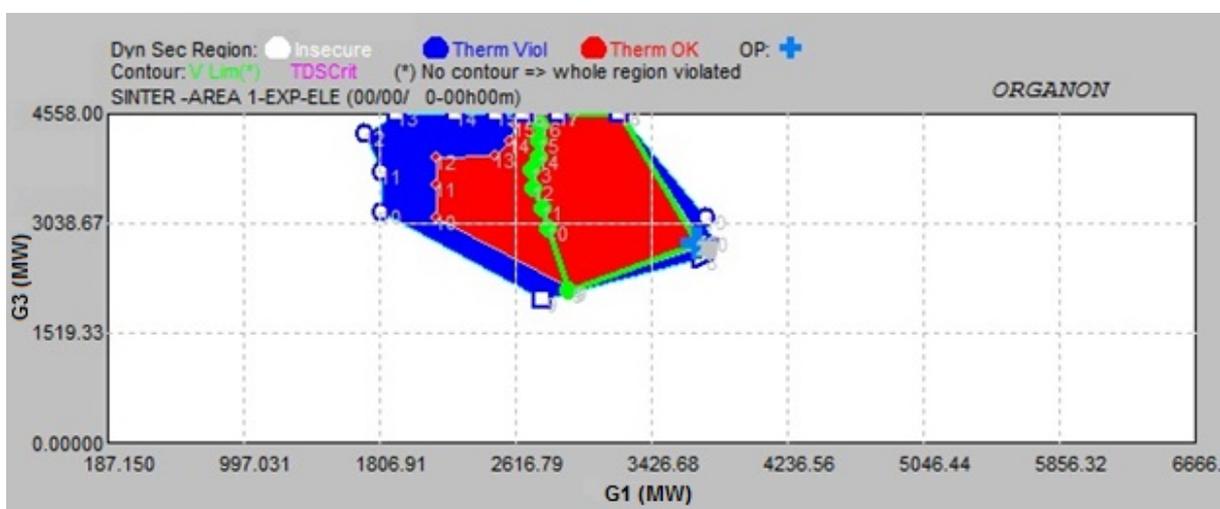


Figura 9 – Nomograma G1xG3 - sistema interligado - carga elevada - área 1 exportando.

Através das regiões de segurança contidas nas Figuras 8 até 10 nota-se que para o patamar de carga elevada área 1 exportando, o ponto de operação ficou dentro de todos os limites desejados, sendo estes de tensão, térmico e de estabilidade. O ponto de operação encontra-se na fronteira da região de não violação de tensão e dos limites térmicos, mas a modificação do ponto operativo, ou seja, mudança dos despachos dos grupos equivalentes G1, G2 e G3, faz com que este ponto se desloque mais para o centro e assim o sistema passa a ter maior flexibilidade operativa frente às contingências.

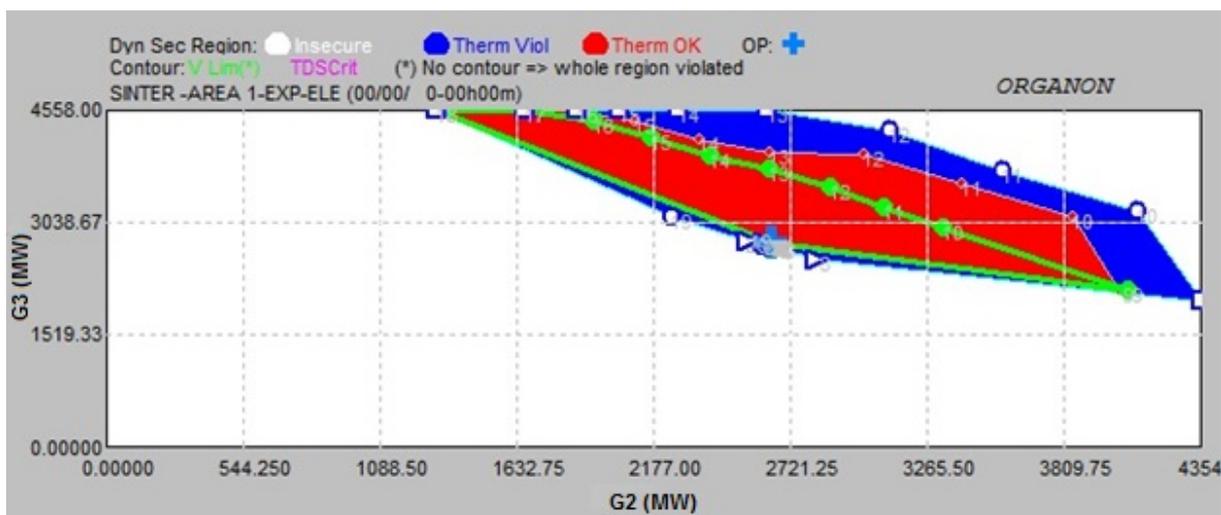


Figura 10 – Nomograma G2xG3 - sistema interligado - carga elevada - área 1 exportando.

Analisando as Figuras 8 a 10 foi possível implementar a metodologia proposta nesta dissertação, definindo de forma preliminar os limites de gerações para os três grupos geradores equivalentes, os quais garantem que para todas estas contingências os pontos operativos localizados dentro destes limites de geração estarão dentro das regiões seguras de estabilidade, de tensão e dos limites térmicos dos equipamentos. Estes limites são simplesmente orientativos, sendo que outros podem ser determinados e estipulados. A Tabela 17 mostra os limites de geração estabelecidos.

Tabela 17 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
1282,8 MW
<b>Grupo G1</b>
$3000,0 \text{ MW} < G1 < 3400,0 \text{ MW}$
<b>Grupo G2</b>
$2300,0 \text{ MW} < G2 < 2500,0 \text{ MW}$
<b>Grupo G3</b>
$3100,0 \text{ MW} < G3 < 3700,0 \text{ MW}$

#### 5.4.2 Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Interligado - Carga Elevada - Área 2 Exportando

Conforme foi realizado para o patamar de carga elevada área 1 exportando, este subitem mostra as simulações de contingências já descritas, mas agora para o patamar de carga elevada área 2 exportando. As Figuras 11 a 13 mostram os resultados destas simulações, sendo estas, analisadas a seguir.

Para as Figuras 11 a 13 o ponto operativo do sistema ficou dentro de todos os limites necessários, entretanto, o ponto de operação encontra-se localizado mais centralizado

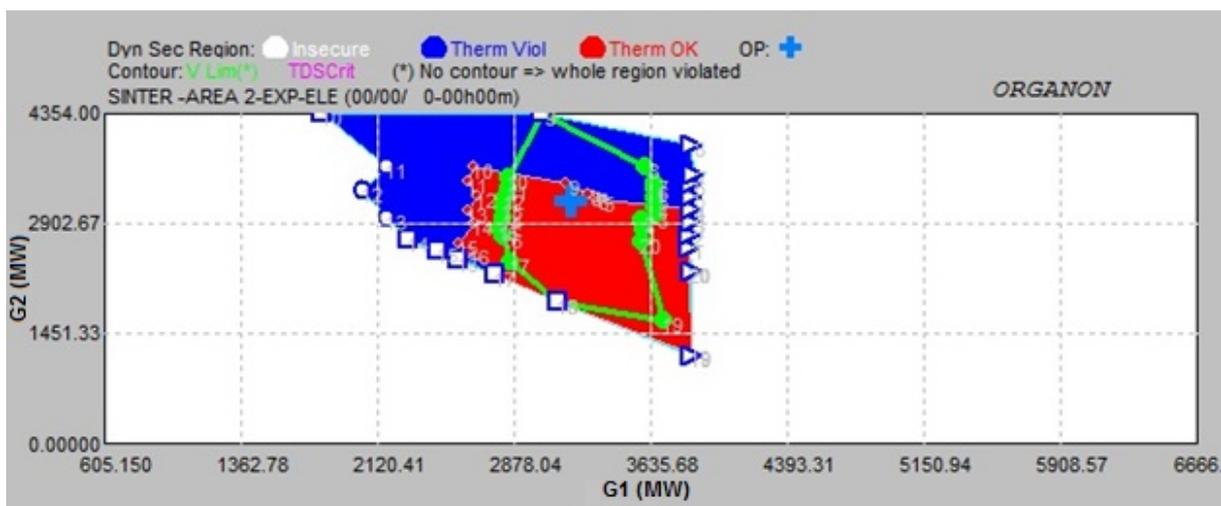


Figura 11 – Nomograma G1xG2 - sistema interligado - carga elevada - área 2 exportando.

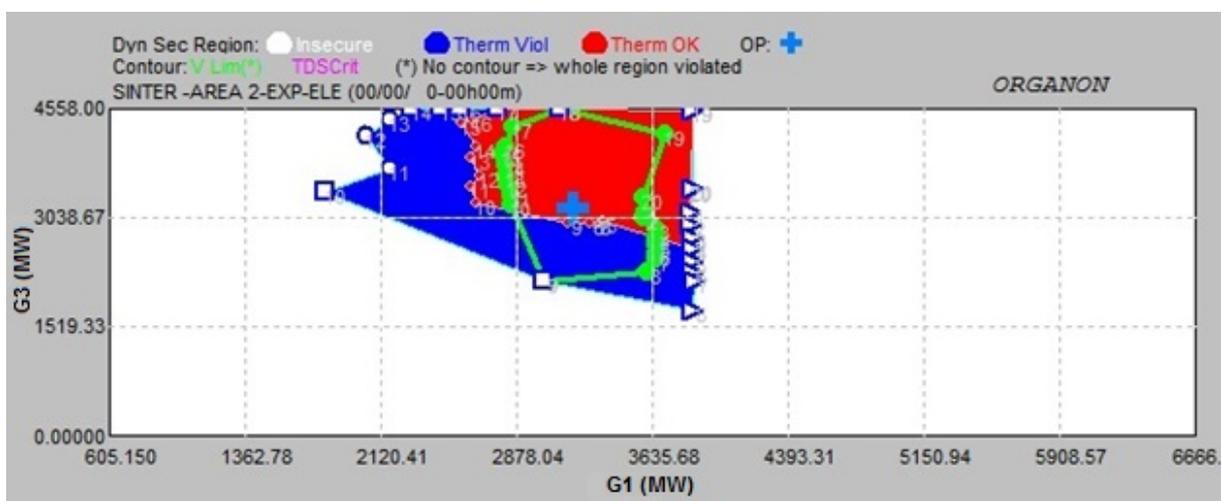


Figura 12 – Nomograma G1xG3 - sistema interligado - carga elevada - área 2 exportando.

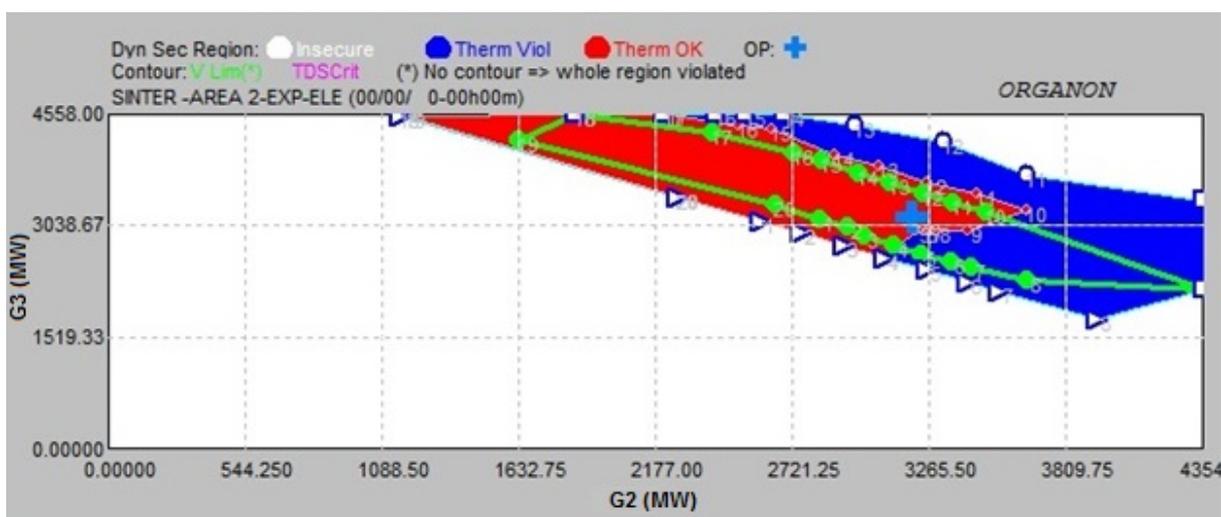


Figura 13 – Nomograma G2xG3 - sistema interligado - carga elevada - área 2 exportando.

na área de operação estável em relação ao patamar de carga elevada área 1 exportando, isto foi possível com a modificação dos despachos dos três grupos, proporcionando um deslocamento deste ponto operativo, melhorando assim, a distância deste até as margens limites. O patamar de carga elevada com a área 2 exportando, possui maior região de operação dentro dos limites adequados de tensão em relação ao mesmo patamar de carga elevada, mas com a área 1 exportando, sendo que o oposto acontece para a região de operação dentro dos limites térmicos.

Da mesma forma como realizado no subitem anterior, foram obtidos dos nomogramas das Figuras 11 a 13 alguns dos possíveis limites de gerações para os três grupos equivalentes, onde estes garantem para o sistema, a não violação dos limites de tensão, de estabilidade e de carregamento dos circuitos. Estes limites estão localizados na Tabela 18.

Tabela 18 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
800,0 MW
<b>Grupo G1</b>
3100,0 MW < G1 < 3400,0 MW
<b>Grupo G2</b>
2200,0 MW < G2 < 2400,0 MW
<b>Grupo G3</b>
3800,0 MW < G3 < 4100,0 MW

#### 5.4.3 Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Interligado - Carga Moderada - Área 1 Exportando

Para o patamar de carga moderada área 1 exportando, nota-se através das Figuras 14 a 16, que o ponto operativo está dentro de todas as fronteiras de não violação dos limites de tensão, estabilidade e térmicos.

O ponto de operação não está no limiar da fronteira limite de tensão e tem uma margem de estabilidade satisfatória. Para o deslocamento do ponto de operação, e com isso aumento destas margens, é necessário modificar os despachos dos três grupos geradores equivalentes.

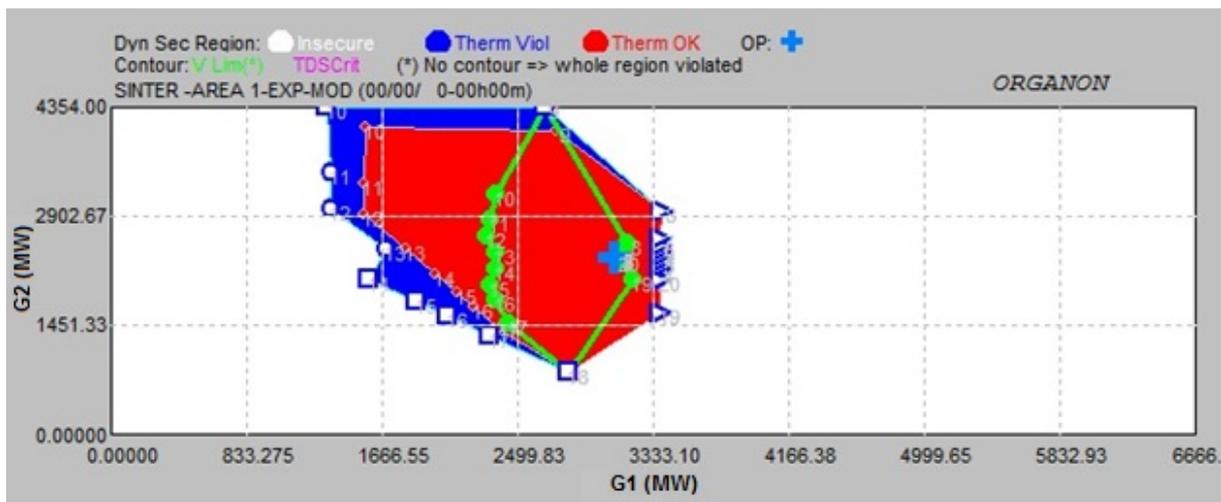


Figura 14 – Nomograma G1xG2 - sistema interligado - carga moderada – área 1 exportando.

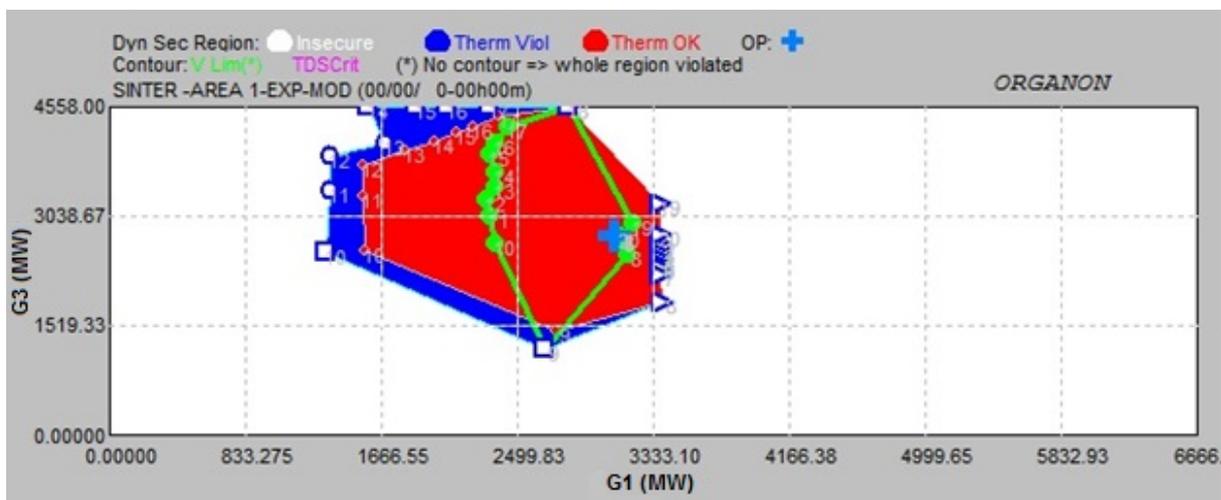


Figura 15 – Nomograma G1xG3 - sistema interligado - carga moderada - área 1 exportando.

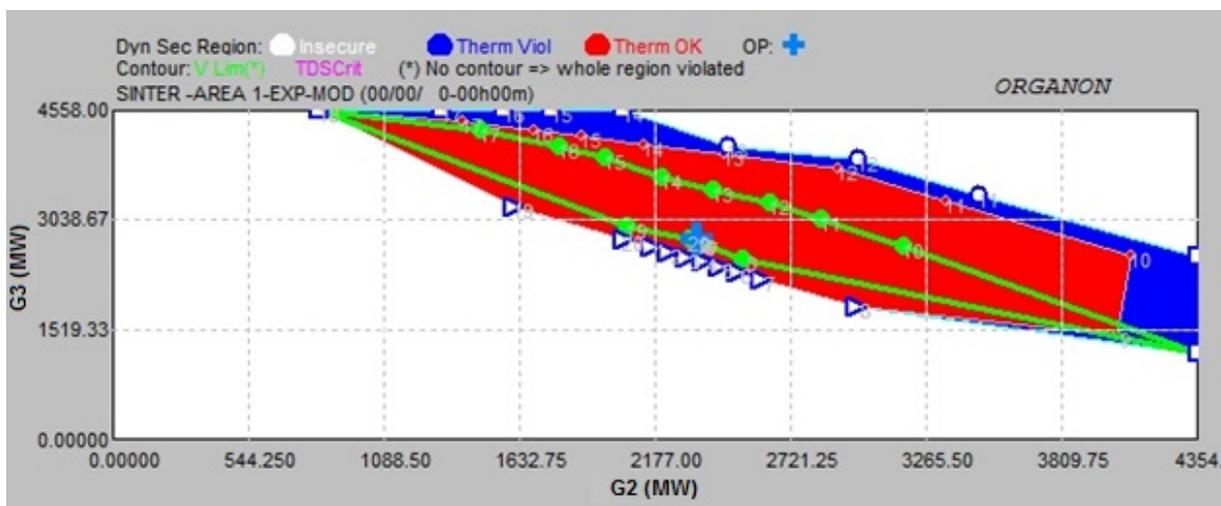


Figura 16 – Nomograma G2xG3 - sistema interligado - carga moderada - área 1 exportando.

Para este patamar de carga moderada área 1 exportando também foi realizado uma análise de definição de limites de geração, para que o ponto operativo fique em um perímetro seguro para as contingências definidas. Estes limites foram obtidos dos nomogramas das Figuras 14 a 16. A Tabela 19, mostra estes limites.

Tabela 19 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
1421,8 MW
<b>Grupo G1</b>
2500,0 MW < G1 < 2900,0 MW
<b>Grupo G2</b>
1900,0 MW < G2 < 2177,0 MW
<b>Grupo G3</b>
3100,0 MW < G3 < 3800,0 MW

#### 5.4.4 Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Interligado - Carga Reduzida - Área 1 Exportando

Por fim, os procedimentos realizados nos três patamares de carga anteriores foram realizados para o patamar de carga reduzida área 1 exportando, sendo seus resultados apresentados nas Figuras 17 à 19. Este patamar visualmente é o que apresenta a maior região de operação estável dentre todos os casos simulados, como também a maior região de operação dentro dos limites de tensão adequados. Em relação à região de não violação dos limites térmicos este é o patamar de carga que apresenta a menor região.

Como realizado para os patamares de carga anteriores, a Tabela 20 mostra os limites de geração obtidos dos nomogramas das Figuras 17 à 19. Estes limites garantem que o ponto operativo que estiver, dentro destes, não viola nenhum dos três critérios operativos definidos.

Tabela 20 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
1699,4 MW
<b>Grupo G1</b>
2300,0 MW < G1 < 2700,0 MW
<b>Grupo G2</b>
1600,0 MW < G2 < 2000,0 MW
<b>Grupo G3</b>
2300,0 MW < G3 < 2600,0 MW

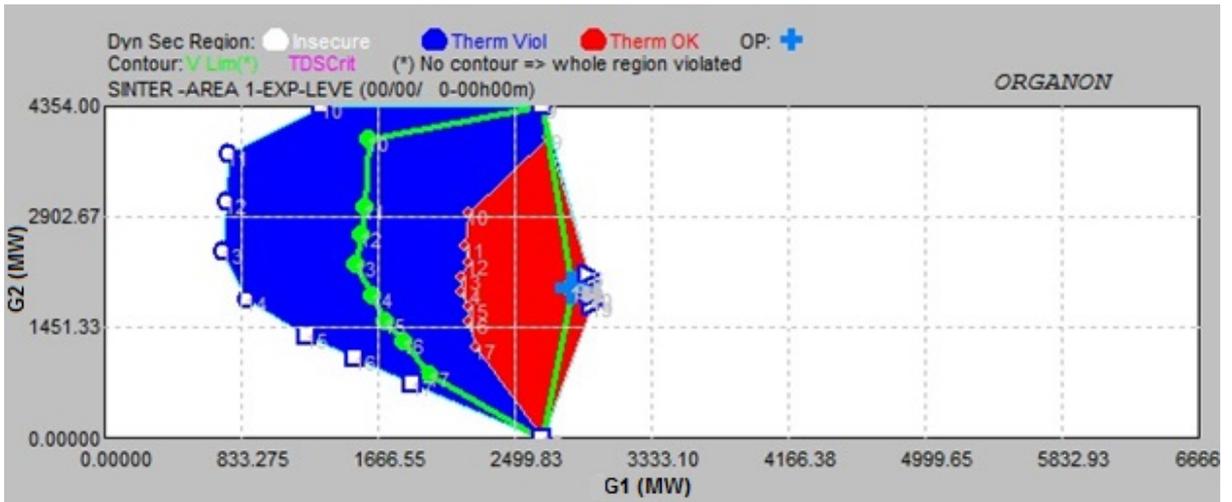


Figura 17 – Nomograma G1xG2 - sistema interligado - carga reduzida - área 1 exportando.

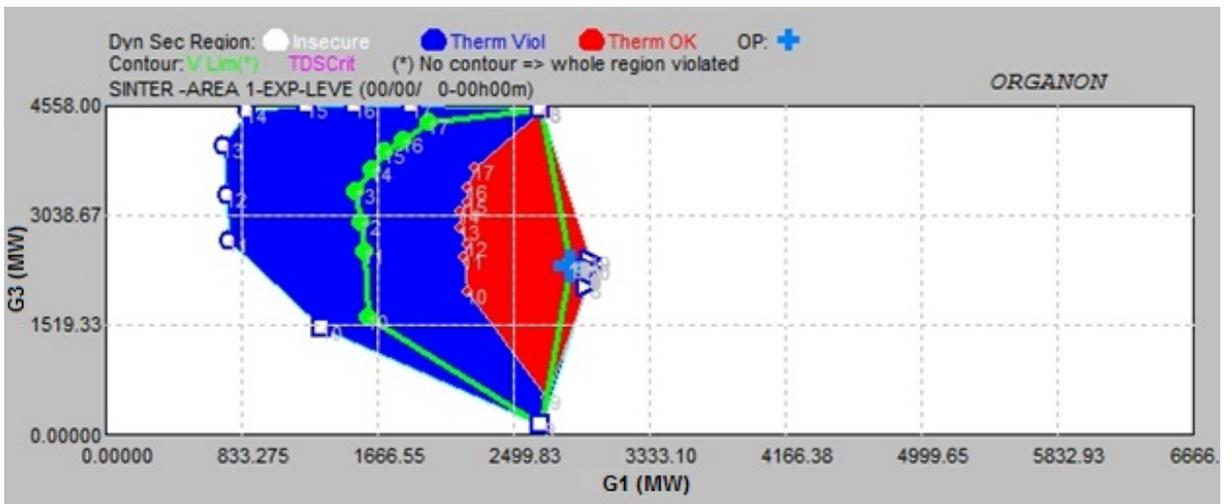


Figura 18 – Nomograma G1xG3 - sistema interligado - carga reduzida - área 1 exportando.

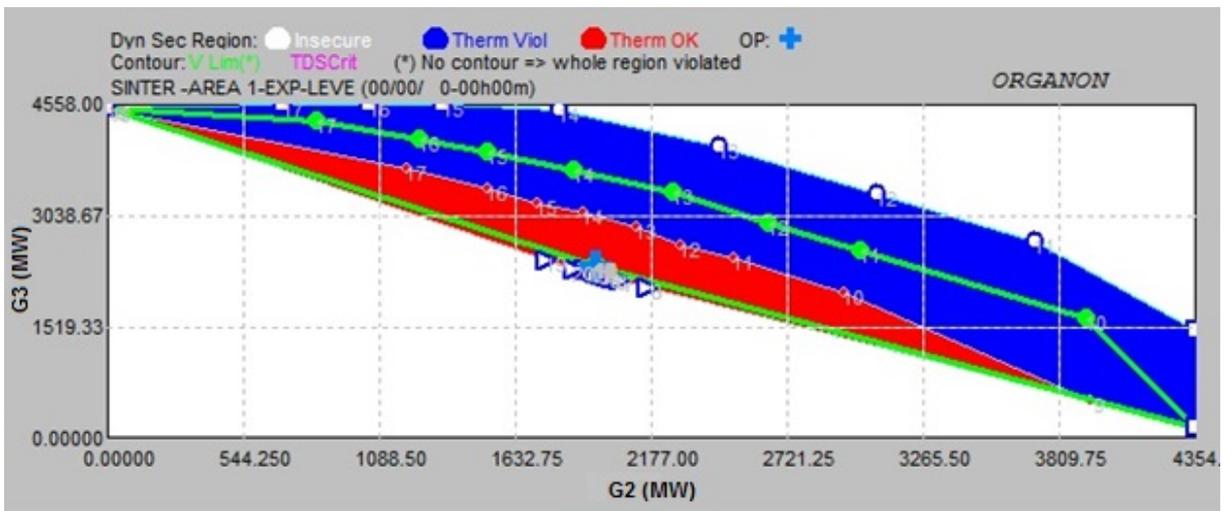


Figura 19 – Nomograma G2xG3 - sistema interligado - carga reduzida - área 1 exportando.

### 5.4.5 Comparativo dos Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Interligado

Este item comparou, os resultados dos nomogramas dos subitens 5.4.1 a 5.4.4, através de tabelas, as quais através de uma comparação visual indicam para quais patamares de carga ocorreram as maiores e menores áreas/contornos (limites de tensão, carregamento e estabilidade do sistema), como também os respectivos limites de geração dos grupos G1, G2 e G3. Os patamares de carga foram representados pelos seguintes mnemônicos:

- Carga elevada área 1 exportando: CEA1E;
- Carga elevada área 2 exportando: CEA2E;
- Carga moderada área 1 exportando: CMA1E;
- Carga reduzida área 1 exportando: CRA1E.

A Tabela 21 mostra o comparativo entre todos os patamares de carga, indicando de forma visual quais são os patamares de carga com as maiores e menores áreas/contornos de tensão, carregamento e estabilidade. Da Tabela 21 é possível observar que o maior contorno de tensão está relacionado ao patamar de carga reduzida área 1 exportando, para este mesmo patamar de carga tem-se também a menor área de não violação dos limites térmicos dos equipamentos e a maior área de operação estável para o sistema. O patamar de carga que apresenta maior área de não violação dos limites térmicos é o de carga moderada área 1 exportando. Por fim o patamar de carga elevada área 1 exportando é o que possui o menor contorno de tensão, como também a menor região de operação estável comparado com os demais patamares. A Tabela 22 mostra um comparativo dos limites de geração associados a cada patamar de carga do sistema, para que não ocorram violações dos limites de estabilidade, tensão e carregamento.

Tabela 21 – Comparação das Simulações do Sistema Interligado.

<b>Maiores Contornos / Áreas</b>		
<b>Tensão</b>	<b>Estabilidade</b>	<b>Carregamento</b>
CRA1E	CRA1E	CMA1E
<b>Menores Contornos / Áreas</b>		
<b>Tensão</b>	<b>Estabilidade</b>	<b>Carregamento</b>
CEA1E	CEA1E	CRA1E

Tabela 22 – Comparativo dos Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b>Carga Elevada – Área 1 Export</b>	<b>Carga Elevada – Área 2 Export</b>
<i>Swing</i>	<i>Swing</i>
1282,8 MW	800,0 MW
<b>Grupo G1</b>	<b>Grupo G1</b>
3000,0 MW < G1 < 3400,0 MW	3100,0 MW < G1 < 3400,0 MW
<b>Grupo G2</b>	<b>Grupo G2</b>
2300,0 MW < G2 < 2500,0 MW	2200,0 MW < G2 < 2400,0 MW
<b>Grupo G3</b>	<b>Grupo G3</b>
3100,0 MW < G3 < 3700,0 MW	3800,0 MW < G3 < 4100,0 MW
<b>Carga Moderada – Área 1 Export</b>	<b>Carga Reduzida – Área 1 Export</b>
<i>Swing</i>	<i>Swing</i>
1421,8 MW	1699,4 MW
<b>Grupo G1</b>	<b>Grupo G1</b>
2500,0 MW < G1 < 2900,0 MW	2300,0 MW < G1 < 2700,0 MW
<b>Grupo G2</b>	<b>Grupo G2</b>
1900,0 MW < G2 < 2177,0 MW	1600,0 MW < G2 < 2000,0 MW
<b>Grupo G3</b>	<b>Grupo G3</b>
3100,0 MW < G3 < 3800,0 MW	2300,0 MW < G3 < 2600,0 MW

Para estes quatro patamares de cargas e contingências, as simulações realizadas mostraram que o sistema consegue suportar todas as contingências que foram aplicadas, mantendo seu ponto operativo dentro das três regiões de operação de não violação dos limites operativos. Uma melhora nas margens (distâncias do ponto operativo até as fronteiras limites) de estabilidade, tensão e dos limites térmicos é possível através de mudança nos despachos dos grupos geradores equivalentes do sistema, conforme Tabela 22, melhorando, assim, o desempenho do mesmo. Esta mesma metodologia será aplicada para o ilhamento e operação ilhada do sistema Sul-Sudeste.

## 5.5 Sistema Sul-Sudeste - Sistema Durante Ilhamento

No item anterior foi analisado o sistema equivalente Sul-Sudeste operando de forma interligada, já para este item foi estudado o comportamento do mesmo, frente a contingências que provocaram o ilhamento entre áreas 1 e 2 deste. A metodologia de análise proposta no Capítulo 1 também foi empregada neste item, para mapear os pontos operativos que fornecem ao sistema confiabilidade durante o ilhamento.

Desta forma, para o mesmo sistema da Figura 6 é aplicada agora a segunda etapa de simulações, através da contingência de abertura dupla simples e com curto-circuito dos circuitos 1 e 2 entre as subestações Bateias e Ibiúna. A abertura simples ou por curto destes circuitos teve como objetivo, simular o ilhamento entre as áreas 1 e 2, analisando se o mesmo seria possível. Nesta segunda etapa, para o mesmo sistema da Figura 6, também foram utilizados os mesmos patamares de carga da Tabela 6 do Item 5.2. A Figura 20 representa o diagrama esquemático de como ficou o sistema, com a aplicação da contingência *ILH* da Tabela 23.

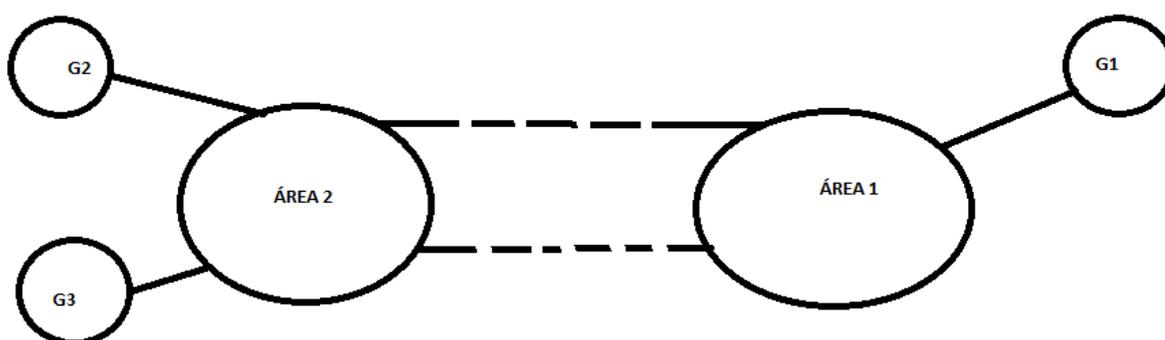


Figura 20 – Abertura da interligação Bateias - Ibiúna.

Conforme observado na Figura 20 os grupos geradores G1, G2 e G3 permanecem os mesmos, como também seus despachos iniciais para cada patamar de carga (conforme Tabelas 8 a 11) e os carregamentos por áreas e os intercâmbios na interligação Ibiúna-Bateias da Tabela 13, sendo estas localizadas no Item 5.4.

Tabela 23 – Contingências de Ilhamento.

Contingência	Abertura	Circuitos	Curto
Ilha 0	122 - 895	1 e 2	Não
Ilha 1	122 - 895	1 e 2	122
Ilha 2	122 - 895	1 e 2	895
Ilha 3	122 - 895	1 e 2	122 e 895

A Tabela 23 mostra as quatro contingências de ilhamento que foram aplicadas nesta segunda etapa de simulação, sendo que estas podem ter aplicação de curto ou não, as que possuem aplicação de curto, mostram a barra que o mesmo é aplicado, possuindo este duração 300 milissegundos e após este tempo eliminação do mesmo, com a abertura dos circuitos indicados.

Conforme descrito no Capítulo 1, os próximos subitens aplicaram a primeira etapa da metodologia proposta nesta dissertação para estudos de viabilidade de ilhamentos, ou seja, utilizar regiões de segurança dinâmicas, para definir os limites de geração das usinas do sistema, para que os mesmos possam ser realizados com sucesso.

### 5.5.1 Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Durante Ilhamento - Carga Elevada - Área 1 Exportando

A segunda etapa de simulações realizada nesta dissertação foi a etapa de análise de ilhamentos, contingências estas contidas na Tabela 23. Da mesma maneira do Item 5.4, para o caso do sistema durante o ilhamento foram aplicadas a mesma metodologia de determinação dos limites de geração dos três grupos equivalentes do sistema para que o ponto operativo do mesmo, seja capaz de realizar um ilhamento e obedecendo este, aos critérios de tensão, estabilidade e de limites térmicos. As Figuras 21 a 23 mostram as regiões de segurança dinâmicas para as contingencias de ilhamento para o patamar de carga elevada área 1 exportando. Observa-se que para este patamar de carga o ilhamento não pode ser realizado com sucesso, para o ponto operativo atual. Uma mudança nos despachos dos grupos geradores equivalentes é a medida operativa que deve ser adotada, para que o ponto operativo se desloque para dentro da região de não violação dos limites de estabilidade, carregamento e tensão, desta forma, o ilhamento atenderá a todos os critérios definidos.

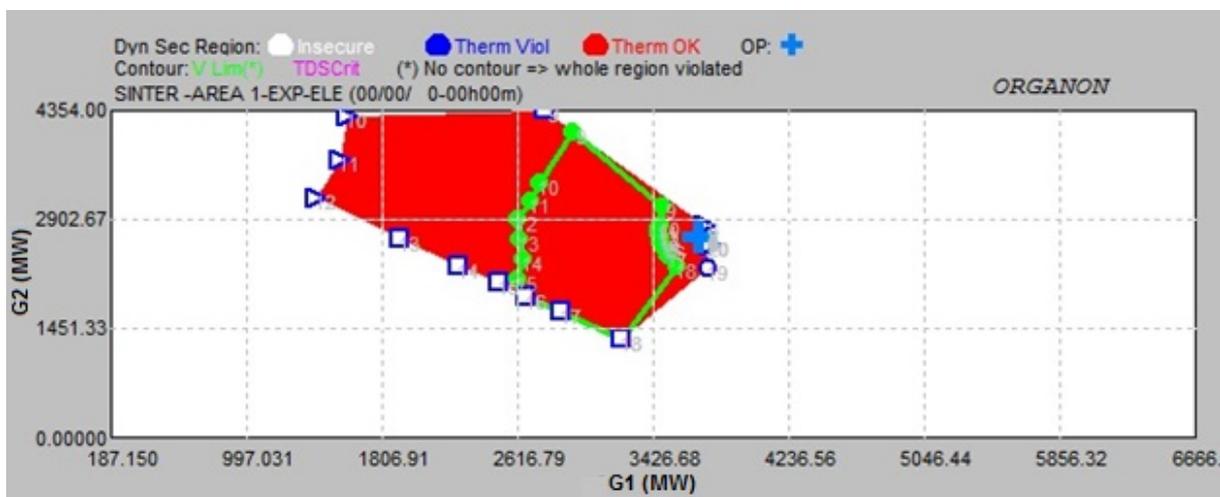


Figura 21 – Nomograma G1xG2 - sistema durante ilhamento - carga elevada - área 1 - exportando.

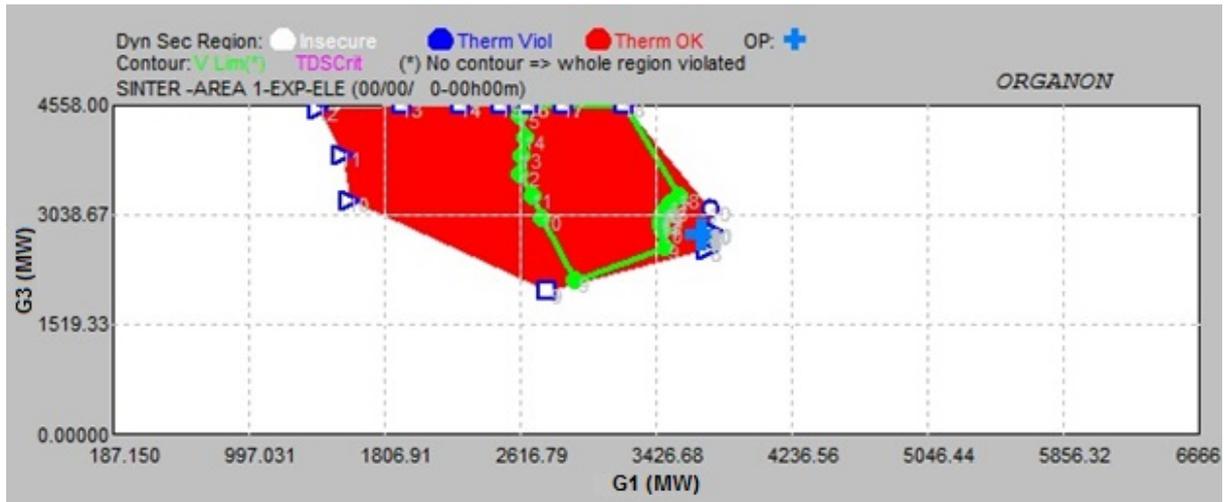


Figura 22 – Nomograma G1xG3 - sistema durante ilhamento - carga elevada - área 1 - exportando.

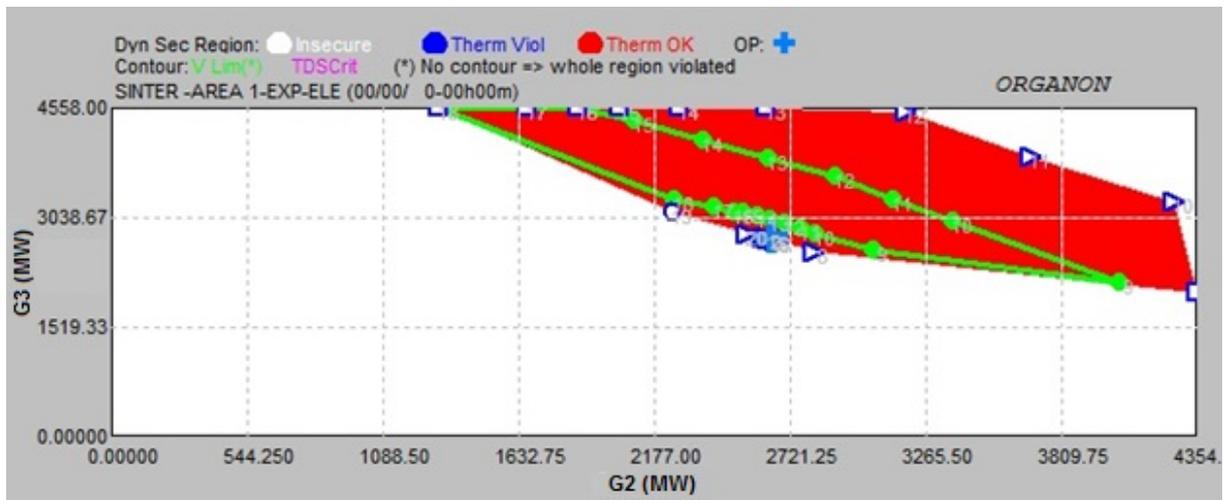


Figura 23 – Nomograma G2xG3 - sistema durante ilhamento - carga elevada - área 1 - exportando.

Através das Figuras 21 a 23, oriundas das simulações de regiões de segurança dinâmicas obtidas pelo ORGANON foi possível estabelecer os limites de gerações para os três grupos equivalentes, os quais garantem que para todas estas contingências de ilhamento simuladas, que os pontos operativos estarão dentro dos limites de não violação de estabilidade, tensão e de limites térmicos de equipamentos. Outros limites de geração também podem ser definidos através de uma análise gráfica dos nomogramas obtidos. A Tabela 24 mostra os limites de geração estabelecidos. Em referência a nova metodologia de análise de ilhamentos proposta no Capítulo 1, ainda seria necessário para definir a viabilidade de um ilhamento, uma segunda etapa de análises, ou seja, após determinados os limites de geração da Tabela 24, dar continuidade na análise, mas agora com avaliações de frequência em regime transitório e permanente, determinando se ocorrerão ou não subfrequências ou sobrefrequências inadmissíveis, e somente após isso, tem-se a certeza que

o ilhamento terá sucesso. Caso uma destas etapas mostre a não viabilidade do ilhamento é preciso analisar se existem medidas de controle (corte de carga e/ou geração) para que o mesmo possa ser realizado, ou então, o mesmo deve ser descartado. Esta observação serve para os próximos subitens, devendo assim, a mesma ficar implícita ao decorrer das próximas análises.

Tabela 24 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
1282,8 MW
<b>Grupo G1</b>
$2800,0 \text{ MW} < G1 < 3400,0 \text{ MW}$
<b>Grupo G2</b>
$2200,0 \text{ MW} < G2 < 2700,0 \text{ MW}$
<b>Grupo G3</b>
$3000,0 \text{ MW} < G3 < 3700,0 \text{ MW}$

### 5.5.2 Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Durante Ilhamento - Carga Elevada - Área 2 Exportando.

Para o patamar de carga elevada área 2 exportando, foram aplicadas as mesmas contingências da Tabela 23 e os resultados dos nomogramas foram registrados nas Figuras 24 a 26.

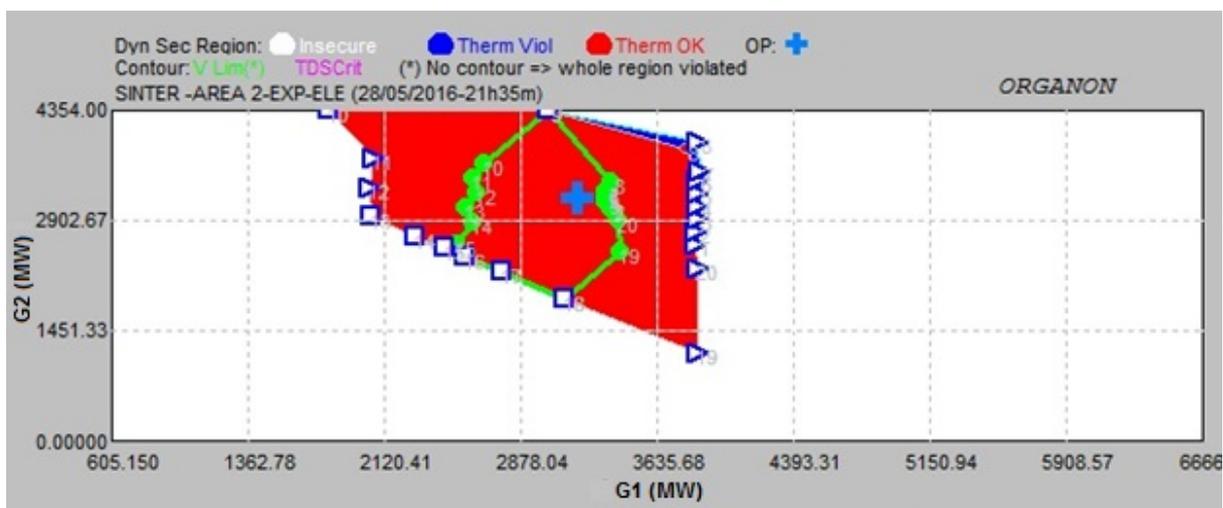


Figura 24 – Nomograma G1xG2 - sistema durante ilhamento - carga elevada - área 2 - exportando.

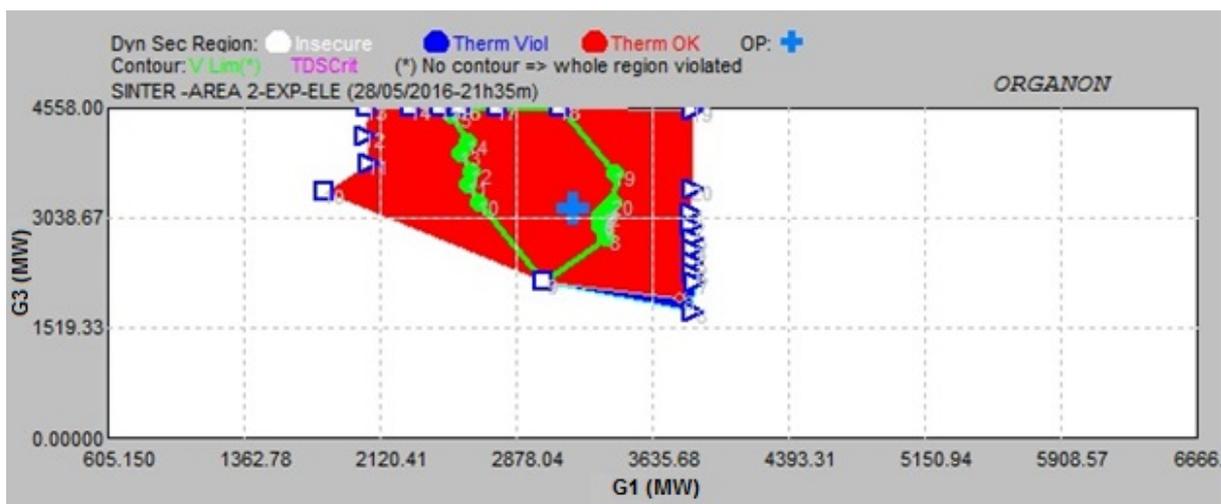


Figura 25 – Nomograma G1xG3 - sistema durante ilhamento - carga elevada - área 2 - exportando.

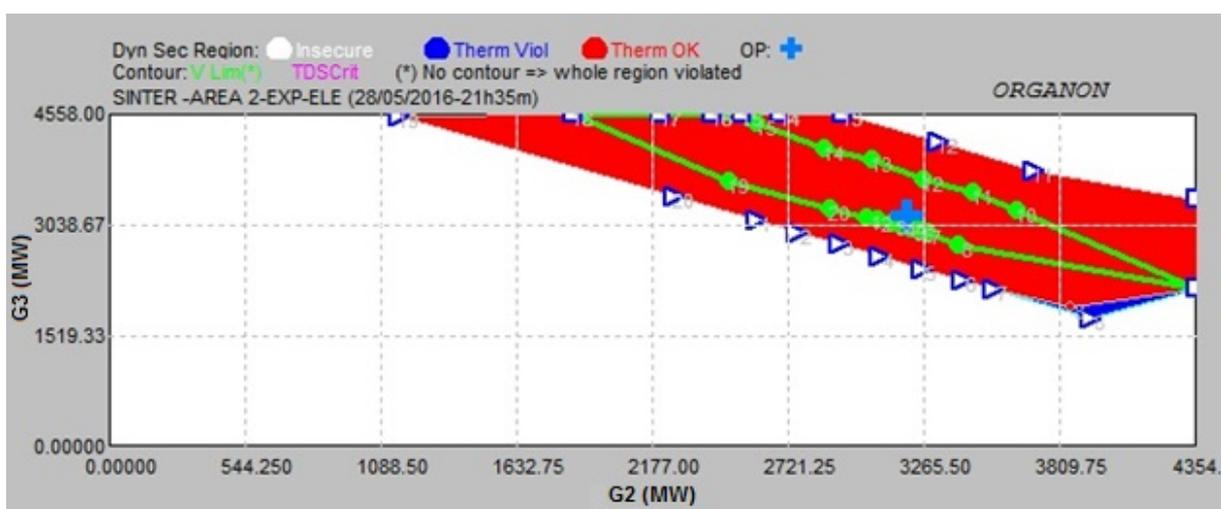


Figura 26 – Nomograma G2xG3 - sistema durante ilhamento - carga elevada - área 2 - exportando.

Para as contingências de ilhamento neste patamar de carga, o sistema foi capaz de suportar as mesmas de forma a respeitar a todos os critérios de tensão, carregamento e estabilidade definidos. Quanto mais se modifica o ponto operativo do sistema (geração dos grupos G1, G2 e G3), maiores ficam as margens de segurança estabilidade, dos limites térmicos e de tensão. Também para este patamar de carga foram definidos através da metodologia proposta, os limites de geração dos grupos G1, G2 e G3 que garantem que as contingências de ilhamento sejam suportadas, estando estes localizados na Tabela 25.

Tabela 25 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
800,0 MW
<b>Grupo G1</b>
2700,0 MW < G1 < 3300,0 MW
<b>Grupo G2</b>
2900,0 MW < G2 < 3200,0 MW
<b>Grupo G3</b>
3100,0 MW < G3 < 3800,0 MW

### 5.5.3 Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Durante Ilhamento - Carga Moderada - Área 1 Exportando

As simulações deste subitem aplicaram a mesma metodologia dos demais, e após estas foram mostrados os resultados obtidos das regiões de segurança dinâmicas através, das Figuras 27 a 29. Para o patamar de carga moderada área 1 exportando, o sistema se portou de forma adequada, conforme visualizado nas Figuras 27 a 29, onde o ponto operativo ficou dentro das três regiões de não violação dos limites operativos. O ponto operativo do sistema está localizado no limiar da fronteira de não violação de tensão e desta forma, uma boa opção seria a mudança dos despachos dos grupos para que ocorra uma maior margem de segurança em relação aos níveis de tensão, permitindo assim, um maior recurso de suporte reativo para o sistema. Através das Figuras 27 a 29 foi possível, estabelecer os limites de gerações para os três grupos, os quais garantem que para todas estas contingências os pontos operativos estarão dentro dos limites de não violação de estabilidade, tensão e de limites térmicos de equipamentos. A Tabela 26 mostra estes limites.

Tabela 26 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
1421,8 MW
<b>Grupo G1</b>
2800,0 MW < G1 < 2900,0 MW
<b>Grupo G2</b>
2200,0 MW < G2 < 2700,0 MW
<b>Grupo G3</b>
2600,0 MW < G3 < 3400,0 MW

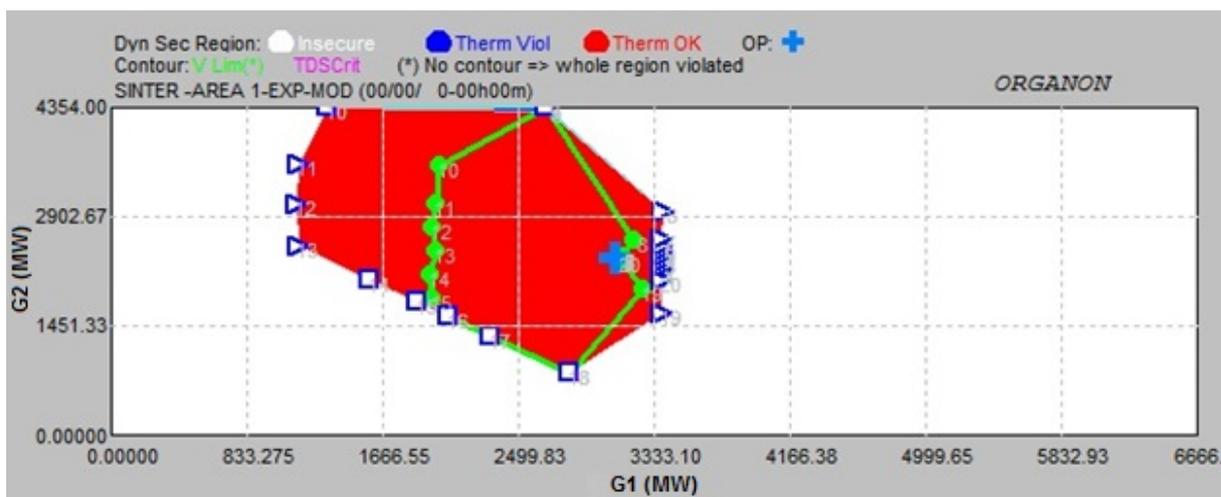


Figura 27 – Nomograma G1xG2 - sistema durante ilhamento - carga moderada - área 1 - exportando.

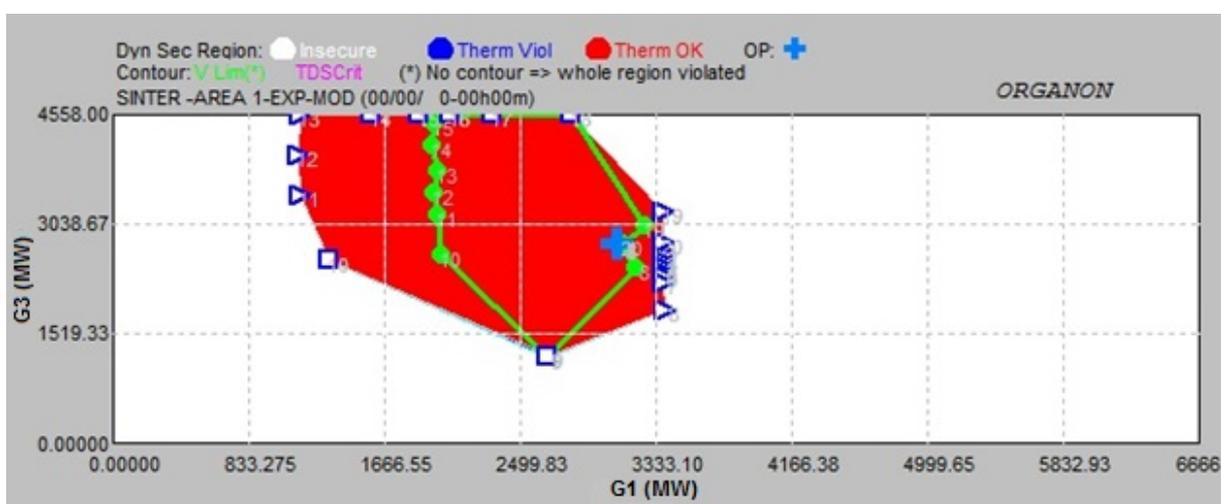


Figura 28 – Nomograma G1xG3 - sistema durante ilhamento - carga moderada - área 1 - exportando.

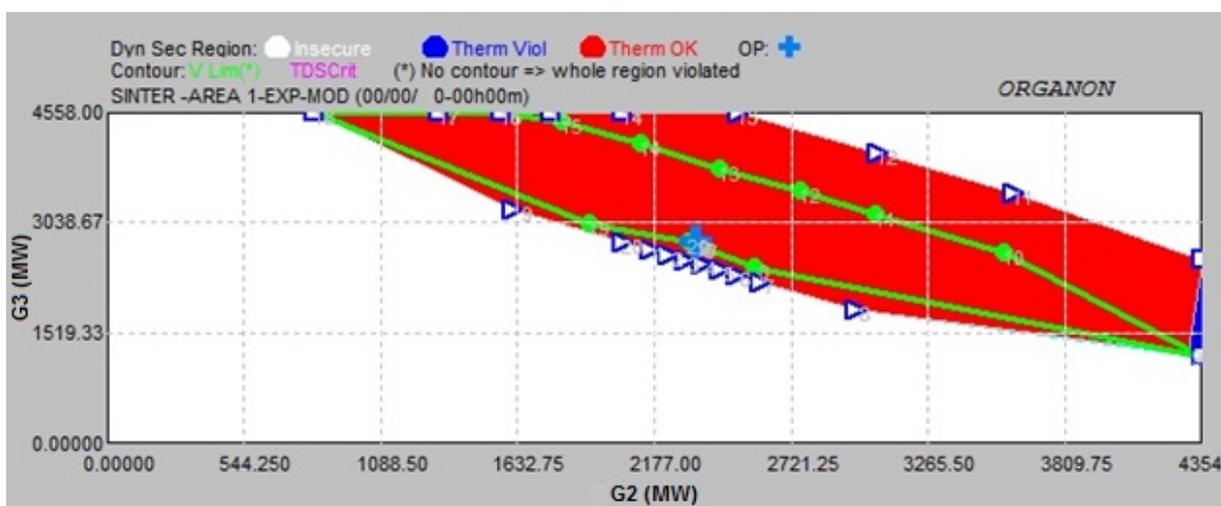


Figura 29 – Nomograma G2xG3 - sistema durante ilhamento - carga moderada - área 1 - exportando.

### 5.5.4 Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Durante Ilhamento - Carga Reduzida - Área 1 Exportando

O último patamar que foi simulado neste item foi o patamar de carga reduzida área 1 exportando. Da mesma forma dos demais patamares foram simuladas para o ponto operativo inicial as contingências de ilhamento da Tabela 23, e os resultados das regiões e contornos operativos registrados nas Figuras 30 a 32.

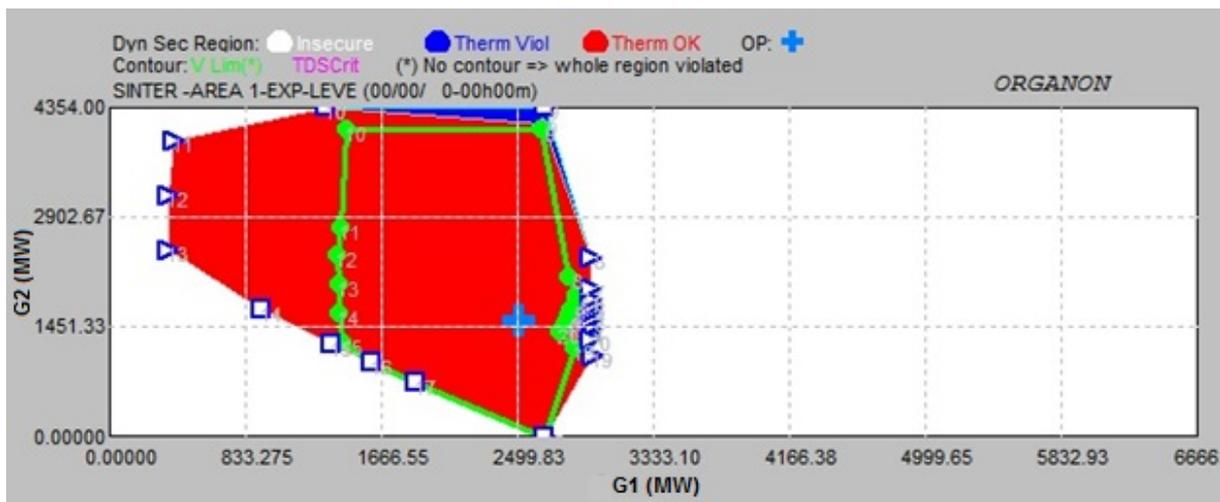


Figura 30 – Nomograma G1xG2 - sistema durante ilhamento - carga reduzida - área 1 - exportando.

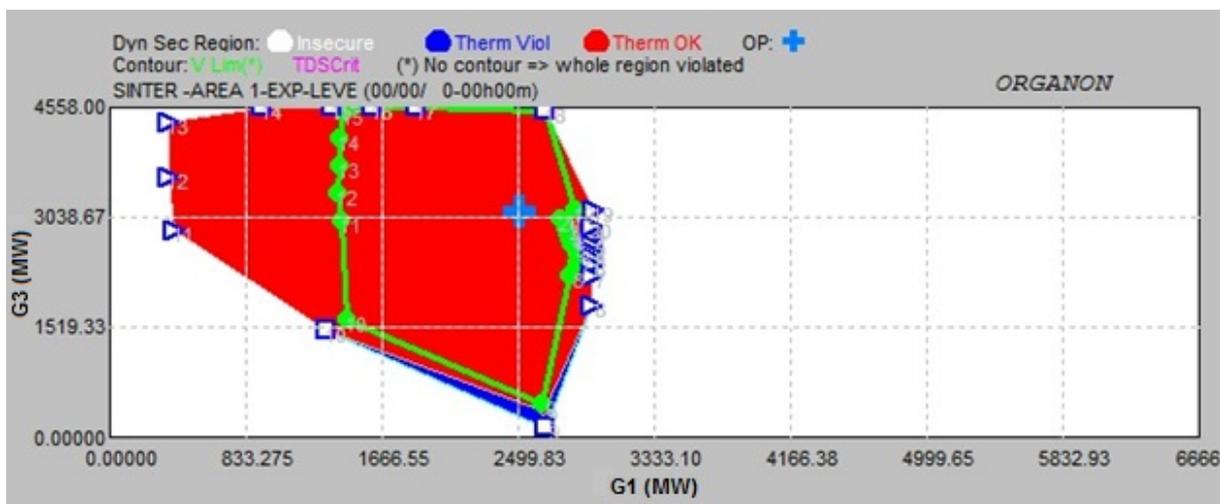


Figura 31 – Nomograma G1xG3 - sistema durante ilhamento - carga reduzida - área 1 - exportando.

O ponto operativo para este patamar de carga conseguiu suportar o ilhamento e atender ao mesmo tempo todos os critério operativos necessários. Conforme explicado no subitem 5.5.1, em conjunto com a análise das regiões de segurança é necessário também realizar simulações dinâmicas para saber como a frequência do sistema se comportará em regime permanente, pois durante o ilhamento ocorrem desbalanços de potência entre carga

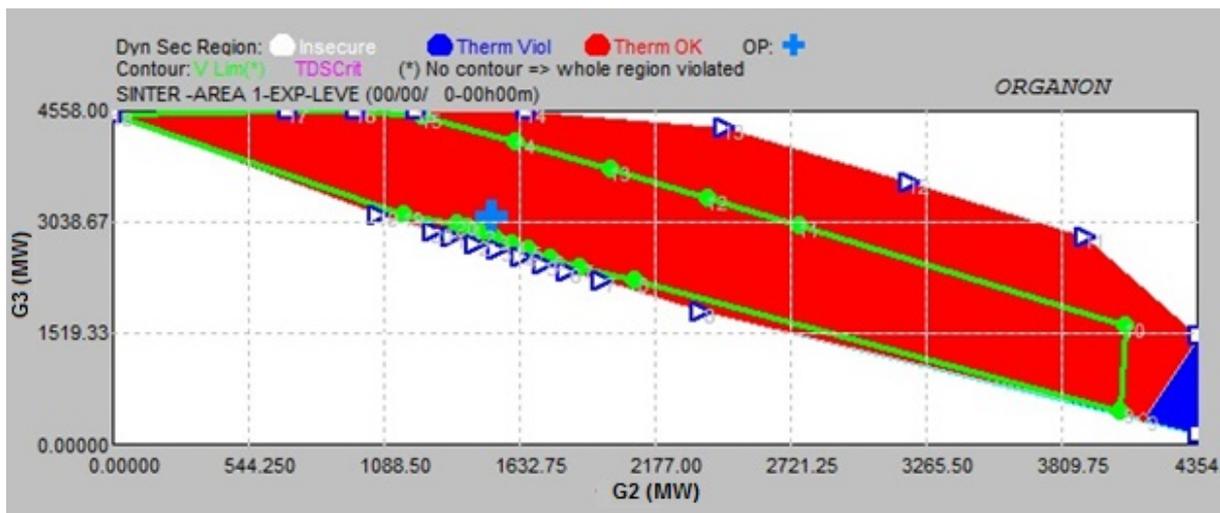


Figura 32 – Nomograma G2xG3 - sistema durante ilhamento - carga reduzida - área 1 - exportando.

e geração e assim medidas de corte de carga ou geração devem ser aplicadas. Somente após estas duas etapas que é possível dizer realmente se o ilhamento será viável ou não.

Através das Figuras 30 a 32 foi possível estabelecer os limites de gerações para os três grupos, os quais garantem que para todas estas contingências os pontos operativos estarão dentro dos limites de não violação de estabilidade, tensão e de limites térmicos de equipamentos. Estes limites são simplesmente orientativos, sendo que outros podem ser determinados e estipulados. A Tabela 27 mostra os limites de geração estabelecidos.

Tabela 27 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
1699,4 MW
<b>Grupo G1</b>
1700,0 MW < G1 < 2500,0 MW
<b>Grupo G2</b>
1100,0 MW < G2 < 1600,0 MW
<b>Grupo G3</b>
3000,0 MW < G3 < 4100,0 MW

### 5.5.5 Comparativo dos Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Durante Ilhamento

Conforme realizado no Subitem 5.4.5, após as análises de cada patamar de carga frente as contingências de interesse, dedicou-se um subitem para comparar estes resultados, implicando assim em um fechamento e conclusão de como se comportou cada patamar e qual foi no geral o desempenho do sistema durante a ocorrência de um ilhamento. A mesma metodologia de resumo em mnemônicos dos patamares de carga foi realizada,

e conforme Tabela 28 temos os patamares com maiores e menores contornos/áreas na comparação da tensão, limites térmicos e de estabilidade.

- Carga elevada área 1 exportando: CEA1E;
- Carga elevada área 2 exportando: CEA2E;
- Carga moderada área 1 exportando: CMA1E;
- Carga reduzida área 1 exportando: CRA1E.

Tabela 28 – Comparação das Simulações do Sistema Durante o Ilhamento

<b>Maiores Contornos / Áreas</b>		
<b>Tensão</b>	<b>Estabilidade</b>	<b>Carregamento</b>
CRA1E	CRA1E	CRA1E
<b>Menores Contornos / Áreas</b>		
<b>Tensão</b>	<b>Estabilidade</b>	<b>Carregamento</b>
CEA1E	CEA1E	CEA1E

O patamar de carga reduzida área 1 exportando foi o patamar de carga que apresentou as maiores áreas/contornos de tensão, carregamento e estabilidade para as contingências de ilhamento aplicadas. Em contrapartida o patamar de carga elevada área 1 exportando foi o que teve a menor área/contorno de limites de tensão, estabilidade e carregamento.

A Tabela 29 mostra os limites de geração associados obtidos (através das regiões de segurança) para cada um dos patamares de carga, que garantem que as ocorrências dos ilhamentos são realizadas com sucesso.

Em análise dos resultados das simulações de ilhamento para os quatro patamares de carga, nota-se que somente houve violação de pelo menos um dos critérios para o patamar de carga elevada área 1 exportando, os outros três patamares atenderam aos três critérios simultaneamente. Isso não quer dizer que o ilhamento para o patamar de carga elevada área 1 exportando não possa ser realizado, muito pelo contrário, a limitação neste cenário foi do cumprimento dos limites de tensão, o que com o redespacho dos grupos equivalentes coloca este ponto operativo dentro desta área e, assim, de realização do ilhamento sem nenhum problema. Cabe ressaltar novamente que, somente foi aplicada a primeira etapa da metodologia proposta e desta forma os pontos operativos da Tabela 29 devem ser submetidos a análises de frequência para realmente determinar a viabilidade da ocorrência do ilhamento.

Tabela 29 – Comparativo dos Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b>Carga Elevada – Área 1 Export</b>	<b>Carga Elevada – Área 2 Export</b>
<i>Swing</i>	<i>Swing</i>
1282,8 MW	800,0 MW
<b>Grupo G1</b>	<b>Grupo G1</b>
2800,0 MW < G1 < 3400,0 MW	2700,0 MW < G1 < 3300,0 MW
<b>Grupo G2</b>	<b>Grupo G2</b>
2200,0 MW < G2 < 2700,0 MW	2900,0 MW < G2 < 3200,0 MW
<b>Grupo G3</b>	<b>Grupo G3</b>
3000,0 MW < G3 < 3700,0 MW	3100,0 MW < G3 < 3800,0 MW
<b>Carga Moderada - Área 1 Export</b>	<b>Carga Reduzida - Área 1 Export</b>
<i>Swing</i>	<i>Swing</i>
1421,8 MW	1699,4 MW
<b>Grupo G1</b>	<b>Grupo G1</b>
2800,0 MW < G1 < 2900,0 MW	1700,0 MW < G1 < 2500,0 MW
<b>Grupo G2</b>	<b>Grupo G2</b>
2200,0 MW < G2 < 2700,0 MW	1100,0 MW < G2 < 1600,0 MW
<b>Grupo G3</b>	<b>Grupo G3</b>
2600,0 MW < G3 < 3400,0 MW	3000,0 MW < G3 < 4100,0 MW

## 5.6 Sistema Sul-Sudeste Após Ilhamento

Neste último item foi realizada a terceira etapa de simulações, que parte do princípio que as contingências de abertura dupla simples ou com curto-circuito da interligação Bateias-Ibiúna ocorreram e com isso houve a separação das áreas 1 e 2, tornando-se estas as ilhas 1 e 2 respectivamente. O ponto de operação de ambas as ilhas para todos os patamares de carga é obtido através da abertura da interligação Ibiúna-Bateias dos arquivos originais de fluxo de potência utilizados no Item 5.2. Para a convergência do fluxo de potência, além da *swing* da área 1, que permanece sendo a usina de Itumbiara, define-se a usina de G. B. Munhoz como *swing* da área 2, assim, ajustando-se o caso para que ocorra a convergência das ilhas 1 e 2 separadamente, para todos os patamares de carga.

Após a convergência dos casos, são aplicadas as mesmas contingências das Tabelas 14 a 16 do Item 5.4, para que seja possível analisar o comportamento das ilhas, agora como responsáveis pelo controle de tensão e frequência dos novos sistemas formados.

Os subitens 5.6.1 e 5.6.2 mostram respectivamente como se comportam as ilhas 1 e 2, sofrendo as mesmas contingências que o sistema interligado sofreu. Os limites de tensão e de máximo carregamento de linhas são mantidos iguais ao do sistema íntegro, sendo estes contidos no Anexo A. Os Anexos C e D mostram os dados para o fluxo de potência da ilha 1 e ilha 2, respectivamente.

### 5.6.1 Sistema Sul-Sudeste - Após Ilhamento - Área 1 - Ilha 1

A Figura 33 mostra a área 1 do sistema da Figura 6, agora desconectada da área 2, sendo esta denominada Ilha 1. Este sistema é composto por sete usinas, sendo estas: Itumbiara, Nova Ponte, Emborcação, Água Vermelha, São Simão, Jaguará e Marimbondo e também possui um compensador síncrono, localizado na barra de Ibiúna. Agora com o sistema ilhado é necessária uma nova divisão do sistema em três grupos geradores equivalentes, como também a definição da respectiva *swing* do sistema. Para o grupo G1 são escolhidas as usinas de Marimbondo, Água Vermelha e Jaguará, para o grupo G2 a usina de São Simão e por fim para o grupo G3 as usinas de Emborcação e Nova ponte, ficando a usina de Itumbiara como a *swing* do sistema. Esta escolha de grupos, conforme itens anteriores são baseadas nas bacias hidrográficas do sistema, buscando contemplar grupos energéticos com a mesma influência e não grupos de bacias mistas. As Tabelas 30 a 34 mostram estes grupos com as suas respectivas potências ativas totais para a barra *swing* e para os grupos G1, G2 e G3, para cada patamar de carga. A Figura 34 mostra um diagrama esquemático da ilha e seus respectivos grupos geradores.

Tabela 30 – Despachos da Barra *Swing* Itumbiara.

<i>Swing</i>	Patamares de Carga			
<b>Itumbiara</b>	Carga Elevada Área 1 EXPORTANDO	Carga Elevada Área 2 EXPORTANDO	Carga Moderada Área 1 EXPORTANDO	Carga Reduzida Área 1 EXPORTANDO
	813,6 MW	1319,5 MW	952,6 MW	863,4 MW

Tabela 31 – Grupos Geradores - Ilha 1 – Carga Elevada – Área 1 Exportando.

<b>G1</b>	<b>Total</b>	<b>G2</b>	<b>Total</b>	<b>G3</b>	<b>Total</b>
	1950,0 MW		700,0 MW		1050,0 MW
<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>	<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>	<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>
Marimbondo	900,0 MW	São Simão	700,0 MW	Emborcação	700,0 MW
Jaguará	250,0 MW			N. Ponte	350,0 MW
Á.Vermelha	800,0 MW				

A escolha das contingências foi baseada nas mesmas do Item 5.2, conforme Tabela 36 que é a mesma que a da Tabela 7, onde é possível visualizar contingências e seus respectivos mnemônicos utilizados. A Tabela 35 mostra os montantes de carga e geração de

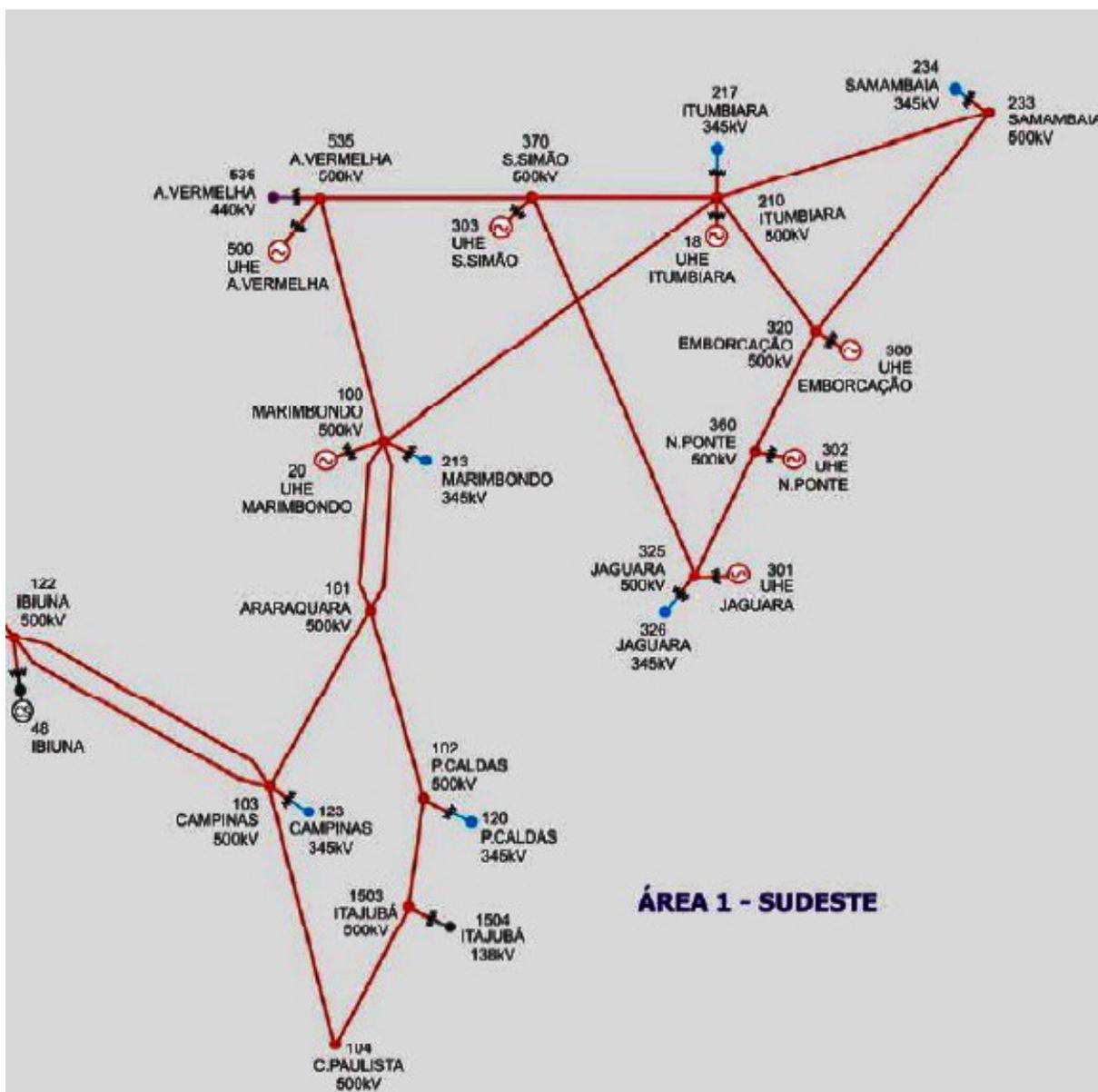


Figura 33 – Ilha 1 simulada do sistema equivalente ilhado 65 barras Sul-Sudeste, adaptado de (ALVES, 2007).

Tabela 32 – Grupos Geradores - Ilha 1 – Carga Elevada – Área 2 Exportando.

G1	Total	G2	Total	G3	Total
			1950,0 MW		
Usinas	Individual	Usinas	Individual	Usinas	Individual
Marimbondo	900,0 MW	São Simão	200,0 MW	Emborcação	700,0 MW
Jaguara	250,0 MW			N. Ponte	350,0 MW
Á.Vermelha	800,0 MW				

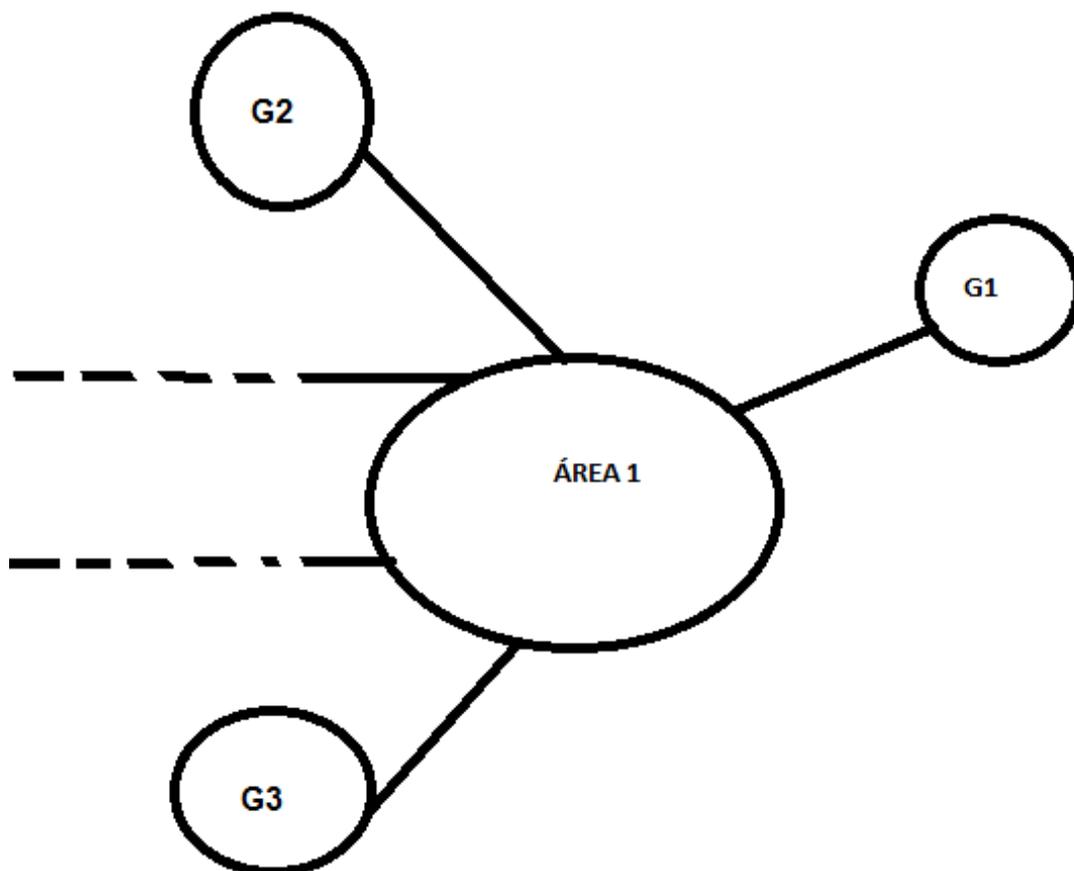


Figura 34 – Grupos geradores G1, G2 e G3 no sistema equivalente ilhado de 65 barras Sul-Sudeste.

Tabela 33 – Grupos Geradores - Ilha 1 - Carga Moderada – Área 1 Exportando.

G1	Total	G2	Total	G3	Total
	1750,0 MW		600,0 MW		750,0 MW
Usinas	Individual	Usinas	Individual	Usinas	Individual
Marimbondo	900,0 MW	São Simão	600,0 MW	Emborcação	600,0 MW
Jaguara	250,0 MW			N. Ponte	150,0 MW
Á.Vermelha	600,0 MW				

cada área do sistema. Para estes conjuntos de contingências são gerados os respectivos nomogramas com as regiões de segurança dinâmicas. Para facilitar a análise destes nomogramas, os mesmos são separados pelo par ordenado de cada grupo, a saber: G1xG2, G1xG3 e G2xG3. Para uma melhor análise de cada simulação por patamar de carga, a mesma metodologia de criar subitens para esta foi adotada.

Tabela 34 – Grupos Geradores - Ilha 1 – Carga Reduzida - Área 1 Exportando.

G1	Total	G2	Total	G3	Total
	1610,0 MW		552,0 MW		690,0 MW
Usinas	Individual	Usinas	Individual	Usinas	Individual
Marimbondo	828,0 MW	São Simão	552,0 MW	Emborcação	552,0 MW
Jaguara	230,0 MW				
Á.Vermelha	552,0 MW			N. Ponte	138,0 MW

Tabela 35 – Carregamentos e Fluxos do Sistema Ilha 1.

Área 1 - Ilha 1			
Carga Elevada Área 1 Export	Carga Elevada Área 2 Export	Carga Moderada Área 1 Export	Carga Reduzida Área 1 Export
Carga Área 1	Carga Área 1	Carga Área 1	Carga Área 1
4398,0 MW	4398,0 MW	3958,2 MW	3641,5 MW
Geração Área 1	Geração Área 1	Geração Área 1	Geração Área 1
4513,7 MW	4519,5 MW	4052,6 MW	3715,4 MW

Tabela 36 – Tipos de Contingência e Respective Mnmônicos.

Tipo	Mnmônico
Curto-Circuito <i>shunt</i> em barras	<i>CSB</i>
Curto-Circuito <i>shunt</i> com aberturas de linha	<i>CAL</i>
Variações de carga ou geração	<i>LS</i>

#### 5.6.1.1 Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Após Ilhamento - Ilha1 - Carga Elevada - Área 1 Exportando

A metodologia proposta para análise de operações ilhadas foi utilizada nesta simulação, levantando as regiões de segurança dinâmicas e através destas os limites de gerações para que as mesmas ocorram com sucesso (ressaltando conforme itens e capítulos anteriores a necessidade de uma segunda etapa para a avaliação da frequência durante estes transitórios). Neste contexto, a primeira análise que foi realizada foi para o patamar de carga elevada área 1 exportando. Vale ressaltar que o Subitem 5.4.1 mostrou que para o patamar de carga elevada área 1 exportando para a contingência de ilhamento, o resul-

tado era uma ilha com violação dos limites de tensão, mas também foi destacado que uma mudança dos despachos dos grupos equivalentes mitigaria esse resultado, desta forma, a análise deste subitem parte da condição de que os grupos foram redespachados e a contingência de ilha atendeu aos três critérios definidos.

As Figuras 35 a 37 são referentes a aplicação das mesmas contingências que foram aplicadas ao sistema íntegro (para a área 1), nelas são possíveis ver o comportamento do sistema, como também levantar os limites de geração adequados para esta operação ilhada. O ponto operativo para estas contingências está dentro das fronteiras de limite de tensão, estabilidade e de limites térmicos.

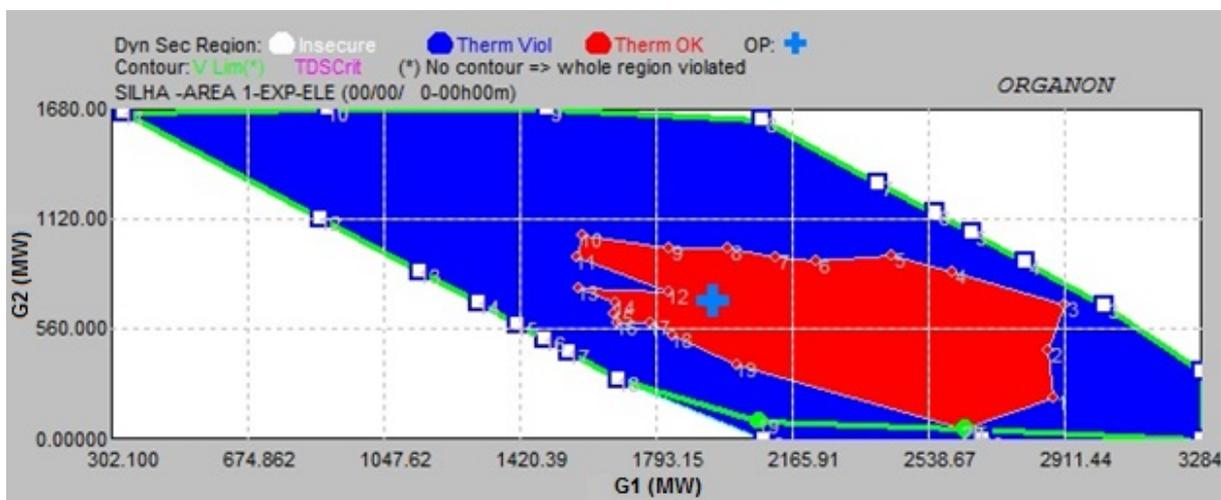


Figura 35 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga elevada - área 1 - exportando.

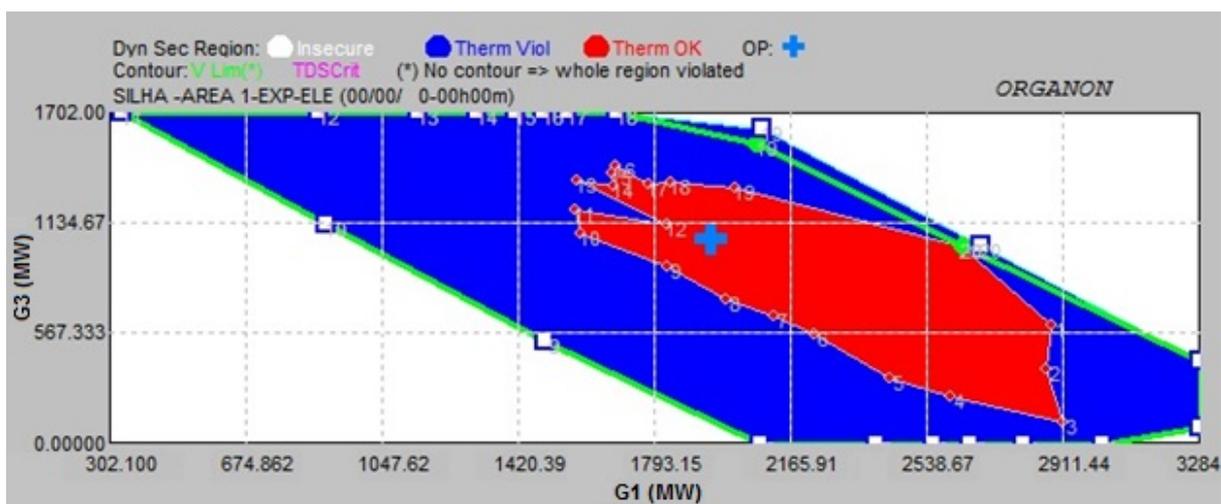


Figura 36 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga elevada - área 1 - exportando.

O limite de tensão estende-se praticamente sobre toda a região de operação estável, mas a região de operação dentro dos limites térmicos é bem reduzida em comparação com a de violação. O resultado mais importante destas regiões de segurança é que o sistema

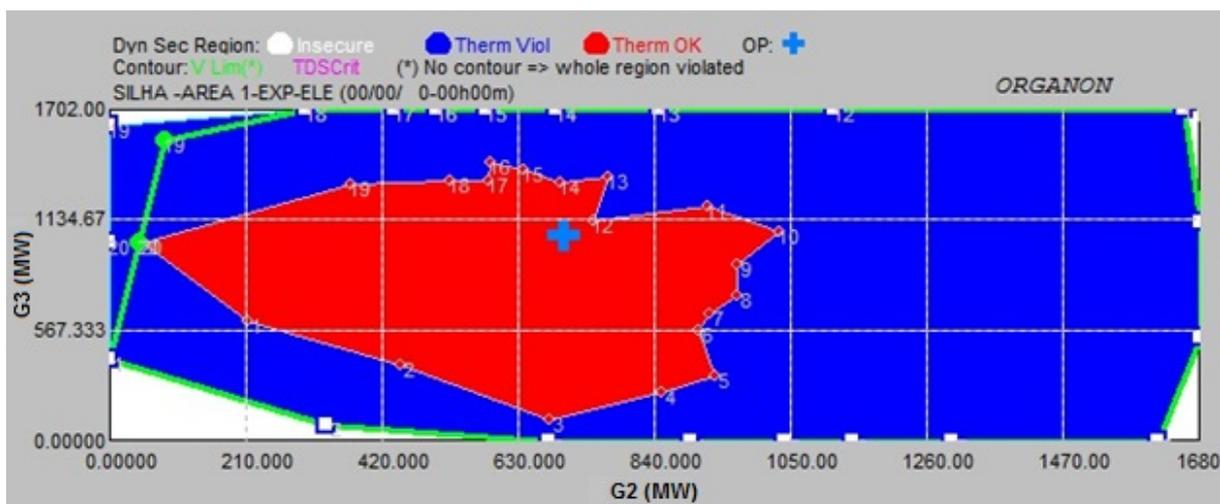


Figura 37 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga elevada - área 1 - exportando.

ilhado foi capaz de suportar as mesmas contingências do sistema, que operava de forma interligada.

Através das Figuras 35 a 37 foi possível estabelecer os limites de gerações para os três grupos, os quais garantem que para todas estas contingências os pontos operativos estarão dentro dos limites de não violação de estabilidade, tensão e de limites térmicos de equipamentos. A Tabela 37 mostra os limites de geração estipulados.

Tabela 37 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
813,6 MW
<b>Grupo G1</b>
$2100,0 \text{ MW} < G1 < 2500,0 \text{ MW}$
<b>Grupo G2</b>
$420,0 \text{ MW} < G2 < 770,0 \text{ MW}$
<b>Grupo G3</b>
$567,0 \text{ MW} < G3 < 990,0 \text{ MW}$

#### 5.6.1.2 Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Após Ilhamento - Ilha1 - Carga Elevada - Área 2 Exportando

Para o patamar de carga elevada área 2 exportando, o mesmo procedimento foi seguido, e para a ilha 1 foram submetidas as mesmas contingências aplicadas ao sistema inteiro, nesta mesma perspectiva, foram obtidos os resultados das simulações e os respectivos nomogramas.

Para a ilha 1 no patamar de carga elevada área 2 exportando, as Figuras 38 a 40 mostram que o ponto operativo inicial atende a todos os critérios de tensão, estabilidade e de limites térmicos. Para esta simulação o ponto operativo fica no limiar de violação dos

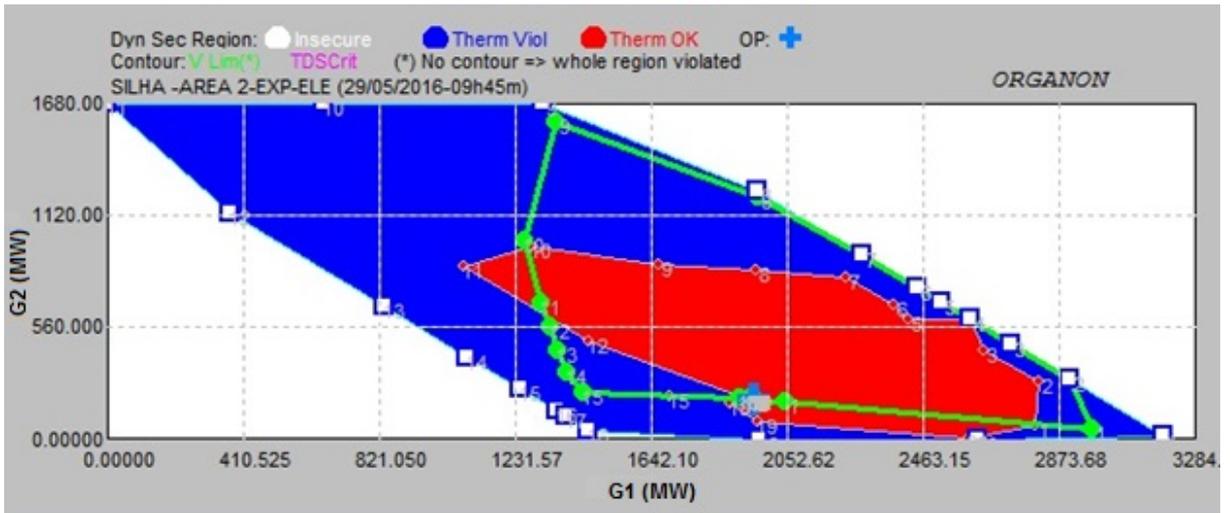


Figura 38 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga elevada - área 2 - exportando.

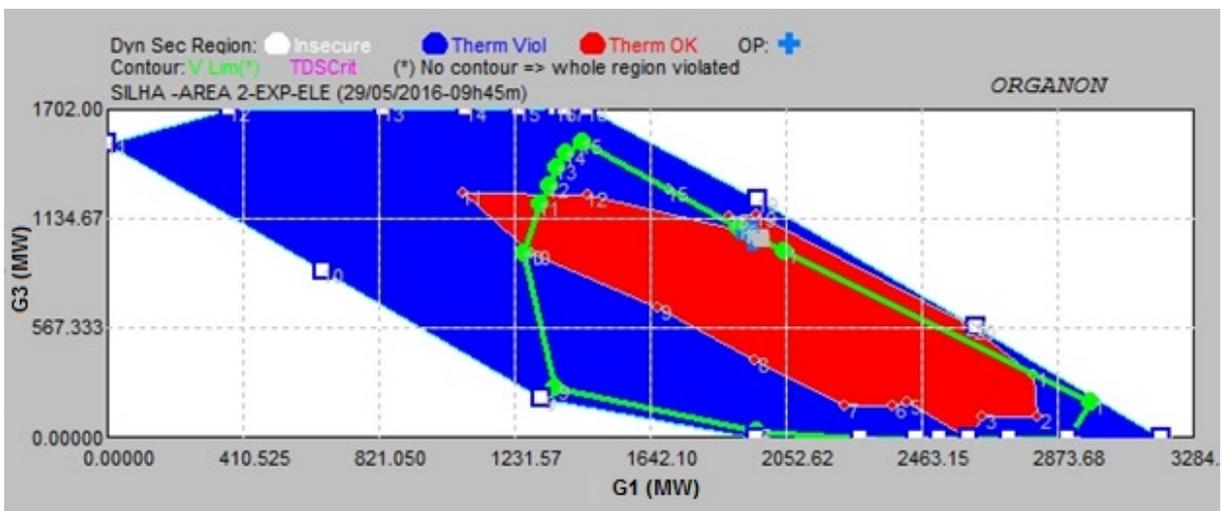


Figura 39 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga elevada - área 2 - exportando.

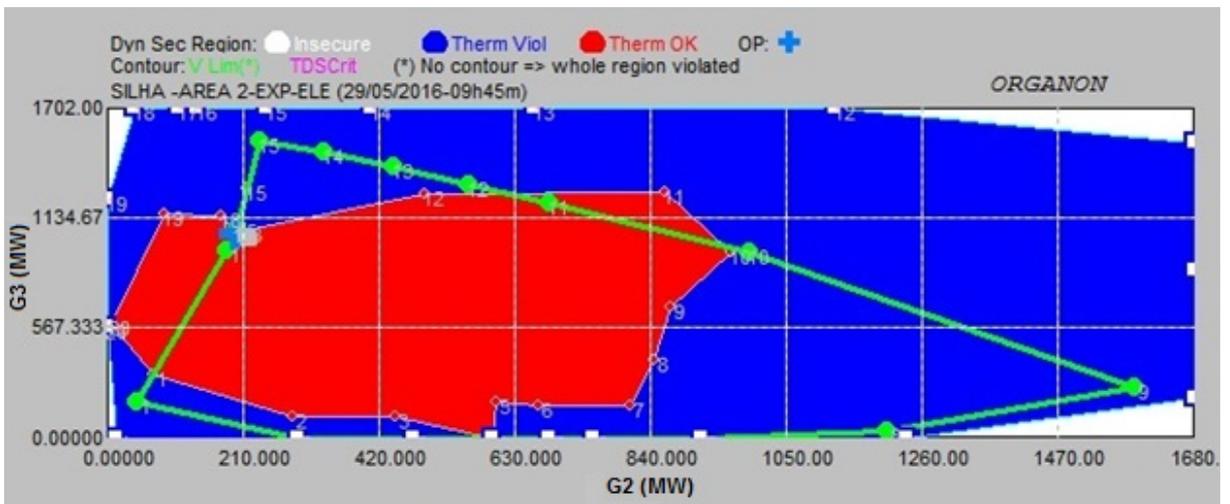


Figura 40 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga elevada - área 2 - exportando.

limites térmicos e de tensão, desta forma, uma mudança na geração dos grupos equivalentes levam o ponto operativo a uma condição de operação otimizada. Através das Figuras 38 a 40 foi possível estabelecer os limites de gerações para os três grupos, os quais garantem que para todas estas contingências os pontos operativos estarão dentro dos limites de não violação de estabilidade, tensão e de limites térmicos de equipamentos. Estes limites são simplesmente orientativos, sendo que outros podem ser determinados e estipulados. A Tabela 38 mostra estes limites.

Tabela 38 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
1319,5 MW
<b>Grupo G1</b>
$2000,0 \text{ MW} < G1 < 2400,0 \text{ MW}$
<b>Grupo G2</b>
$280,0 \text{ MW} < G2 < 560,0 \text{ MW}$
<b>Grupo G3</b>
$280,0 \text{ MW} < G3 < 560,0 \text{ MW}$

#### 5.6.1.3 Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Após Ilhamento - Ilha1 - Carga Moderada - Área 1 Exportando

Os respectivos nomogramas para o patamar de carga moderada área 1 exportando foram obtidos pelas simulações de contingências, desta forma, através das Figuras 41 a 43 foram realizadas as análises do ponto operativo em questão. A simulação da ilha 1 para o patamar de carga moderada área 1 exportando, identificou que para as contingências aplicadas, o ponto operativo do sistema atende a todas as regiões de não violação dos limites operativos. Em comparação com os dois patamares anteriormente analisados para a ilha 1, este patamar possui uma maior região de não violação dos limites térmicos, representado pela região vermelha, também possui um boa região de operação dentro dos limites de tensão. Através das Figuras 41 a 43 foi possível estabelecer os limites de gerações para os três grupos, os quais garantem que para todas estas contingências os pontos operativos estarão dentro dos limites de não violação de estabilidade, tensão e de limites térmicos de equipamentos. A Tabela 39 mostra os limites de geração estabelecidos.

Tabela 39 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
952,6 MW
<b>Grupo G1</b>
$2000,0 \text{ MW} < G1 < 2400,0 \text{ MW}$
<b>Grupo G2</b>
$210,0 \text{ MW} < G2 < 420,0 \text{ MW}$
<b>Grupo G3</b>
$280,0 \text{ MW} < G3 < 560,0 \text{ MW}$

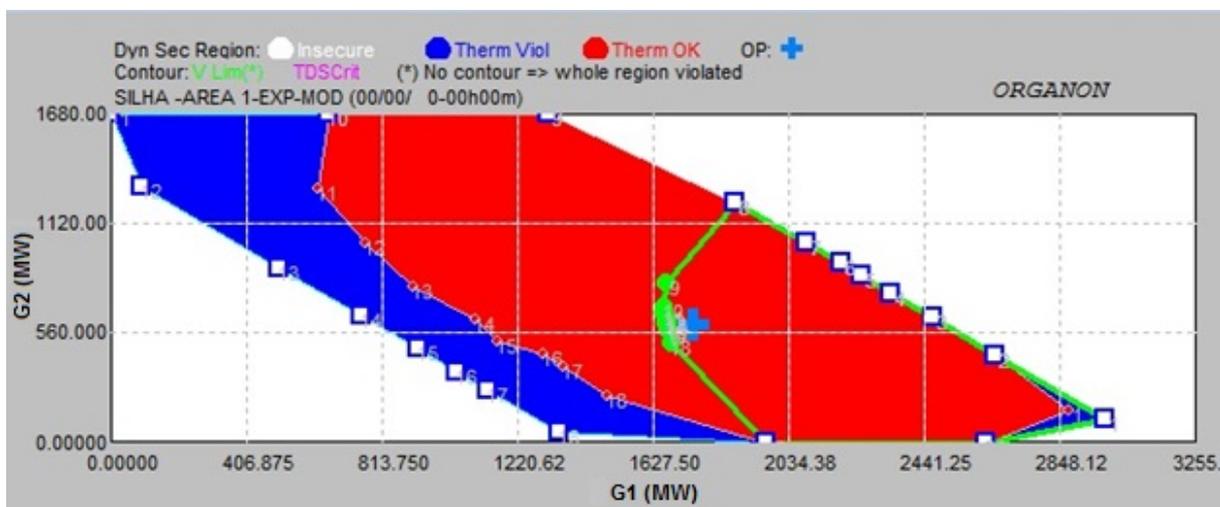


Figura 41 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga moderada - área 1 - exportando.

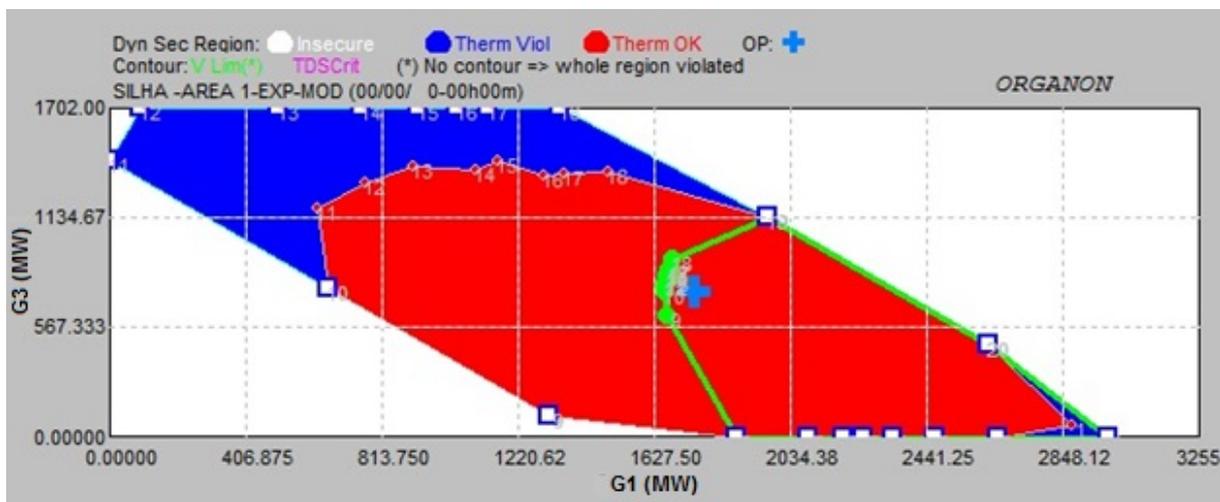


Figura 42 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga moderada - área 1 - exportando.

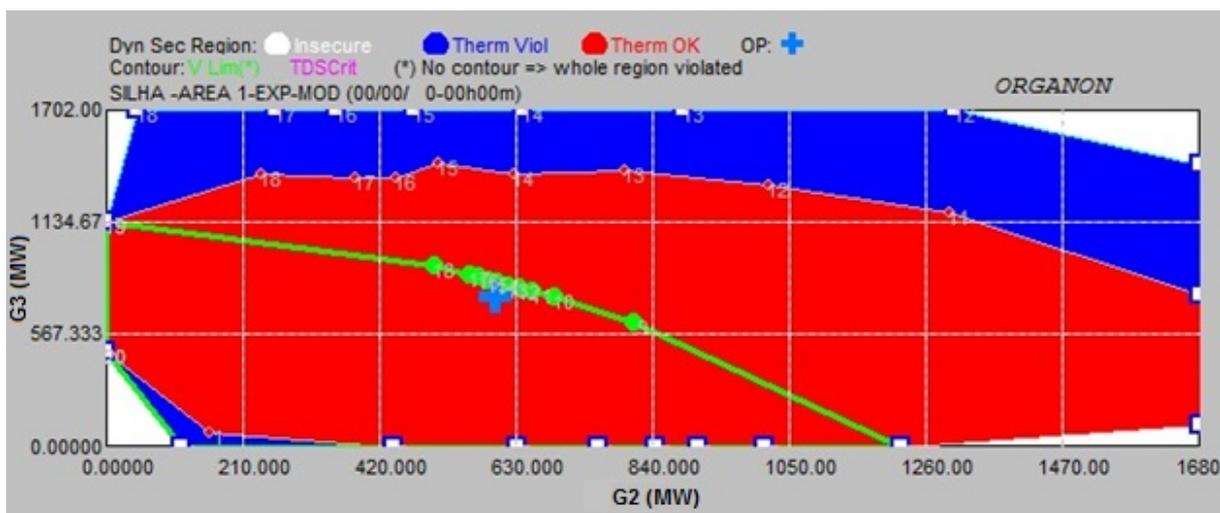


Figura 43 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga moderada - área 1 - exportando.

#### 5.6.1.4 Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Após Ilhamento - Ilha1 - Carga Reduzida - Área 1 Exportando

O comportamento dinâmico do sistema para o patamar de carga reduzida área 1 exportando foi analisado neste subitem, sendo que, deste foram gerados os nomogramas das Figuras 44 a 46. As Figuras 44 a 46 mostram as regiões de segurança para o sistema da ilha 1 para o patamar de carga reduzida área 1 exportando, o sistema comporta-se de forma adequada para todas as contingências aplicadas, sendo que as mesmas também foram aplicadas no sistema íntegro. Este patamar de carga é o que apresenta a maior fronteira de não violação dos limites de tensão, possuindo também ampla região de operação sem violação dos limites térmicos. Como observação importante nota-se que em todos os patamares de carga a ilha 1 foi capaz de ficar dentro dos limites, podendo ser esse desempenho melhorado, conforme mudança nos grupos geradores equivalentes.

Através das Figuras 44 a 46 foi possível estabelecer os limites de gerações para os três grupos, os quais garantem que para todas estas contingências os pontos operativos estarão dentro dos limites de não violação de estabilidade, tensão e de limites térmicos de equipamentos. A Tabela 40 mostra os limites de geração estabelecidos.

Tabela 40 – Limites De Geração Que Garantem A Segurança Do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
863,4 MW
<b>Grupo G1</b>
1300,0 MW < G1 < 1600,0 MW
<b>Grupo G2</b>
1500,0 MW < G2 < 1800,0 MW
<b>Grupo G3</b>
280,0 MW < G3 < 840,0 MW

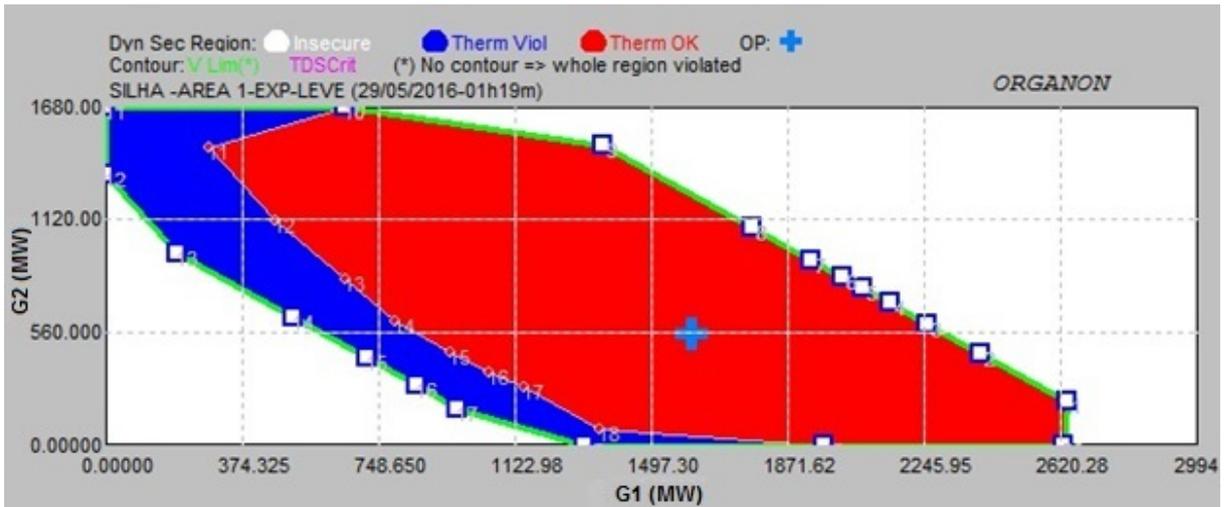


Figura 44 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga reduzida - área 1 - exportando.

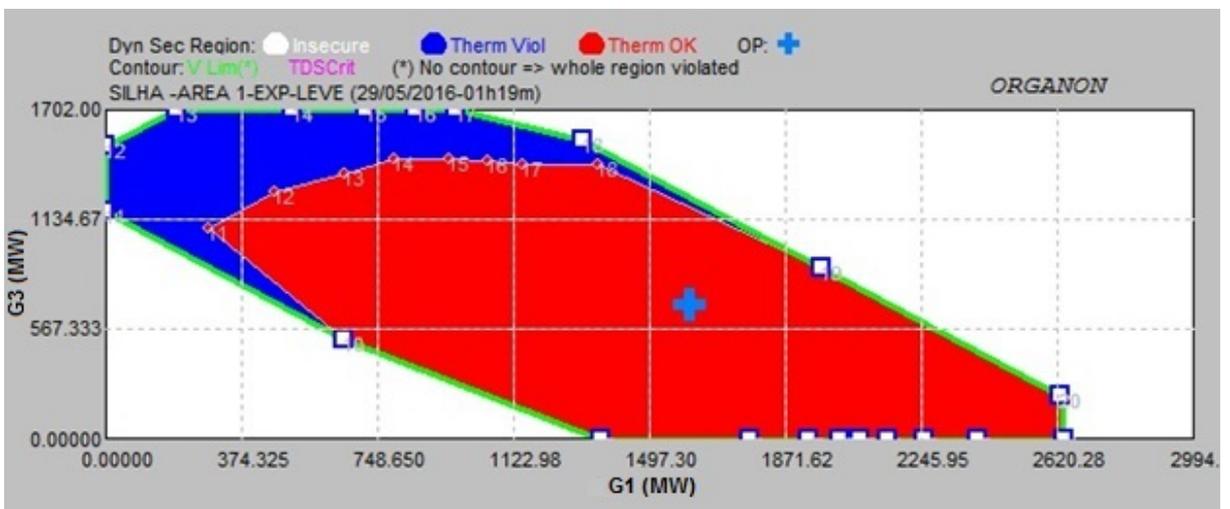


Figura 45 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga reduzida - área 1 - exportando.

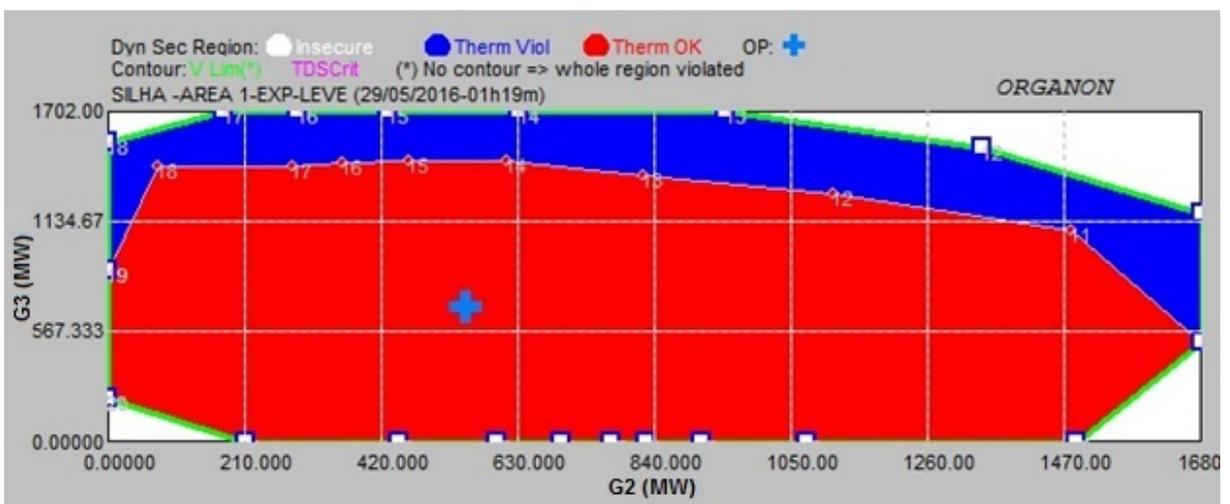


Figura 46 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga reduzida - área 1 - exportando.

## 5.6.1.5 Comparativo dos Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Ilha1 - Sistema Após Ilhamento

Para o sistema operando de forma interligada e sofrendo o ilhamento foram realizadas análises comparativas entre todos os patamares de carga, para que se pudesse visualizar como foi o comportamento do sistema para cada um destes. Do exposto, para o sistema operando de forma ilhada não poderia ser diferente e a mesma análise comparativa foi realizada. A mesma metodologia de mnemônicos para os patamares de carga foi aplicada, e conforme Tabela 41 temos os patamares com maiores e menores contornos/áreas na comparação da tensão, limites térmicos e de estabilidade.

- Carga elevada área 1 exportando: CEA1E;
- Carga elevada área 2 exportando: CEA2E;
- Carga moderada área 1 exportando: CMA1E;
- Carga reduzida área 1 exportando: CRA1E.

Tabela 41 – Comparação das Simulações do Sistema Interligado.

<b>Maiores Contornos / Áreas</b>		
<b>Tensão</b>	<b>Estabilidade</b>	<b>Carregamento</b>
CER1E	CER1E	CMA1E
<b>Menores Contornos / Áreas</b>		
<b>Tensão</b>	<b>Estabilidade</b>	<b>Carregamento</b>
CEM1E	CMA1E	CEA1E

O patamar de carga elevada área 1 exportando foi o patamar de carga que apresentou a menor região de carregamento dentro dos limites térmicos. O patamar de carga que apresentou maior região de operação dentro dos limites de carregamento foi o de carga moderada, mas para este mesmo patamar, ocorre o menor contorno de operação de tensão dentro dos limites e a menor área de estabilidade. O patamar de carga reduzida área 1 exportando foi o que possuiu maiores áreas de tensão e estabilidade.

A Tabela 42 mostra um resumo dos limites de geração associados, nos quais os pontos operativos não violam as regiões seguras e dos limites operativos adequados.

Dentro destas comparações não houve nenhum patamar de carga que não atendesse os critérios definidos, mas a operação ilhada somente pode ser realizada com sucesso para todos os patamares de carga analisados, após uma análise de frequência, onde a mesma confirme que a ilha 1 é capaz de realizar o controle de frequência desta região, para as contingências de interesse.

Tabela 42 – Comparativo dos Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b>Carga Elevada – Área 1 Export</b>	<b>Carga Elevada – Área 2 Export</b>
<i>Swing</i>	<i>Swing</i>
813,6 MW	1319,5,0 MW
<b>Grupo G1</b>	<b>Grupo G1</b>
2100,0 MW < G1 < 2500,0 MW	2000,0 MW < G1 < 2400,0 MW
<b>Grupo G2</b>	<b>Grupo G2</b>
420,0 MW < G2 < 770,0 MW	280,0 MW < G2 < 560,0 MW
<b>Grupo G3</b>	<b>Grupo G3</b>
567,0 MW < G3 < 990,0 MW	280,0 MW < G3 < 560,0 MW
<b>Carga Moderada – Área 1 Export</b>	<b>Carga Reduzida – Área 1 Export</b>
<i>Swing</i>	<i>Swing</i>
952,6 MW	863,4 MW
<b>Grupo G1</b>	<b>Grupo G1</b>
2000,0 MW < G1 < 2400,0 MW	1300,0 MW < G1 < 1600,0 MW
<b>Grupo G2</b>	<b>Grupo G2</b>
210,0 MW < G2 < 420,0 MW	1500,0 MW < G2 < 1800,0 MW
<b>Grupo G3</b>	<b>Grupo G3</b>
280,0 MW < G3 < 560,0 MW	280,0 MW < G3 < 840,0 MW

### 5.6.2 Sistema Sul - Sudeste Após Ilhamento - Área 2 - Ilha 2

A Figura 47 mostra o sistema da área 2 ilhado, sendo este denominado ilha 2. Este sistema é composto por sete usinas, sendo estas: G. B. Munhoz, Salto Caxias, Salto Segredo, Itá, Machadinho, Salto Osório, Salto Santiago. Agora com o sistema da área 2 ilhado foi necessário uma nova divisão do sistema em três grupos geradores equivalentes, como também da respectiva barra *swing* do sistema. Para o grupo G1 são consideradas as usinas de Salto Segredo e Salto Santiago, para o grupo G2 a usina de Salto Caxias e Salto Osório, por fim, para o grupo G3 as usinas de Itá e Machadinho, ficando a usina de G. B. Munhoz como a *swing* do sistema. Esta escolha de grupos, conforme seções anteriores, são baseadas nas bacias hidrográficas do sistema, tentando contemplar grupos energéticos com as mesmas influências e restrições e não grupos de bacias mistas. As Tabelas 43 até 47 mostram estes grupos com as suas respectivas potências ativas e também a da barra swing, para cada patamar de carga. A Figura 48 mostra um diagrama esquemático de como fica a ilha 2 e seus respectivos grupos geradores.

A escolha das contingências tem como base as mesmas do item 5.4. Conforme Tabela 48 é possível visualizar as contingências e seus respectivos mnemônicos utilizados. Nesta terceira etapa de simulações são consideradas as contingências das Tabelas 14 até 16. A Tabela 49 mostra os montantes de carga e geração da ilha 2 do sistema. Para estes conjuntos de contingências são gerados os respectivos nomogramas com as regiões de segurança dinâmicas.



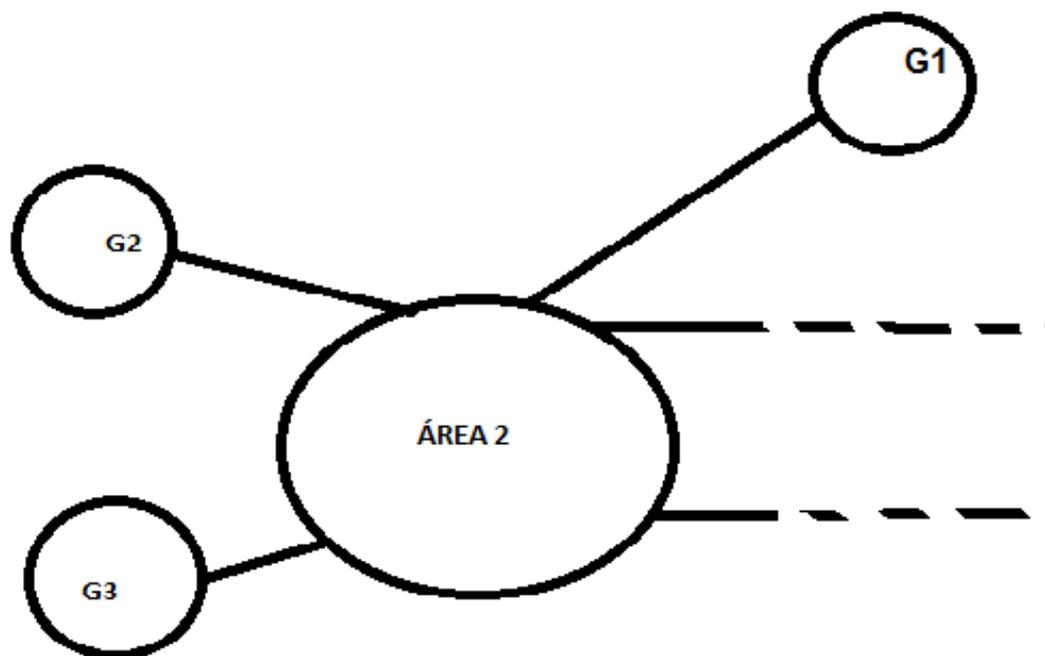


Figura 48 – Grupos geradores G1, G2 e G3 no sistema equivalente ilhado de 65 barras Sul-Sudeste.

Tabela 43 – Despachos da Barra *Swing* G. B. Munhoz.

<i>Swing</i>	Patamares de Carga			
	G.B Munhoz	Carga Elevada Área 1 Exportando	Carga Elevada Área 2 Exportando	Carga Moderada Área 1 Exportando
1484,4 MW		562,4 MW	889,2 MW	1203,8 MW

Tabela 44 – Grupos Geradores - Carga Elevada - Ilha 2 - Área 1 - Exportando.

G1	Total	G2	Total	G3	Total
			1600,0 MW		
Usinas	Individual	Usinas	Individual	Usinas	Individual
S.Segredo	750,0 MW	S. Caxias	840,0 MW	Itá	690,0 MW
S.Santiago	850,0 MW	S. Osório	650,0 MW	Machadinho	580,0 MW

Tabela 45 – Grupos Geradores - Carga Elevada-Ilha 2- Área 2- Exportando.

<b>G1</b>	<b>Total</b>	<b>G2</b>	<b>Total</b>	<b>G3</b>	<b>Total</b>
	2150,0 MW		1850,0 MW		1300,0 MW
<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>	<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>	<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>
S.Segredo	1200,0 MW	S. Caxias	1150 MW	Itá	700,0 MW
S.Santiago	950,0 MW	S. Osório	700,0 MW	Machadinho	600,0 MW

Tabela 46 – Grupos Geradores - Carga Moderada-Ilha 2- Área 1- Exportando.

<b>G1</b>	<b>Total</b>	<b>G2</b>	<b>Total</b>	<b>G3</b>	<b>Total</b>
	1600,0 MW		1490,0 MW		1270,0 MW
<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>	<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>	<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>
S.Segredo	750,0 MW	S. Caxias	840,0 MW	Itá	690,0 MW
S.Santiago	850,0 MW	S. Osório	650,0 MW	Machadinho	580,0 MW

Tabela 47 – Grupos Geradores - Carga Reduzida-Ilha 2- Área 1- Exportando.

<b>G1</b>	<b>Total</b>	<b>G2</b>	<b>Total</b>	<b>G3</b>	<b>Total</b>
	1272,0 MW		1270,8 MW		1068,4 MW
<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>	<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>	<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>
S.Segredo	590,0 MW	S. Caxias	672,8 MW	Itá	534,8 MW
S.Santiago	682,0 MW	S. Osório	598,0 MW	Machadinho	533,6 MW

Tabela 48 – Tipos de Contingência e Respective Mnemônicos

<b>Tipo</b>	<b>Mnemônico</b>
Curto-Circuito <i>Shunt</i> , em Barras	<i>CSB</i>
Curto-Circuito <i>Shunt</i> em LTs com aberturas de linha	<i>CAL</i>
Variações, de carga ou geração	<i>LS</i>

Tabela 49 – Carregamentos e Fluxos do Sistema Ilha 2.

<b>Área 2 – Ilha 2</b>			
<b>Carga Elevada Área 1 Export</b>	<b>Carga Elevada Área 2 Export</b>	<b>Carga Moderada Área 1 Export</b>	<b>Carga Reduzida Área 1 Export</b>
<b>Carga Área 2</b>	<b>Carga Área 2</b>	<b>Carga Área 2</b>	<b>Carga Área 2</b>
5689,1 MW	5686,1 MW	5119,9 MW	4710,8 MW
<b>Geração Área 2</b>	<b>Geração Área 2</b>	<b>Geração Área 2</b>	<b>Geração Área 2</b>
5845,4 MW	5862,4 MW	5284,2 MW	4815,0 MW

Para facilitar a análise destes nomogramas, os mesmos foram separados por suas contingências, como também pelo par ordenado de cada grupo, a saber: G1xG2, G1xG3 e G2xG3. Como limites de tensão e limites de carregamento são utilizados os limites do Anexo A. As análises dos resultados dos nomogramas com as regiões de segurança dinâmicas foram individualizadas por patamar de carga, conforme foi realizado nos itens e subitens anteriores, buscando assim, análise e comparação dos resultados obtidos.

#### 5.6.2.1 Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Após Ilhamento - Ilha2 - Carga Elevada - Área 1 Exportando

As mesmas simulações e contingências (iguais as aplicadas na área 2 para o sistema operando de forma interligada) aplicadas para a ilha 1 foram também aplicadas para a ilha 2. As Figuras 49 a 51 mostram o comportamento da ilha 2 frente a estas contingências. O comportamento da ilha2, mostra-se adequado, pois, o ponto de operação está dentro de todas as áreas de não violação de critérios operativos. Para este item, também foi aplicada a mesma metodologia de análise de operação ilhada através, do uso de regiões de segurança dinâmicas.

Através das Figuras 49 a 51 foi possível estabelecer limites de gerações para os três grupos, os quais garantem que para todas estas contingências os pontos operativos estarão dentro dos limites de não violação de estabilidade, tensão e de limites térmicos de equipamentos. A Tabela 50 mostra os limites de geração estabelecidos.

Da mesma forma que foi citado no Subitem 5.5.1, para que uma operação ilhada seja realizada com sucesso é necessário aplicar uma análise de frequência para os despachos da Tabela 50, e somente se a ilha for capaz de manter o controle de frequência quando submetido a contingências, a operação ilhada deve ser realizada, do contrário, este tipo de operação deve ser evitado.

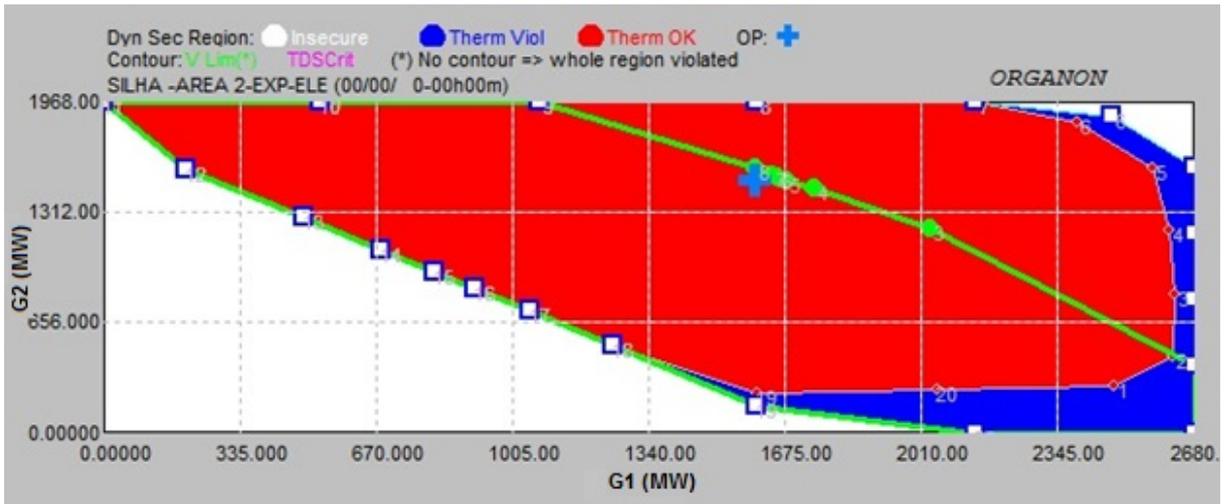


Figura 49 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga elevada - área 1 - exportando.

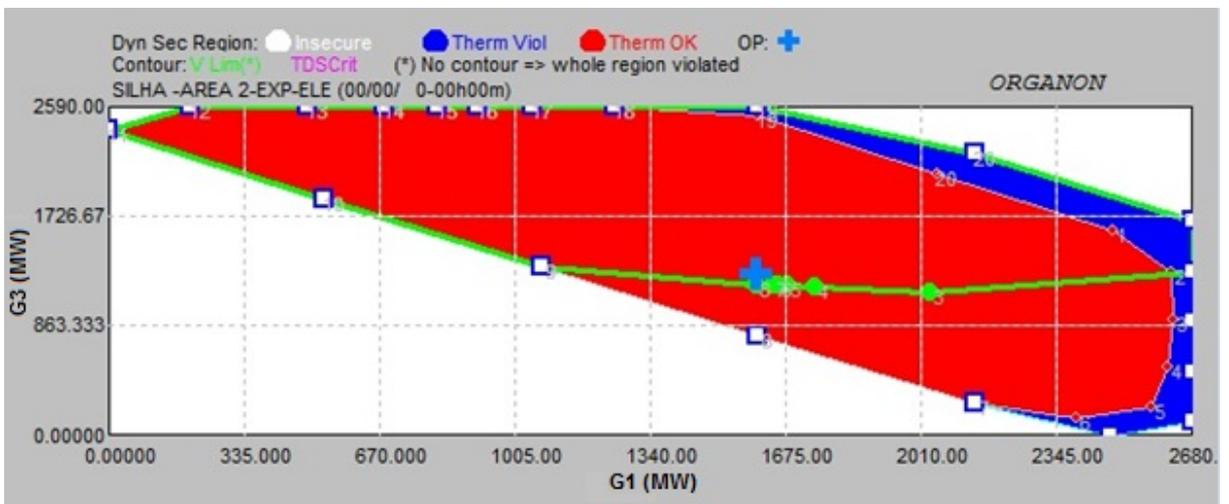


Figura 50 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga elevada - área 1 - exportando.

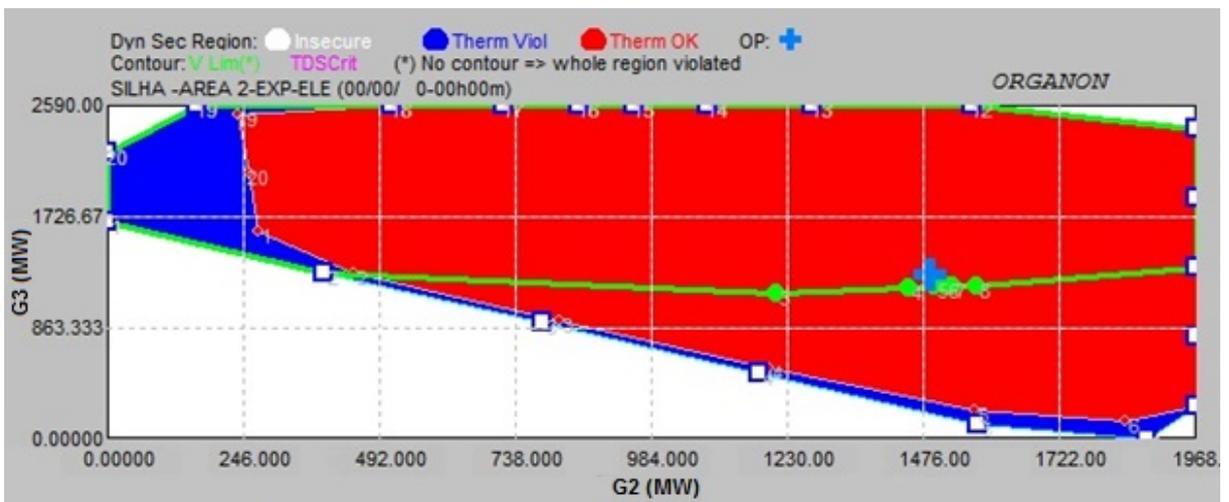


Figura 51 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga elevada - área 1 - exportando.

Tabela 50 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
1484,4 MW
<b>Grupo G1</b>
1340,0 MW < G1 < 1675,0 MW
<b>Grupo G2</b>
656,0 MW < G2 < 1312,0 MW
<b>Grupo G3</b>
1300,0 MW < G3 < 2100,0 MW

### 5.6.2.2 Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Após Ilhamento - Ilha2 - Carga Elevada - Área 2 Exportando

Para o patamar de carga elevada área 2 exportando foi simulado o comportamento da ilha 2 frente as mesmas contingências que foram aplicadas ao sistema interligado (com relação a área 2), os resultados foram apresentados nos nomogramas das Figuras 52 a 54.

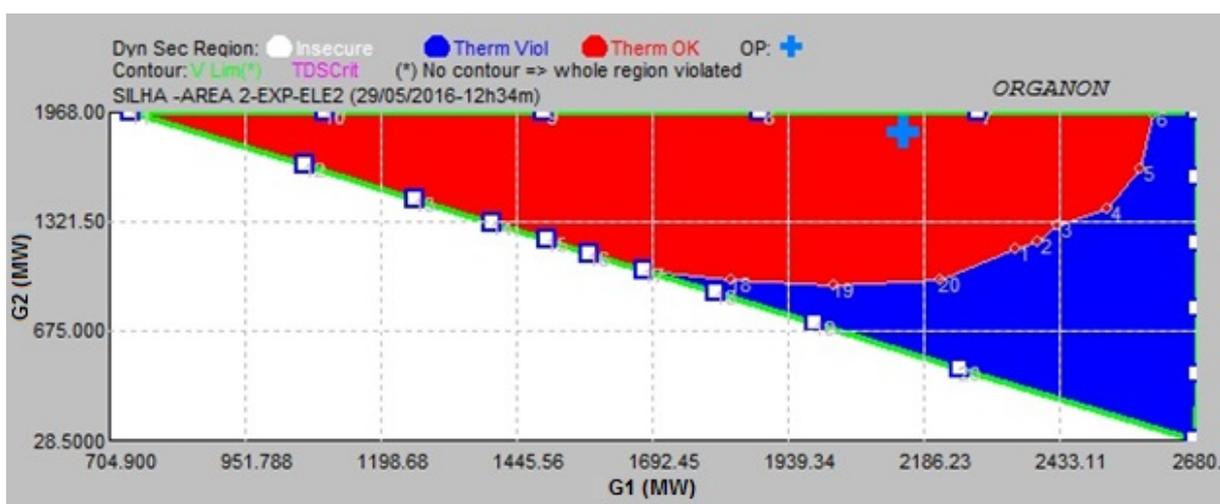


Figura 52 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga elevada - área 2 - exportando.

O desempenho da região ilhada durante as contingências foi satisfatório, pois, a mesma suporta todas as contingências que foram submetidas ao sistema operando de forma interligada. O ponto operativo pode ser deslocado mais para o centro da região de não violação de tensão, podendo operar em um ponto com uma maior margem das fronteiras de violação, mas, o seu ponto atual já respeita todos estes limites. Através das Figuras 52 a 54 foi possível estabelecer os limites de gerações para os três grupos, os quais garantem que para todas estas contingências os pontos operativos estarão dentro dos limites de não violação de estabilidade, tensão e de limites térmicos de equipamentos. A Tabela 51 mostra os limites de geração estabelecidos.

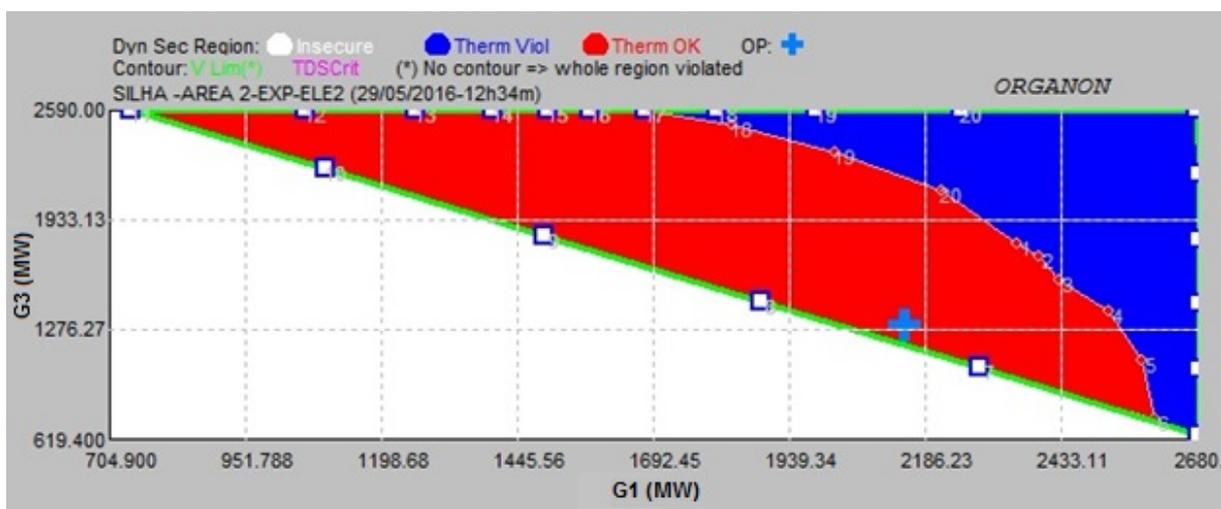


Figura 53 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga elevada - área 2 - exportando.

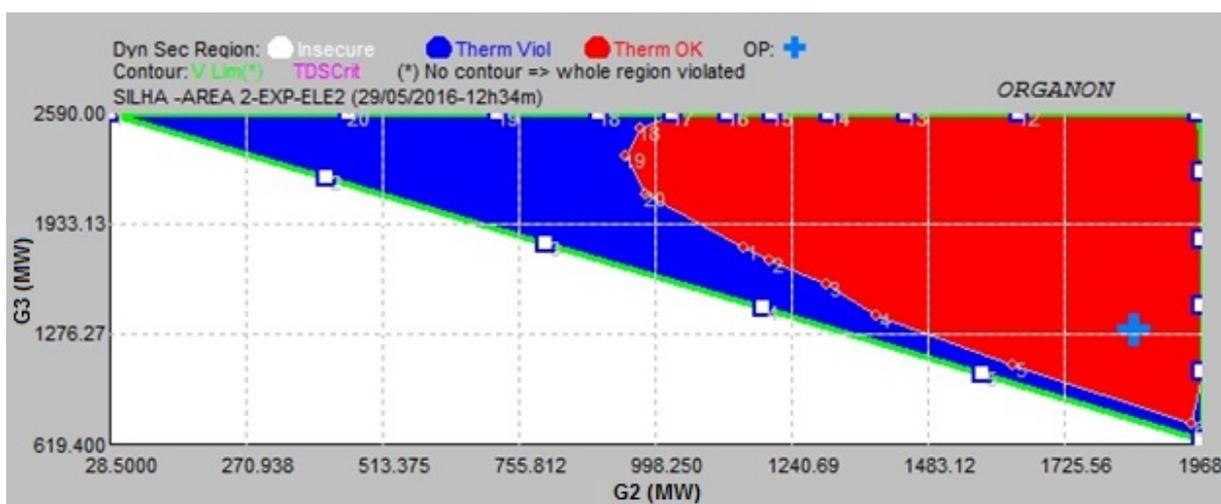


Figura 54 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga elevada - área 2 - exportando.

Tabela 51 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
562,4 MW
<b>Grupo G1</b>
1692,0 MW < G1 < 2186,0 MW
<b>Grupo G2</b>
1241,0 MW < G2 < 1968,0 MW
<b>Grupo G3</b>
1605,0 MW < G3 < 2262,0 MW

5.6.2.3 Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Após Ilhamento - Ilha 2 - Carga Moderada - Área 1 Exportando

Conforme mesma metodologia usada para os dois patamares de carga anteriores, o patamar de carga moderada área 1 exportando foi submetido às mesmas contingências e os resultados obtidos através dos respectivos nomogramas das Figuras 55 a 57. A ilha 2 para este patamar de carga é capaz de atender os limites de estabilidade, tensão e térmicos de seus equipamentos. As margens em relação às fronteiras de violação destes limites são grandes e permitem uma ampla flexibilidade operativa do sistema para atendimento da carga neste cenário.

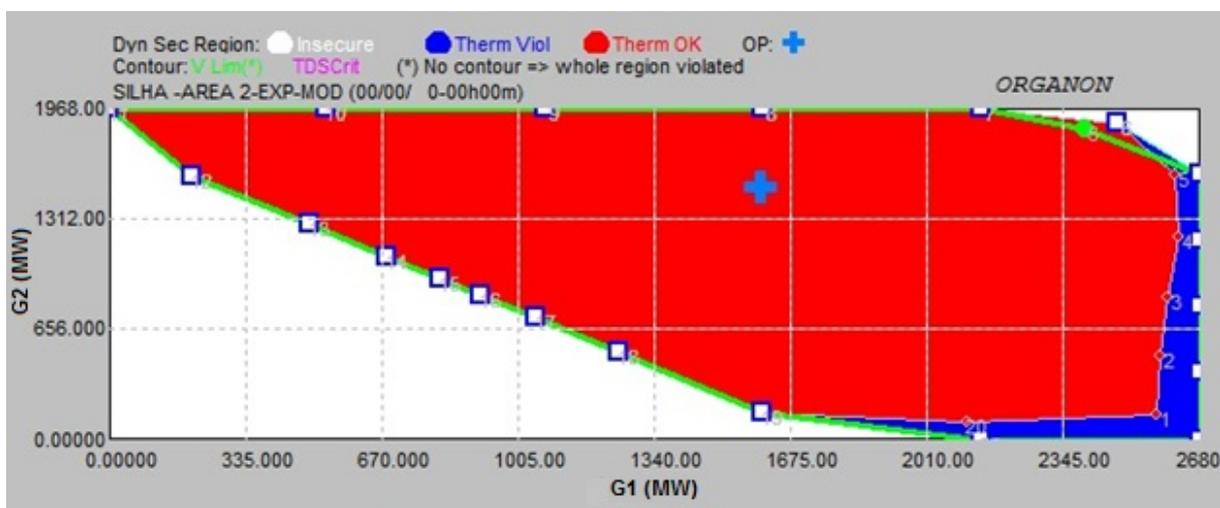


Figura 55 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga moderada - área 1 - exportando.

Através das Figuras 55 a 57 foi possível estabelecer limites de gerações para os três grupos, os quais garantem que para todas estas contingências os pontos operativos estarão dentro dos limites de não violação de estabilidade, tensão e de limites térmicos de equipamentos. A Tabela 52 mostra os limites de geração estabelecidos.

Tabela 52 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
882,2 MW
<b>Grupo G1</b>
1340,0 MW < G1 < 2010,0 MW
<b>Grupo G2</b>
738,0 MW < G2 < 1968,0 MW
<b>Grupo G3</b>
1295,0 MW < G3 < 2158,0 MW

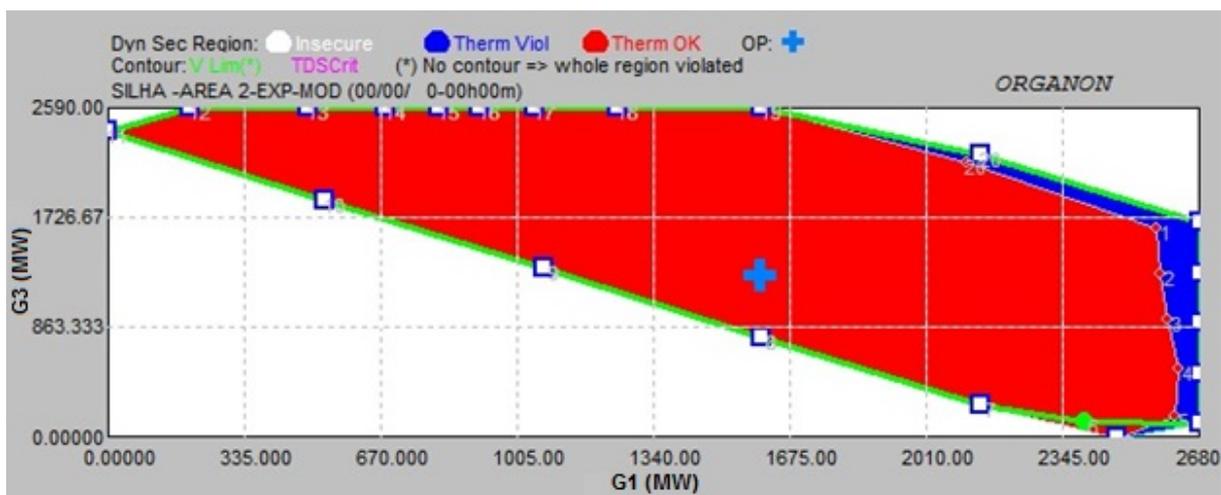


Figura 56 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga moderada - área 1 - exportando.

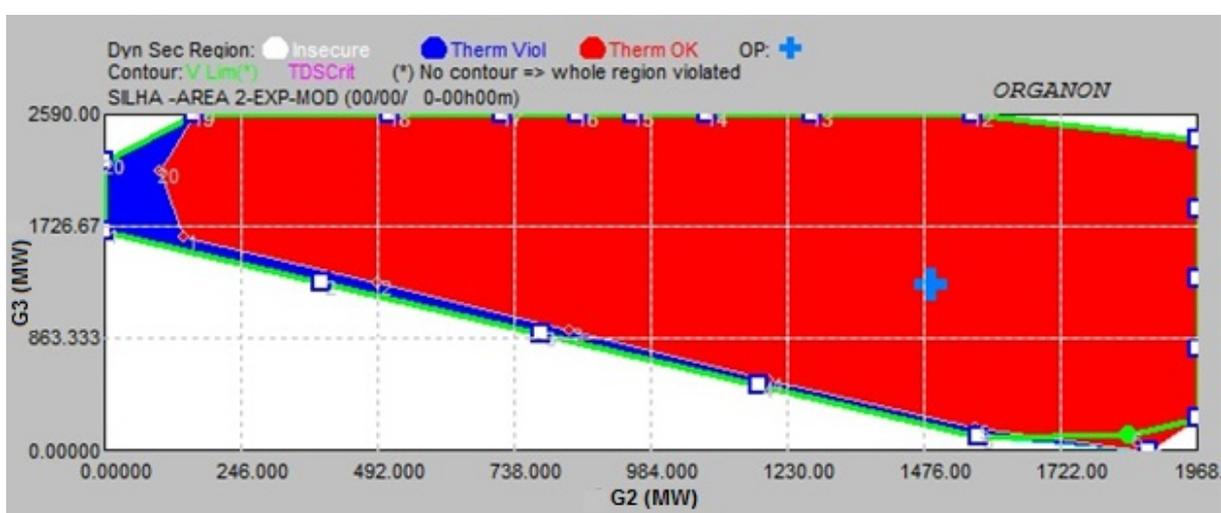


Figura 57 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga moderada - área 1 - exportando.

#### 5.6.2.4 Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Sistema Após Ilhamento - Ilha2 - Carga Reduzida - Área 1 Exportando

O ultimo patamar de carga analisado foi o de carga reduzida área 1 exportando. Neste patamar realizaram-se as simulações de contingências, para os três grupos geradores equivalentes do sistema. Os resultados das simulações estão contidos nas Figuras 58 a 60.

Através das Figuras 58 a 60 foi possível estabelecer limites de gerações para os três grupos, os quais garantem que para todas estas contingências os pontos operativos estarão dentro dos limites de não violação de estabilidade, tensão e de limites térmicos de equipamentos. A Tabela 53 mostra os limites de geração estabelecidos. Para esta última simulação, como nas demais, o sistema formado somente pela ilha 2 foi capaz de se manter estável, respeitar os limites de tensão e térmicos dos equipamentos. O ponto de operação do sistema pode variar em uma ampla faixa operativa sem comprometer a qualidade do fornecimento de energia elétrica ao cliente.

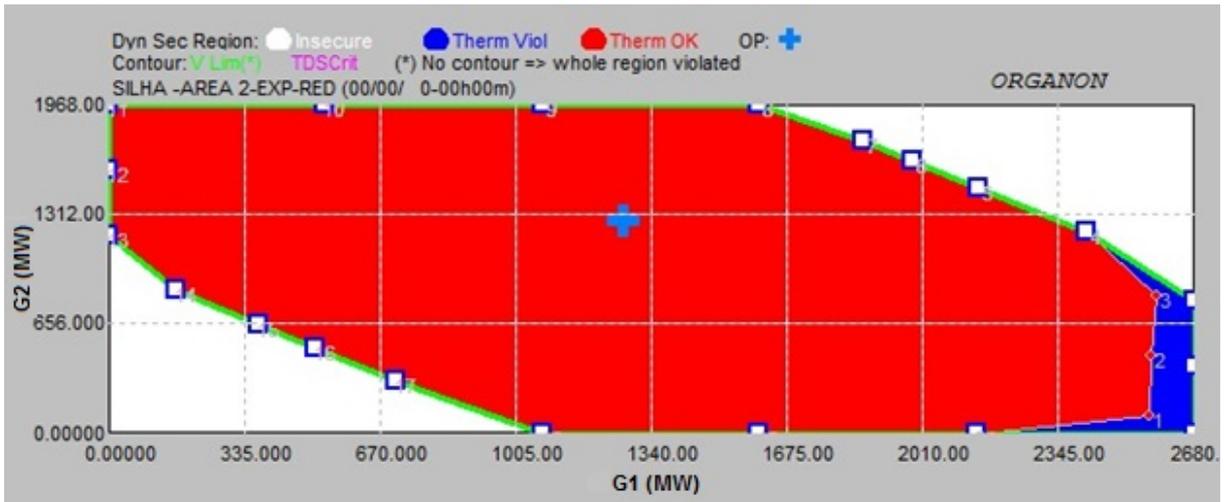


Figura 58 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga reduzida - área 1 - exportando.

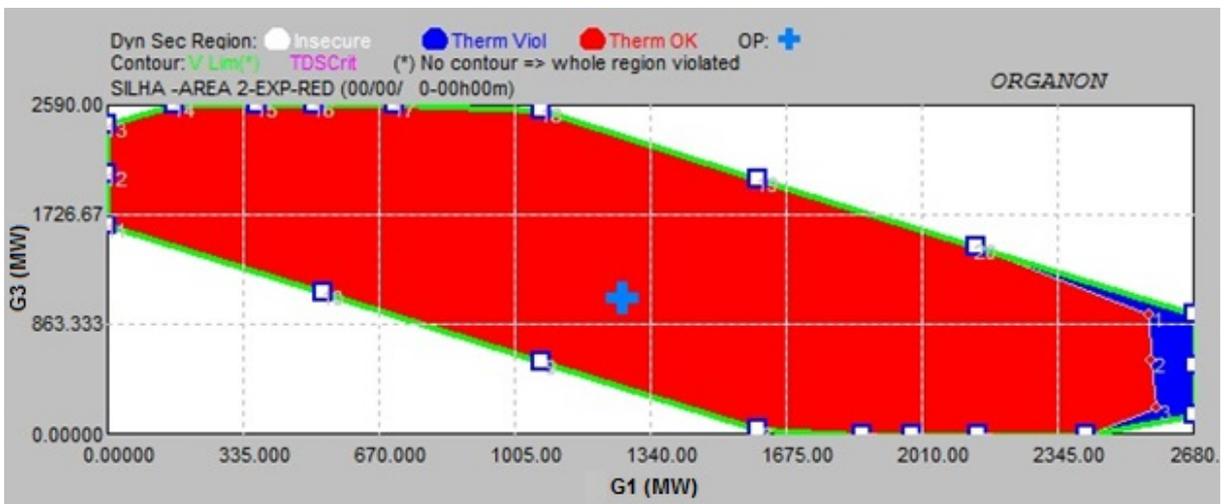


Figura 59 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga reduzida - área 1 - exportando.

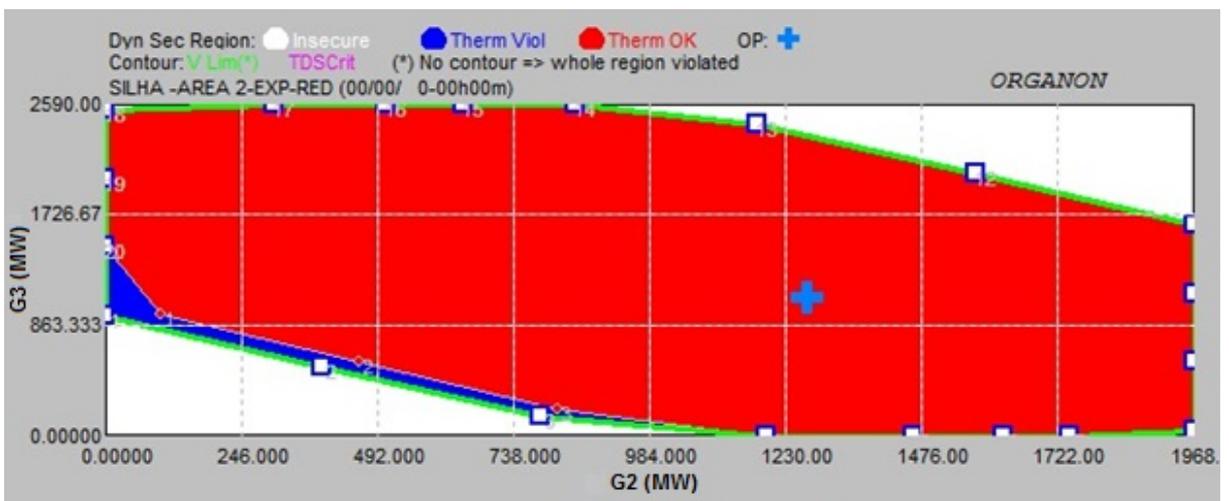


Figura 60 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga reduzida - área 1 - exportando.

Tabela 53 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
1203,8 MW
<b>Grupo G1</b>
1005,0 MW < G1 < 1675,0 MW
<b>Grupo G2</b>
1107,0 MW < G2 < 1722,0 MW
<b>Grupo G3</b>
864,0 MW < G3 < 1726,0 MW

## 5.6.2.5 Comparativo dos Resultados - Sistema Sul-Sudeste - Ilha 2 - Sistema Após Ilhamento

Este item analisou o comportamento do sistema ilhado da área 2, as simulações foram as mesmas que foram submetidas no sistema operando de forma interlida. Para o sistema operando de forma interligada e sofrendo ilhamento foram realizadas análises comparativas entre todos os patamares de carga, para que se pudesse inferir como foi o comportamento do sistema em questão. Assim para o sistema operando de forma ilhada não poderia ser diferente e a mesma análise foi realizada. A mesma metodologia de resumo em mnemônicos dos patamares de carga foi realizado, e conforme Tabela 54 temos os patamares com maiores e menores contornos/áreas na comparação da tensão, limites térmicos e de estabilidade.

- Carga elevada área 1 exportando: CEA1E;
- Carga elevada área 2 exportando: CEA2E;
- Carga moderada área 1 exportando: CMA1E;
- Carga reduzida área 1 exportando: CRA1E.

Tabela 54 – Comparação das Simulações do Sistema Interligado.

<b>Maiores Contornos / Áreas</b>		
<b>Tensão</b>	<b>Estabilidade</b>	<b>Carregamento</b>
CER1E	CER1E	CER1E
<b>Menores Contornos / Áreas</b>		
<b>Tensão</b>	<b>Estabilidade</b>	<b>Carregamento</b>
CEA1E	CEA2E	CEA2E

O patamar de carga elevada área 1 exportando foi o patamar de carga que apresentou o menor contorno de tensão, dentre todos os patamares. Para o patamar de carga

elevada área 2 exportando temos as menores regiões de operação estáveis e de carregamento dentro dos limites térmicos. O patamar de carga que apresentou maior região de operação dentro dos limites de carregamento, de estabilidade e de tensão foi o de carga reduzida. Dentro destas comparações não houve nenhum patamar de carga que não atendesse os critérios definidos. A Tabela 55, mostra um resumo dos limites de geração seguros para os quatro patamares de carga simulados.

Tabela 55 – Comparativo dos Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b>Carga Elevada – Área 1 Export</b>	<b>Carga Elevada – Área 2 Export</b>
<i>Swing</i>	<i>Swing</i>
1484,4 MW	562,4 MW
<b>Grupo G1</b>	<b>Grupo G1</b>
1340,0 MW < G1 < 1675,0 MW	1692,0 MW < G1 < 2186,0 MW
<b>Grupo G2</b>	<b>Grupo G2</b>
656,0 MW < G2 < 1312,0 MW	1241,0 MW < G2 < 1968,0 MW
<b>Grupo G3</b>	<b>Grupo G3</b>
1300,0 MW < G3 < 2100,0 MW	1605,0 MW < G3 < 2262,0 MW
<b>Carga Moderada – Área 1 Export</b>	<b>Carga Reduzida – Área 1 Export</b>
<i>Swing</i>	<i>Swing</i>
882,2 MW	1203,8 MW
<b>Grupo G1</b>	<b>Grupo G1</b>
1340,0 MW < G1 < 2010,0 MW	1005,0 MW < G1 < 1675,0 MW
<b>Grupo G2</b>	<b>Grupo G2</b>
738,0 MW < G2 < 1968,0 MW	1107,0 MW < G2 < 1722,0 MW
<b>Grupo G3</b>	<b>Grupo G3</b>
1295,0 MW < G3 < 2158,0 MW	864,0 MW < G3 < 1726,0 MW

No item anterior foi realizada esta mesma análise para a ilha 1 e foi observado que a ilha 1 também se comportou de maneira adequada frente às contingências sistêmicas e que o modo operativo da ilha 1 para aquelas contingências foi adequado, mas é necessário analisar todas as contingências possíveis. Neste mesmo contexto a ilha 2 também foi capaz de suportar todas as contingências escolhidas e operando desta forma dentro das regiões de não violações dos limites operativos. Conforme necessidade podem ser analisadas outras contingências e aplicá-las ao sistema ilhado, para verificar seu desempenho dinâmico e caso a ilha não consiga se manter estável, medidas de controle podem ser utilizadas.

# 6 Aplicação de Regiões de Segurança Dinâmicas em Sistemas de Subtransmissão e Distribuição

## 6.1 Introdução

O Capítulo 5 considerou a análise de aplicação de regiões de segurança dinâmicas em um sistema de transmissão, para sua operação de forma interligada, durante ilhamentos e operações com suas áreas ilhadas. As regiões de segurança dinâmicas do programa ORGANON são as ferramentas utilizadas para a implementação da nova metodologia de estudos de ilhamentos e operações ilhadas, proposta nesta dissertação. Através destas, foi possível determinar os limites dos despachos dos três grupos geradores equivalentes, para os quais não ocorrem violações dos limites de estabilidade, de carregamento dos circuitos e dos níveis de tensão, desta forma, orientando os operadores do SEP, sobre quais são os pontos operativos em que o sistema deve estar, para que, em caso de ilhamentos e operações ilhadas, os mesmos possam ser realizados com sucesso. Lembrando que após esta primeira etapa de definição dos pontos operativos que atendem aos critérios de segurança e de limites operativos, ainda é necessária uma análise de frequência do sistema, para definir se realmente o ilhamento ou operação ilhada é factível.

Neste Capítulo 6 é considerada a mesma análise de aplicação de regiões de segurança dinâmicas na determinação dos limites de geração do sistema, para que seja possível realizar ilhamentos e operações ilhadas com sucesso, mas diferentemente do capítulo anterior, o enfoque agora é de aplicar esta metodologia em sistemas de subtransmissão/distribuição. Para isto, o presente capítulo foi dividido em itens com as características operativas de um sistema de subtransmissão/distribuição (Item 6.2), com o sistema de subtransmissão/distribuição usado nas análises de ilhamento e operações ilhadas (Item 6.3) e por fim com os resultados e análises das simulações das regiões de segurança dinâmicas para o sistema teste que foi definido (Itens 6.4 a 6.6).

## 6.2 Aplicação das Regiões de Segurança Dinâmicas em Sistemas de Subtransmissão e Distribuição

Com o incentivo das gerações distribuídas em diversos níveis de tensão, o ilhamento para sistemas de subtransmissão e distribuição também pode ser analisado e tomado como uma alternativa de suprimento a carga, durante uma perturbação no sistema, ilhando o

mesmo. Diferentemente de um sistema de transmissão, os sistemas de distribuição/subtransmissão possuem geradores síncronos com inércia muito reduzida, isto está relacionado à menor capacidade de geração dos mesmos. Além de possuírem pequena capacidade de geração, em muitas situações os reguladores de tensão e velocidade destes geradores síncronos não estão ajustados para realizar o controle de tensão e frequência do sistema. Do exposto anteriormente, para que possa ser viável a ocorrência de ilhamentos nestes tipos de sistemas é necessário que exista uma mudança no modo operativo dos controladores de tensão e velocidade destes geradores, para que os mesmos passem a controlar estas grandezas elétricas dentro dos limites operativos determinados durante um ilhamento e operação ilhada. Mesmo com a mudança nas características operativas dos controladores de velocidade e tensão, pode ser necessário aplicar de forma conjunta medidas de controle, como, por exemplo corte de carga e/ou geração do sistema, estas medidas de controle são necessárias devido ao desbalanço entre carga e geração que ocorre devido a um ilhamento.

Desta forma, para um sistema de subtransmissão/distribuição o risco envolvido na realização de um ilhamento e operação ilhada é bem mais elevado do que para um sistema de transmissão, o qual, já opera realizando o controle de tensão e frequência do sistema e que possui elevada capacidade de geração. Desta forma, muitos agentes de distribuição, quando da ocorrência de um ilhamento de área, não o permitem, realizando uma interrupção das cargas, sendo que, em muitos dos casos com o uso da regulação de tensão e velocidade dos controladores dos geradores síncronos, aplicação de medidas de controle e uso de regiões de segurança dinâmicas seria possível determinar regiões de segurança (limites de geração) em que o ilhamento do sistema fosse realizado com sucesso, deixando assim, de aumentar a confiabilidade do seu sistema.

Para determinar de forma mais próxima da real qual será o comportamento do sistema durante um ilhamento e operação ilhada, esta dissertação sugere uma nova metodologia de estudos de ilhamentos e operações ilhadas (uso preliminar de regiões de segurança), a mesma que foi utilizada no Capítulo 5. Assim, com a aplicação desta nova metodologia é possível mapear todos os pontos operativos possíveis que suportarão um ilhamento e operação ilhada, já com a inclusão do controle de tensão/frequência do sistema e as medidas de controle possíveis. Com estes resultados mais completos e reais do verdadeiro comportamento dos sistemas de subtransmissão/distribuição, os agentes de distribuição passam a ter maior confiança e embasamento técnico para aplicar ilhamentos e operações ilhadas para aumento da confiabilidade de seus sistemas.

### 6.3 Sistema *Brazilian Birds 2*

A simulação realizada neste item, tem o objetivo de analisar o ilhamento e operação ilhada de um sistema de subtransmissão/distribuição, através do uso de regiões de

segurança dinâmicas. Para isso, foi utilizado o sistema teste, conhecido como “*Brazilian Birds*” (JUNIOR, 2016), composto por 43 barras e 4 usinas geradoras, além de duas áreas interligadas através de linhas de transmissão em 440 kV.

A área 1 é composta das barras de Canário, Cardeal, Sanhaço, Curió, Tiziu, Sabiá, Azulão, Pardal, Bicudo e Chopim, possuindo um total de 800 MW de carga e um total de 800 MW de capacidade de geração. A área 2 é composta das barras de Tucano, Gavião, Garça, Urubu, Arara, Pelicano e Coruja, possuindo um total de 400 MW de carga e um total de 1207 MW de capacidade de geração. Este sistema possui um setor de subtransmissão/distribuição de 138/69 kV contido na área 3, que pode sofrer ilhamento através da perda dos dois transformadores 230/138 kV. O sistema *Brazilian Birds* e as características citadas, podem ser observadas através da Figura 61 (OLIVEIRA, 2014).

A dissertação de Oliveira (OLIVEIRA, 2014) utilizou o sistema *Brazilian Birds*, também para uma análise de ilhamento, sendo que a mesma para isso, modificou uma parte do sistema *Brazilian Birds* original (JUNIOR, 2016). A área modificada que foi citada, está representada através do retângulo vermelho da Figura 61. A Figura 62 mostra estas modificações realizadas na área dentro do retângulo vermelho.

Estas modificações foram realizadas através da inserção de um barra de carga (Gaiivota - barra 300) e duas barras de geração (Pardal – barra 9160 e Azulão – barra 9170). Já para as simulações realizadas nesta dissertação, foi necessário modificar novamente a região mostrada na Figura 62, sendo estas mudanças apresentadas na Figura 63.

Conforme pode-se ver na Figura 63 foi implementada uma adaptação da modificação realizada em Oliveira (OLIVEIRA, 2014), retirando as usinas conectadas nas barras de 138 kV de Pardal e Azulão e incluindo sete usinas, sendo estas PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas) ou UTEs (Usinas Termoelétricas), onde quatro delas estão conectadas no 69 kV e três delas no 138 kV. Após estas mudanças citadas o sistema *Brazilian Birds* original (JUNIOR, 2016) foi dividido em três áreas, sendo que a área 2 permaneceu sem modificações em relação ao sistema original (carga de 400 MW e capacidade de geração de 1207 MW), a área 1 delimitada até os transformadores 230/138 kV de Sabiá e Tiziu (carga de 520 MW e capacidade de geração de 800 MW) e por fim a área 3 representada pela Figura 63, que antes era parte da área 1. A área 3 mostrada na Figura 63, localiza-se no lado de 138 kV dos transformadores de 230/138 kV de Sabiá e Tiziu (carga de 168 MW e capacidade de geração de 227,6 MW). Após todas estas modificações de configuração operativa, de níveis de carregamento e de áreas, o sistema resultante foi denominado *Brazilian Birds 2*, para diferenciar do sistema original (JUNIOR, 2016).

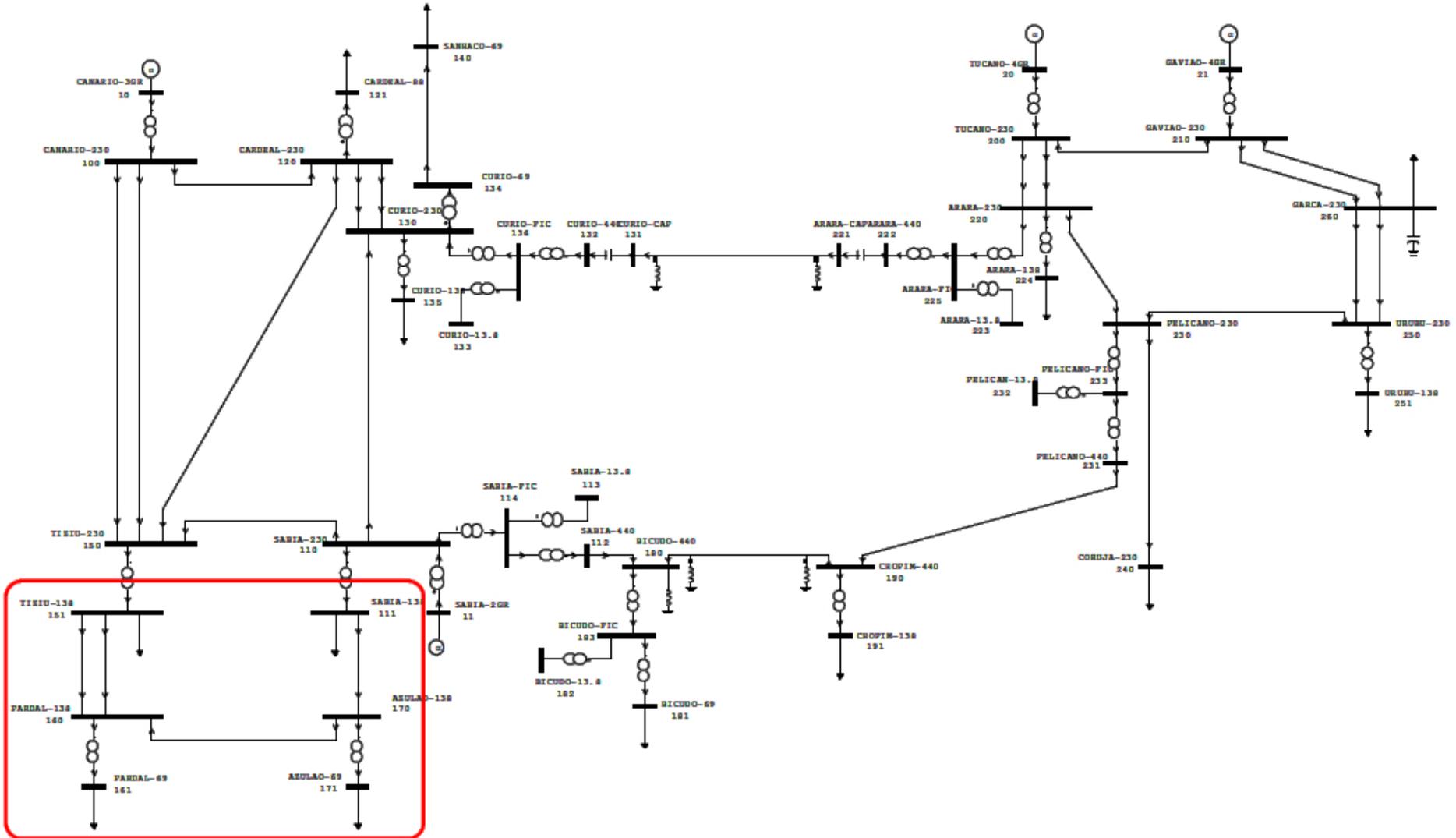


Figura 61 – Sistema *Brazilian Birds* (OLIVEIRA, 2014).

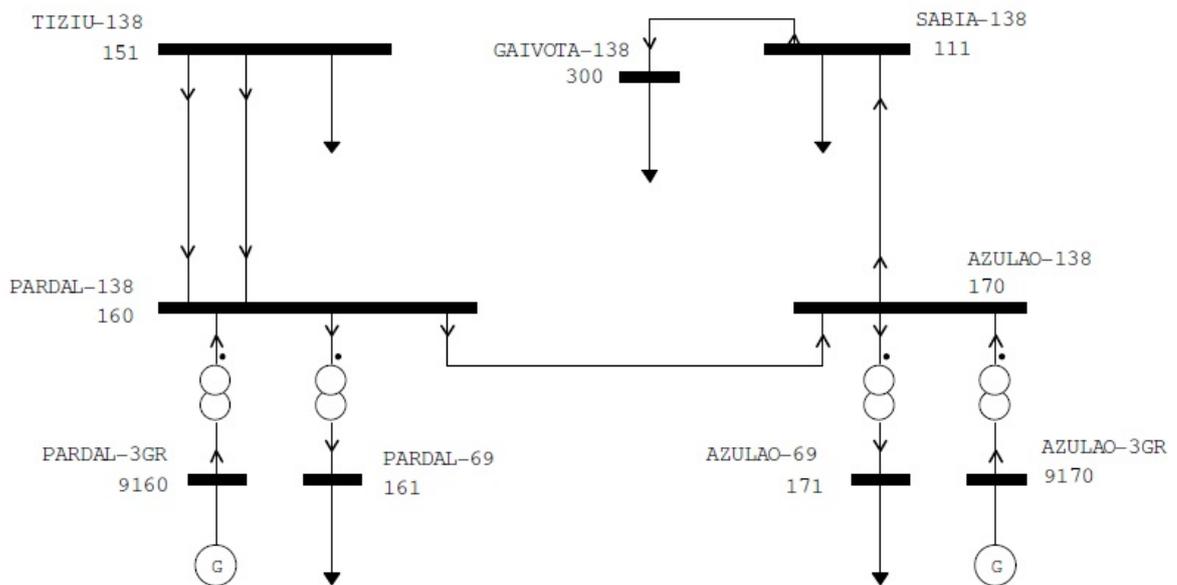


Figura 62 – Área modificada do sistema *Brazilian Birds* (OLIVEIRA, 2014).

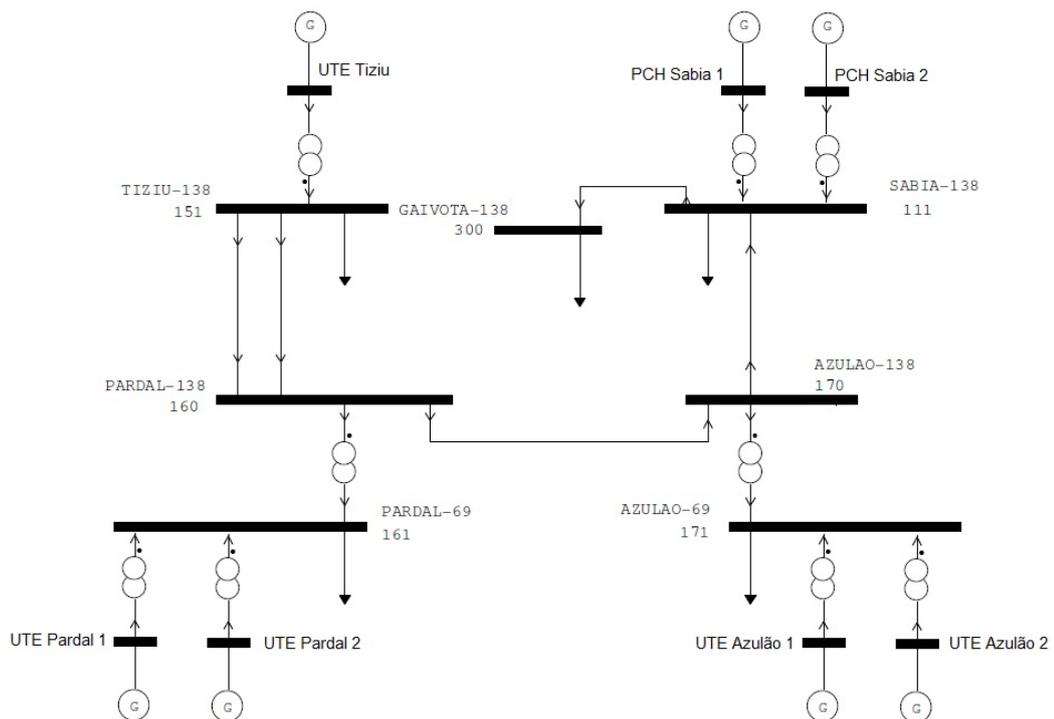


Figura 63 – Sistema *Brazilian Birds* com modificação da área da Figura 62, adaptado de (OLIVEIRA, 2014).

Os sete geradores que foram incluídos são de pequeno porte, representando gerações distribuídas, sendo estes:

- UTE Tiziu, localizada na barra 9151, tendo o mesmo modelo e capacidade de uma das máquinas da usina de Sabiá da barra 11;

- PCH's Sabiá 1 e Sabiá 2, localizadas na barra 9111 e 9112, tendo o mesmo modelo e capacidade da PCH de Picada, representada no caso base do ONS (ONS, 2016);
- UTE's Azulão 1 e 2, localizada na barra 9171 e 9172, tendo o mesmo modelo e capacidade de uma das máquinas da UTE Potiguar 1, representada no caso base do ONS (ONS, 2016);
- UTE's Pardal 1 e 2, localizada na barra 9161 e 9162, tendo o mesmo modelo e capacidade de uma das máquinas da UTE Potiguar 1, representada no caso base do ONS (ONS, 2016).

Do sistema *Brazilian Birds 2* foi gerado três casos base de estudo, o primeiro caso base é o caso com as configurações e patamares de carga citados anteriormente, representando este o patamar de carga média. Os outros dois casos base são casos percentuais do de patamar de carga média, conforme Tabela 56 sendo estes os casos de carga pesada e leve.

Os dados dos fluxos de potência de cada item para cada patamar de carga, os dados elétricos (incluindo os limites de tensão e carregamento) e dinâmicos dos equipamentos do sistema *Brazilian Birds 2* estão contidos nos Anexos F a I.

As simulações aplicadas no sistema *Brazilian Birds 2* foram divididas em três etapas, conforme mesmo procedimento do Capítulo 5. Estas três etapas estão descritas abaixo:

- Etapa 1: Sistema interligado;
- Etapa 2: Sistema interligado durante ilhamento;
- Etapa 3: Sistemas ilhados, divisão em duas áreas independentes.

Tabela 56 – Cenários de Carga Utilizados para as Simulações.

Patamares de Carga	Porcentagem de Carregamento
Carga Elevada	(120%) do Patamar de carga média
Carga Moderada	Patamar de carga média (100%)
Carga Reduzida	(80%) do Patamar de carga média

Para estas três etapas e utilizando os cenários de carga da Tabela 56, são aplicadas contingências, entre elas:

- Curto-circuito em barra com abertura de linha (*CAL*): Curto através de reatância de 0,1 pu durante 300 ms em todas as barras (menos nas barras de geração) com abertura de circuito simples na extremidade desta;
- Curto-circuito em barra (*CSB*): Curto através de reatância de 0,1 pu durante 300 ms em todas as barras (menos nas barras de geração);
- Elevação de carga (*LS*): Elevação de carga de 10% na área 3;
- Corte de carga (*LS*): Corte de carga de 30% na área 3;
- Corte de geração (*LS*): Corte de unidades geradoras da área 3;
- Ilhamento (*ILH*): Contingência de abertura dupla dos dois transformadores de 230/138 kV das subestações Sabiá e Tiziu.

A Tabela 57, mostra os tipos de contingências aplicadas, como também o mnemônico, de cada uma delas.

Tabela 57 – Tipos de Contingência e Respective Mnemônicos.

<b>Tipo</b>	<b>Mnemônico</b>
Curto-circuito <i>shunt</i> em barras	<i>CSB</i>
Curto-circuito <i>shunt</i> com abertura de linha	<i>CAL</i>
Variações de carga ou geração	<i>LS</i>
Ilhamento	<i>ILH</i>

Para cada etapa foram detalhadas as contingências, através de tabelas, mostrando os elementos que sofreram o defeito, tempo de defeito e severidade do mesmo. São detalhados também em cada etapa os grupos geradores equivalentes G1, G2 e G3. Com estas contingências e determinações dos grupos geradores equivalentes são geradas as regiões de segurança para as três etapas. As etapas de maior interesse neste estudo são as etapas 2 e 3. A etapa 1 é realizada, para que ao final da etapa 3, seja possível ver se a ilha conseguiu suportar as mesmas contingências do sistema operando de forma interligada. Os Itens 6.4, 6.5 e 6.6, tratam das etapas 1, 2 e 3, respectivamente.

## 6.4 Sistema *Brazilian Birds 2* - Sistema Interligado

Este item analisa a operação do sistema *Brazilian Birds 2* (com suas três áreas operando de forma interligada), submetendo o mesmo a várias contingências e mostrando de forma preliminar a aplicação de regiões de segurança dinâmicas. Como informado

no item anterior, esta etapa somente foi analisada para comparação com a etapa de operação totalmente ilhada. Para o uso das regiões de segurança foi preciso definir três grupos geradores, contendo todas as unidades geradoras do sistema, exceto a usina *swing* (conforme detalhado no Item 4.2 do Capítulo 4), no caso a usina Canário. A Figura 64 mostra um esquemático de como ficaram divididos os três grupos geradores contidos nas três áreas.

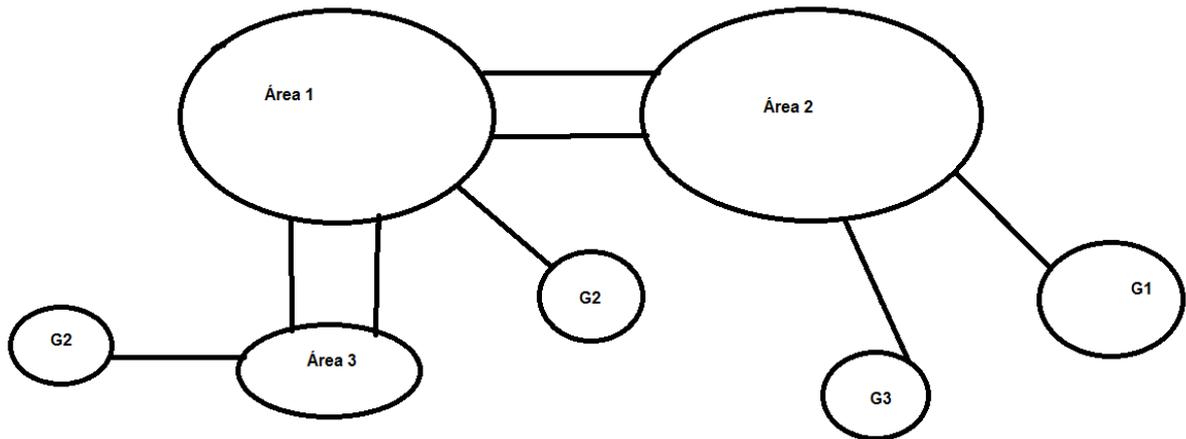


Figura 64 – Grupos geradores G1, G2 e G3 do sistema *Brazilian Birds 2*.

No grupo gerador G1 ficou a usina de Tucano, no grupo gerador G2 ficaram as usinas de Sabiá, PCH Sabiá 1, PCH Sabiá 2, UTE Pardal 1, UTE Pardal 2, UTE Azulão 1 e UTE Azulão 2 e no grupo G3 ficou a usina Gavião, sendo que a máquina de Canário ficou como *swing*. As Tabelas 58 até 61 mostram as respectivas potências ativas totais da barra *swing* e dos grupos geradores G1, G2 e G3, para cada patamar de carga.

Tabela 58 – Despachos da Barra *Swing* Canário.

<i>Swing</i>	Patamares de Carga		
Canário	Carga elevada	Carga moderada	Carga reduzida
	456,0 MW	372,7 MW	212,0 MW

A escolha dos grupos geradores foi baseada, assumindo-se que os grupos geradores estão em um mesma região, que possui as mesmas influências e fatores limitantes, se esta medida não for adotada, existirão grupos com características diferentes, não representando a realidade. Como o sistema *Brazilian Birds 2* é um sistema fictício, procurou-se grupos que possuíssem capacidade de geração igual e assim definiu-se que estes grupos estão na mesma bacia e/ou sofrem das mesmas condições climáticas e econômicas, podendo assim servir como base para aplicação em um sistema de distribuição real. A Tabela 62, mostra

Tabela 59 – Grupos Geradores - Carga Elevada.

<b>G1</b>	<b>Total</b>	<b>G2</b>	<b>Total</b>	<b>G3</b>	<b>Total</b>
	260,0 MW		382,0 MW		260,0 MW
<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>	<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>	<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>
Tucano	260,0 MW	Sabiá	200,0 MW	Gavião	260,0 MW
		UTE Tiziu	50,0 MW		
		PCHs Sábria 1 e 2	48,0 MW		
		UTES Pardal 1 e 2	40,0 MW		
		UTES Azulão 1 e 2	44,0 MW		

Tabela 60 – Grupos Geradores - Carga Moderada.

<b>G1</b>	<b>Total</b>	<b>G2</b>	<b>Total</b>	<b>G3</b>	<b>Total</b>
	200,0 MW		358,0 MW		200,0 MW
<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>	<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>	<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>
Tucano	200,0 MW	Sabiá	200,0 MW	Gavião	200,0 MW
		UTE Tiziu	50,0 MW		
		PCHs Sábria 1 e 2	36,0 MW		
		UTES Pardal 1 e 2	36,0 MW		
		UTES Azulão 1 e 2	36,0 MW		

Tabela 61 – Grupos Geradores - Carga Reduzida.

<b>G1</b>	<b>Total</b>	<b>G2</b>	<b>Total</b>	<b>G3</b>	<b>Total</b>
	160,0 MW		358,0 MW		160,0 MW
<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>	<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>	<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>
Tucano	160,0 MW	Sabiá	200,0 MW	Gavião	160,0 MW
		UTE Tiziu	50,0 MW		
		PCHs Sábria 1 e 2	36,0 MW		
		UTES Pardal 1 e 2	36,0 MW		
		UTES Azulão 1 e 2	36,0 MW		

os montantes de carga e geração da área 3 do sistema, como também os fluxos nos dois transformadores de interligação entre a área 1 e 3, para todos os patamares de carga.

Nesta primeira etapa de simulações foram usadas as contingências das Tabelas 63 a 65.

As contingências da Tabela 63 foram aplicadas para todos os patamares de carga, através de uma reatância de curto de 0,1 pu, com início em 0,2 segundos e remoção do curto (abertura do circuito (Nc) que sofreu o curto) no instante 0,5 segundos, tendo um total de duração de 0,3 segundos. As contingências da Tabela 64 estão ligadas a cortes de unidades geradoras das usinas da área 3 no instante de tempo de 0,5 segundos, como também corte de carga (*load shedding*) e acréscimo de carga (*load restoration*) na área 3 em porcentagem do montante total de carga desta área, também no instante de tempo 0,5 segundos. A última tabela, ou seja, Tabela 65 mostra as contingências de curto-circuito em barras, sob as mesmas condições de severidade e tempo das contingências da Tabela 63. Para estes conjuntos de contingências, foram gerados os respectivos nomogramas com as regiões de segurança dinâmicas. Para facilitar a análise destes nomogramas, os mesmos foram separados pelo par ordenado de cada grupo, a saber, G1xG2, G1xG3 e G2xG3. Como limites de tensão e carregamento em MVA foram utilizados os valores do Anexo F. Os dados para o fluxos de potência para todos os patamares de carga se encontram nos Anexos G e H, já os dados dos reguladores de tensão, dos estabilizadores de potência (Power System Stabilizer – PSS) e velocidade das máquinas do sistema encontram-se no Anexo I. Nesta primeira etapa de simulações foram usadas as contingências das Tabelas 64 a 65. Para facilitar as análises realizadas tanto para o sistema operando de forma interligada, durante o ilhamento e ilhado, os resultados das simulações foram separados em subitem, um para cada patamar de carga e ao final destes, criou-se um subitem comparativo de todos os patamares de carga, mostrando desta forma, para estes, suas diferenças ou semelhanças.

Tabela 62 – Carregamentos e Fluxo do Sistema *Brazilian Birds 2*.

<b>Área 3</b>		
<b>Carga Elevada</b>	<b>Carga Moderada</b>	<b>Carga Reduzida</b>
<b>Carga Área 3</b>	<b>Carga Área 3</b>	<b>Carga Área 3</b>
201,6 MW	168,0 MW	134,4 MW
<b>Geração Área 3</b>	<b>Geração Área 3</b>	<b>Geração Área 3</b>
182,0 MW	158,0 MW	158,0 MW
<b>Fluxo Área 1-3</b>	<b>Fluxo Área 1-3</b>	<b>Fluxo Área 1-3</b>
- 22,6 MW	- 12,2 MW	22,6 MW

Tabela 63 – Curtos-Circuitos *Shunt*, com Abertura Das Linhas - *CAL*.

Contingência	Barra De	Barra Para	Nc	Início	Fim	Duração
'SABIA-138-AZULAO-138#1'	111	170	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
'TIZIU-138-PARDAL-138#1'	151	160	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
'TIZIU-138-PARDAL-138#2'	151	160	2	0,2 s	0,5 s	0,3 s
'PARDAL-138-AZULAO-138#1'	160	170	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
'PARDAL-138-PARDAL-69#1'	160	161	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
'AZULAO-138-AZULAO-69#1'	170	171	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
'SABIA-138-GAIVOTA-138#1'	111	300	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
UTE TIZIU-1GR-TIZIU-138#1'	9150	151	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
PCH SABIA 1-G1R-SABIA-138#1'	9111	111	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
PCH SABia 2-G2R-SABIA-138#1'	9112	111	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
PARDAL-69-#1-UTE PARDAL#1'	161	9161	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
-PARDAL-69#1UTE PARDAL#2'	9162	161	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
UTE AZULAO 1-AZULAO-69#1'	9171	171	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s
UTE AZULAO 2-AZULAO-69#1'	9172	171	1	0,2 s	0,5 s	0,3 s

Tabela 64 – Contingências de Variações de Carga e Geração - *LS*.

Contingência	Barra	Unidades Cortadas
<i>Gen Shedding 1</i>	UTE Tiziu	1
<i>Gen Shedding 2</i>	PCH Sabiá 1	1
<i>Gen Shedding 3</i>	PCH Sabiá 2	1
<i>Gen Shedding 4</i>	UTE Pardal 1	1
<i>Gen Shedding 5</i>	UTE Pardal 2	1
<i>Gen Shedding 7</i>	UTE Azulão 2	1
<i>Gen Shedding 6</i>	UTE Azulão 1	1
Contingência	Variação de Carga	Área
<i>Load shedding</i>	- 30%	3
<i>Load restoration</i>	+ 10%	3

Tabela 65 – Curtos-Circuitos *Shunt* em Barras - *CBS*.

Contingência	Barra	Início	Fim	Duração
"TIZIU-230"	150	0,3 s	0,6 s	0,3 s
"SABIA-230"	110	0,3 s	0,6 s	0,3 s
"SABIA-138"	111	0,3 s	0,6 s	0,3 s
"TIZIU-138"	151	0,3 s	0,6 s	0,3 s
"PARDAL-138"	160	0,3 s	0,6 s	0,3 s
"PARDAL-69"	161	0,3 s	0,6 s	0,3 s
"AZULAO-138"	170	0,3 s	0,6 s	0,3 s
"AZULAO-69"	171	0,3 s	0,6 s	0,3 s
"GAIVOTA-13"	300	0,3 s	0,6 s	0,3 s

#### 6.4.1 Resultados - Sistema *Brazilian Birds 2* - Sistema Interligado - Carga Elevada

O primeiro patamar de carga analisado foi o de carga elevada, para este patamar de carga foram aplicadas as contingências já citadas no item anterior e os resultados obtidos são representados através dos nomogramas das Figuras 65 a 67.

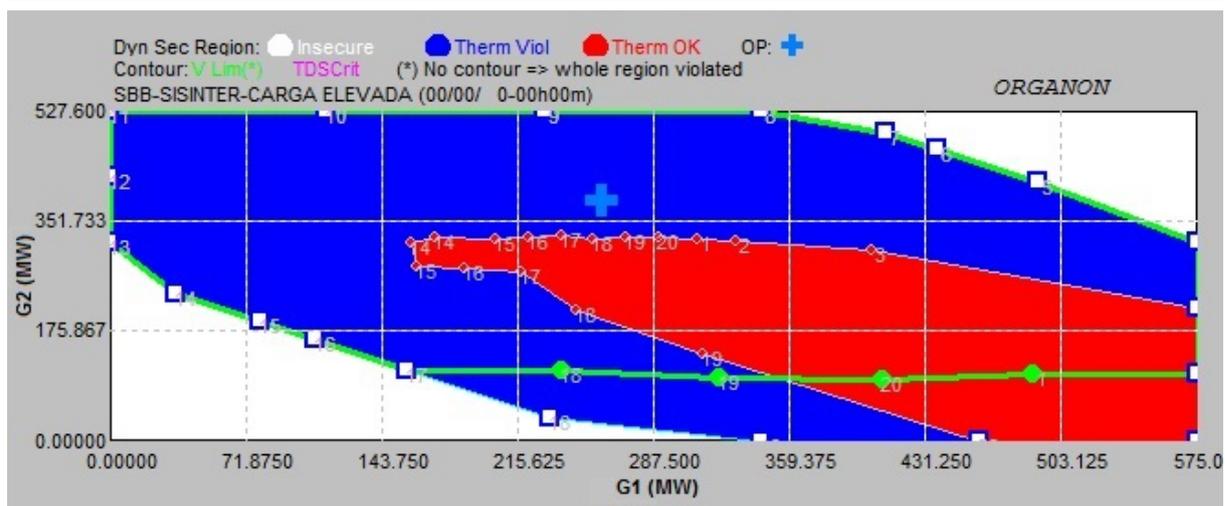


Figura 65 – Nomograma G1xG2 - sistema interligado - carga elevada.

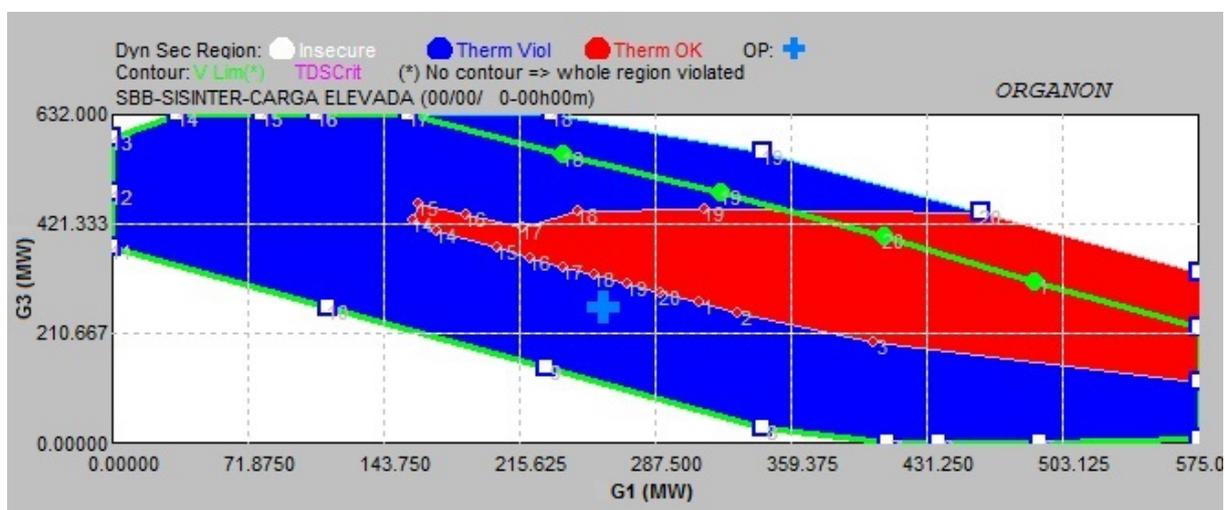


Figura 66 – Nomograma G1xG3 - sistema interligado - carga elevada.

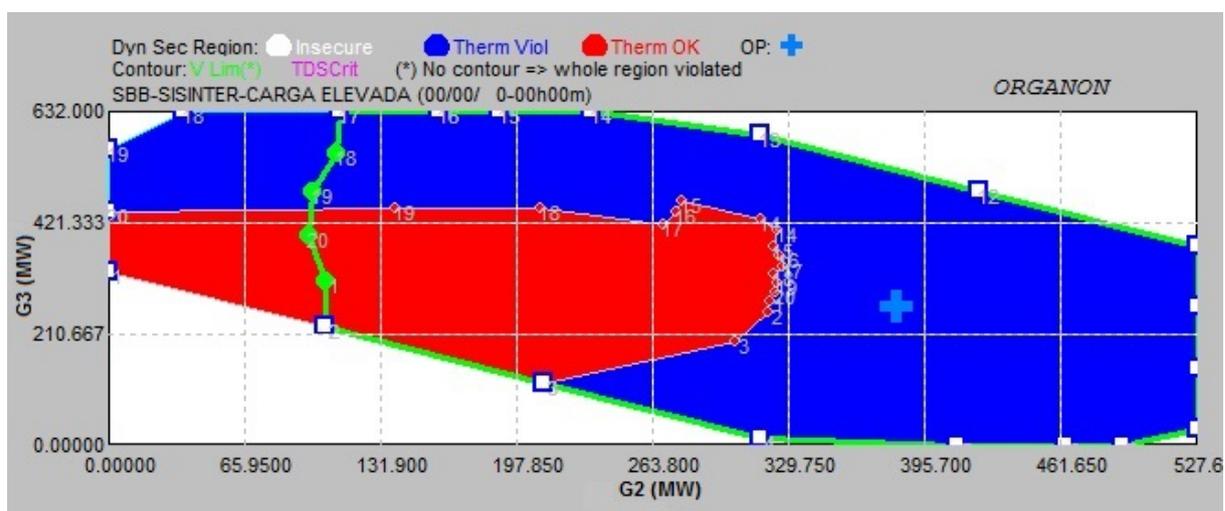


Figura 67 – Nomograma G2xG3 - sistema interligado - carga elevada.

A mesma metodologia que foi aplicada no sistema equivalente Sul-Sudeste de 65 barras foi aplicada para o sistema *Brazilian Birds 2*, ou seja, foram determinadas as regiões de segurança dinâmicas conforme metodologia proposta no Capítulo 1. Para o patamar de carga elevada foi observado que para as contingências aplicadas o ponto operativo se encontra dentro da região estável e de não violação do limites de tensão, mas em relação a região de não violação dos limites térmicos este ponto operativo esta localizado fora desta. Esta operação fora dos limites de carregamentos admissíveis pode ser mitigada com o deslocamento do ponto operativo, ou seja, mudanças nas gerações dos três grupos de geradores equivalentes da região, assim, atendendo a todos os critérios pré-definidos.

Analizando as Figuras 65 a 67 foi possível estabelecer também, limites de gerações para os três grupos, os quais garantem que para todas estas contingências os pontos operativos estarão dentro dos limites de não violação de estabilidade, tensão e de limites térmicos de equipamentos. A Tabela 66 mostra estes limites de geração. Conforme citado, se o ponto operativo do sistema for deslocado para os limites da Tabela 66, não haverá mais violação de nenhum dos três critérios de qualidade de fornecimento de energia.

Tabela 66 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
456,0 MW
<b>Grupo G1</b>
$360,0 \text{ MW} < G1 < 480,0 \text{ MW}$
<b>Grupo G2</b>
$210,0 \text{ MW} < G2 < 315,0 \text{ MW}$
<b>Grupo G3</b>
$210,0 \text{ MW} < G3 < 260,0 \text{ MW}$

#### 6.4.2 Resultados - Sistema *Brazilian Birds 2* - Sistema Interligado - Carga Moderada

A mesma metodologia de aplicação de contingências foi realizada para o patamar de carga moderada e os resultados estão representados nas Figuras 68 a 70.

Para este cenário de carga, o sistema se mostrou dentro de todos os limites operativos, não violando nenhuma das regiões. O ponto operativo pode ser deslocado por praticamente toda a área e mesmo assim não ocorrerão violações, fato este, que mostra que o desempenho deste sistema, para este patamar de carga é alto, possuindo o mesmo, uma alta margem operativa para controle de seus limites.

Através das Figuras 68 a 70 foram estabelecidos conforme metodologia proposta, os limites de geração, que garantem que para todas estas contingências os pontos operativos estarão dentro dos limites de não violação de estabilidade, tensão e de limites térmicos de

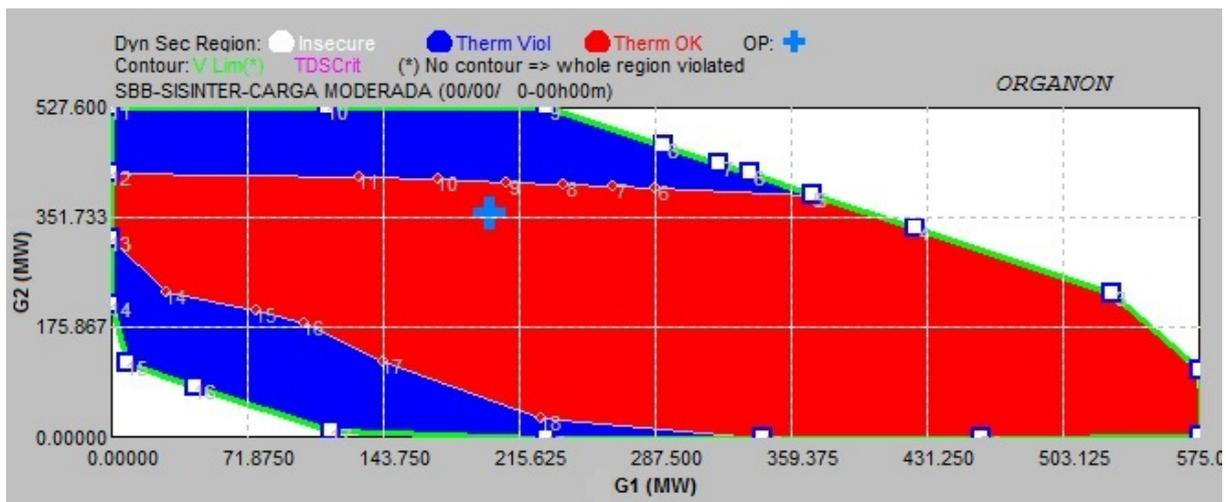


Figura 68 – Nomograma G1xG2 - sistema interligado - carga moderada.

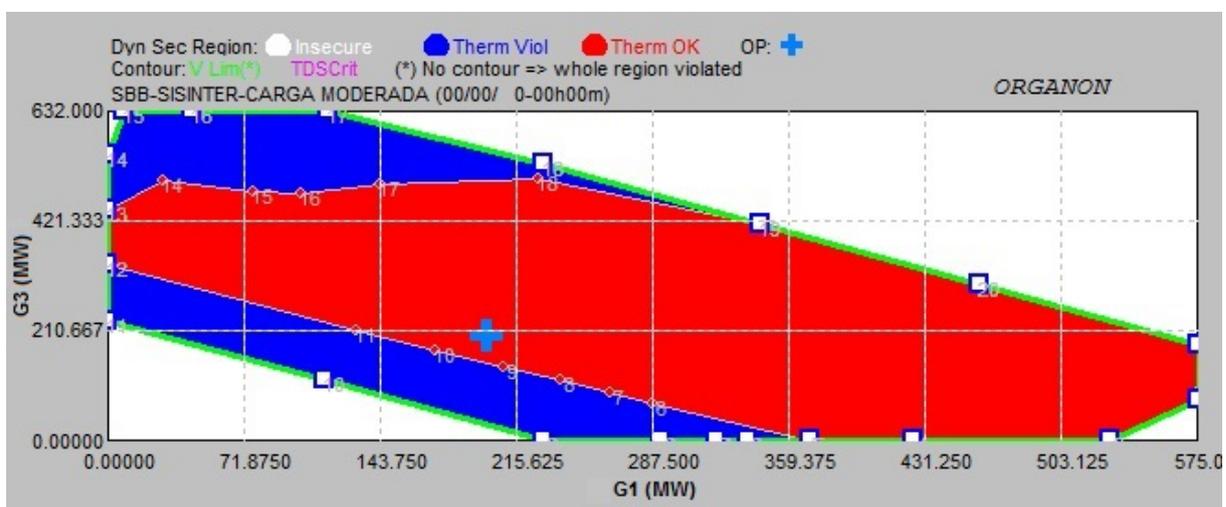


Figura 69 – Nomograma G1xG3 - sistema interligado - carga moderada.

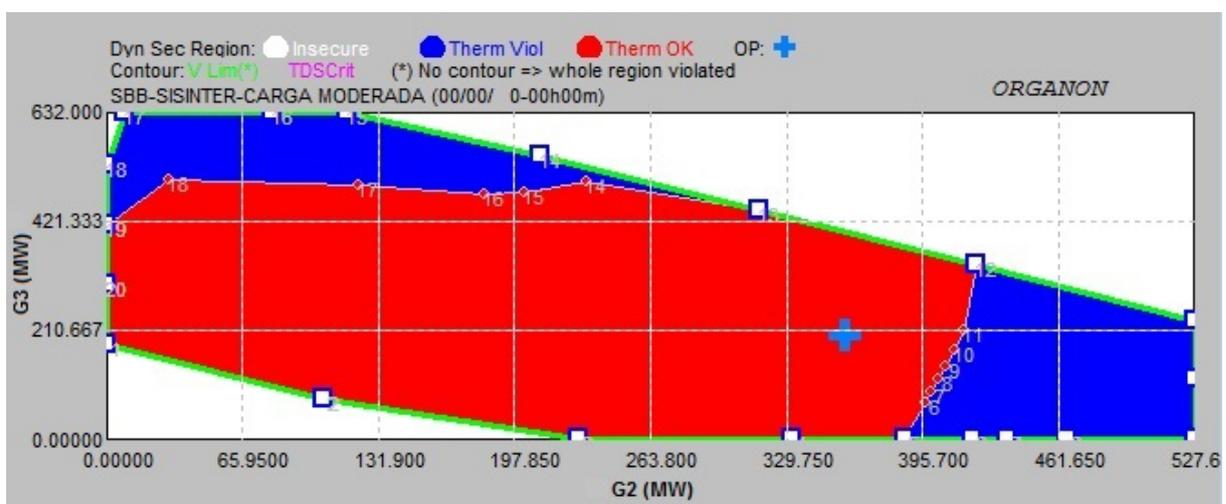


Figura 70 – Nomograma G2xG3 - sistema interligado - carga moderada.

equipamentos. Estes limites são simplesmente orientativos, sendo que outros podem ser determinados e estipulados. A Tabela 67 mostra os referidos limites.

Tabela 67 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
372,7 MW
<b>Grupo G1</b>
145,0 MW < G1 < 420,0 MW
<b>Grupo G2</b>
175,0 MW < G2 < 340,0 MW
<b>Grupo G3</b>
215,0 MW < G3 < 315,0 MW

### 6.4.3 Resultados - Sistema *Brazilian Birds 2* - Sistema Interligado - Carga Reduzida

Por fim, para o patamar de carga reduzida, foi realizada a mesma análise anterior, resultando nos nomogramas das Figuras 71 a 73. Como pode ser visto, este patamar de carga suportou todas as contingências, se mantendo dentro das regiões de não violação dos limites operativos. Se for preciso aumentar a margem até as fronteiras de segurança, pode-se mudar o ponto operativo com facilidade, atingindo este requerimento.

Como foi realizado para os patamares de carga anteriores, pelas Figuras 71 a 73 foi possível estabelecer um dos conjuntos possíveis de limites de geração, onde não existem violações dos critérios operativos para as contingências aplicadas. A Tabela 68 mostra os limites citados.

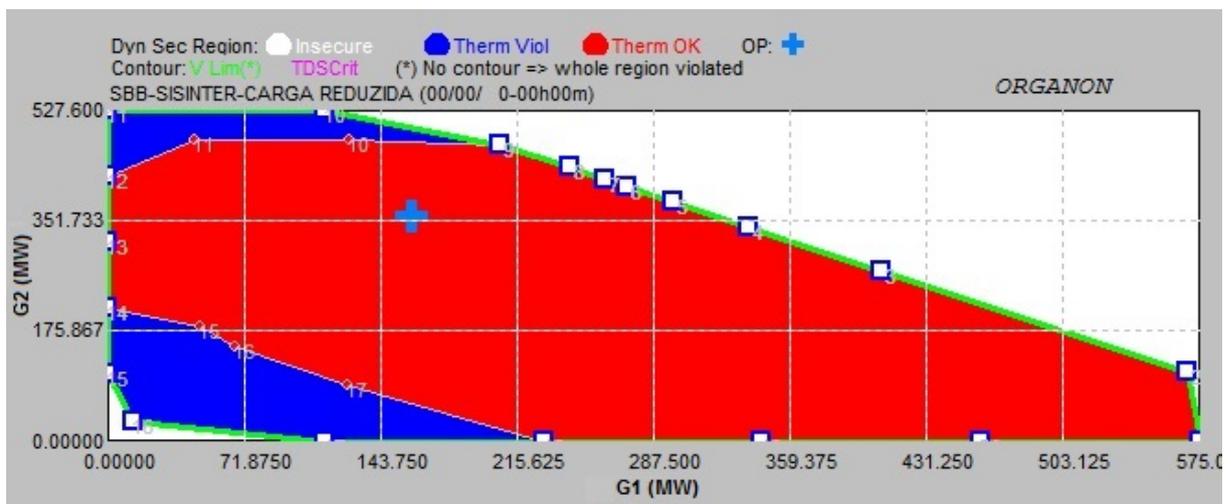


Figura 71 – Nomograma G1xG2 - sistema interligado - carga reduzida.

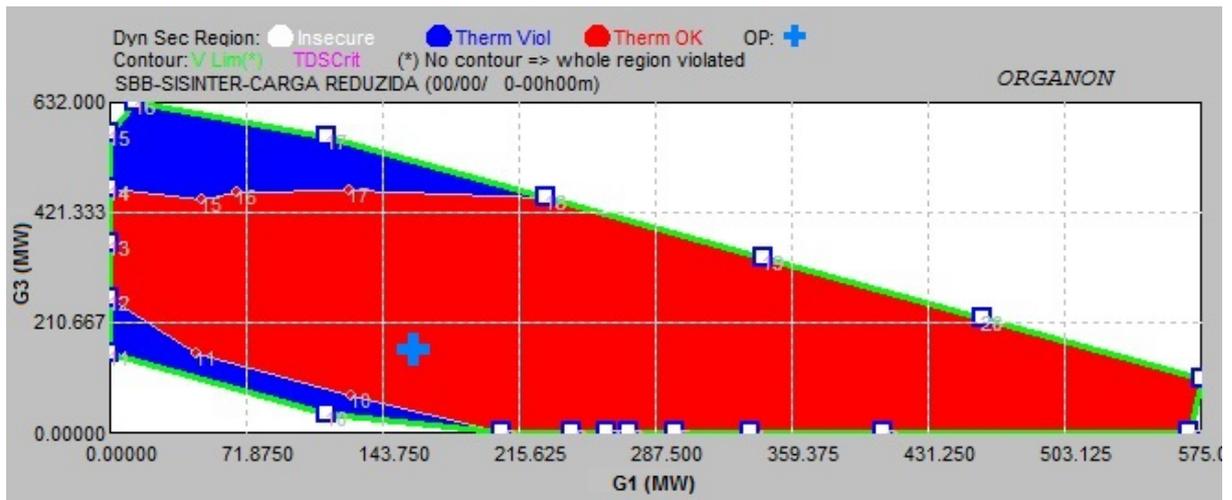


Figura 72 – Nomograma G1xG3 - sistema interligado - carga reduzida.

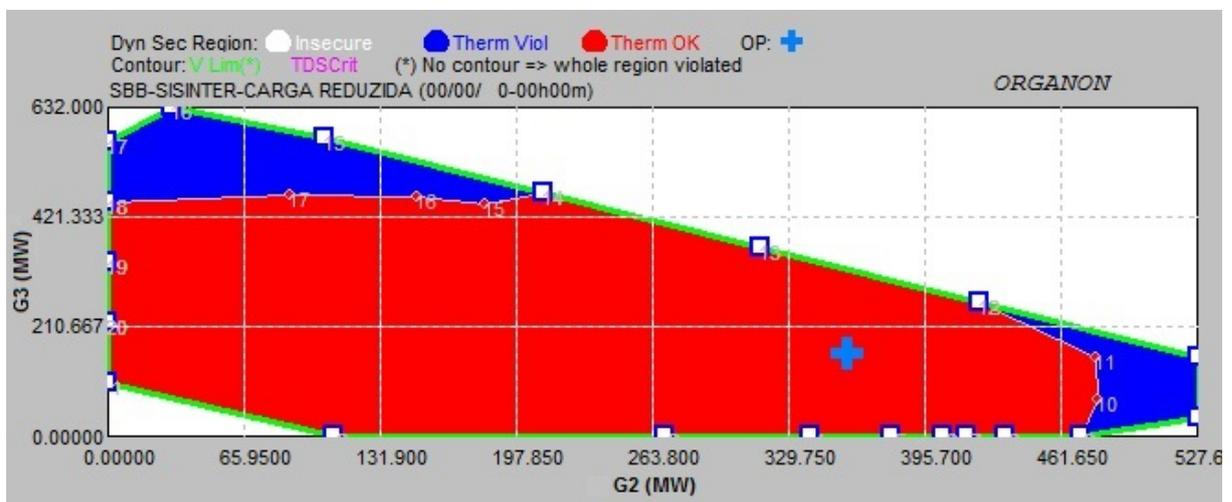


Figura 73 – Nomograma G2xG3 - sistema interligado - carga reduzida.

Tabela 68 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b>Swing</b>
212,0 MW
<b>Grupo G1</b>
$215,0 \text{ MW} < G1 < 320,0 \text{ MW}$
<b>Grupo G2</b>
$175,0 \text{ MW} < G2 < 325,0 \text{ MW}$
<b>Grupo G3</b>
$210,0 \text{ MW} < G3 < 315,0 \text{ MW}$

#### 6.4.4 Comparativo dos Resultados - *Sistema Brazilian Birds 2* - Sistema Interligado

Este item comparou os resultados dos nomogramas dos subitens 6.4.1 a 6.4.3, através de uma tabela, a qual através de uma comparação visual indica para quais patamares

de carga ocorreram as maiores e menores áreas/contornos, tanto para tensão, como para carregamento e estabilidade do sistema. Os patamares de carga foram representados pelos seguintes mnemônicos:

- Carga elevada: CE;
- Carga moderada: CM;
- Carga reduzida: CR.

A Tabela 69 mostra um comparativo entre todos os patamares de carga, indicando de forma visual quais são os patamares de carga com as maiores e menores áreas/contornos de tensão, carregamento e estabilidade. Da Tabela 69 foi possível observar que o maior contorno de tensão está relacionado ao patamar de carga moderada, para este mesmo patamar de carga, temos também a maior área de não violação dos limites térmicos dos equipamentos. O patamar de carga elevada é o que possui a maior área de operação estável para o sistema, mas em contrapartida é o que possui as menores regiões de operação dentro dos limites de tensão e de limites térmicos dos equipamentos. Já para o patamar de carga reduzida temos a menor região de operação estável.

Tabela 69 – Comparação das Simulações do Sistema Interligado.

<b>Maiores Contornos / Áreas</b>		
<b>Tensão</b>	<b>Estabilidade</b>	<b>Carregamento</b>
CM	CE	CM
<b>Menores Contornos / Áreas</b>		
<b>Tensão</b>	<b>Estabilidade</b>	<b>Carregamento</b>
CE	CR	CE

A Tabela 70 é uma tabela resumo que mostra os limites de geração associados para cada patamar de carga do sistema, para que não ocorram violações dos limites de estabilidade, tensão e carregamento. Para estes três patamares de cargas e contingências, as simulações realizadas mostraram que o sistema consegue suportar todas as contingências que foram aplicadas, mantendo seu ponto operativo dentro das três regiões de operação de não violação dos limites operativos, somente para os patamares de carga média e reduzida, para que estes critérios sejam também alcançados pelo patamar de carga elevada é necessário um deslocamento do ponto operativo do mesmo, podendo ser utilizados para isso os limites da Tabela 70.

Tabela 70 – Comparativo dos Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b>Carga Elevada</b>	
<b>Swing</b>	
456,0 MW	
<b>Grupo G1</b>	
360,0 MW < G1 < 480,0 MW	
<b>Grupo G2</b>	
210,0 MW < G2 < 315,0 MW	
<b>Grupo G3</b>	
210,0 MW < G3 < 260,0 MW	
<b>Carga Moderada</b>	<b>Carga Reduzida</b>
<b>Swing</b>	<b>Swing</b>
372,7 MW	212,0 MW
<b>Grupo G1</b>	<b>Grupo G1</b>
145,0 MW < G1 < 420,0 MW	215,0 MW < G1 < 320,0 MW
<b>Grupo G2</b>	<b>Grupo G2</b>
175,0 MW < G2 < 340,0 MW	175,0 MW < G2 < 325,0 MW
<b>Grupo G3</b>	<b>Grupo G3</b>
215,0 MW < G3 < 315,0 MW	210,0 MW < G3 < 315,0 MW

## 6.5 Sistema *Brazilian Birds 2* - Durante Ilhamento

No item anterior foi analisado o sistema *Brazilian Birds 2* operando de forma interligada, já para este item foi estudado o comportamento do sistema frente a contingências que provocaram o ilhamento entre a área 1 e 3 deste. A metodologia de análise proposta no Capítulo 1 foi empregada neste item, para mapear os pontos operativos que fornecem ao sistema, confiabilidade durante o ilhamento.

Para o mesmo sistema do item anterior foi aplicada a segunda etapa de simulações. Para tanto, foi selecionada uma contingência que levou o sistema a passar por transitórios eletromecânicos, decorrente de ilhamento intencional, através da abertura dupla dos transformadores de 230/138 kV das subestações Sabiá e Tiziu, conforme pode ser visto na Tabela 71. Os limites de tensão, carregamentos dos equipamentos e patamares de carga foram mantidos os mesmos do sistema operando de forma interligada, estando estes contidos no Anexo F.

Tabela 71 – Contingências de Ilhamento.

Contingência	Abertura	Circuitos
Ilha 0	150 - 151	1
Ilha 0	110 - 111	1

A Figura 74 representa o esquemático de como ficou o sistema, com a aplicação da contingência da Tabela 71. Como observado ocorreu à abertura dos transformadores de 230/138 kV de Tiziu e Sabiá, ilhando a área 3, das áreas 1 e 2.

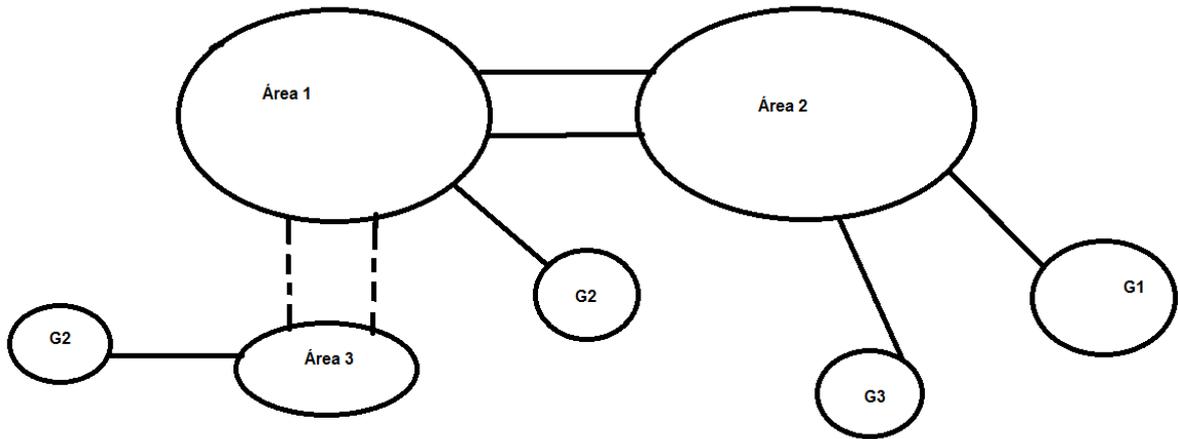


Figura 74 – Abertura da interligação entre a área 3 e área 1.

Conforme observado na Figura 74, os grupos geradores G1, G2 e G3 permanecem os mesmos, como também seus despachos iniciais para cada patamar de carga, conformes Tabelas 58 a 61, como também os carregamentos por áreas e os intercâmbios entre a interligação da área 1 e área 3 da Tabela 62, sendo estas localizadas no Item 6.4. Os resultados das simulações estão contidos nas Figuras 75 a 83.

Conforme citado no Capítulo 1 e aplicado no Capítulo 5, os próximos subitens aplicam a primeira etapa de uma nova metodologia proposta para estudos de viabilidade de ilhamentos, ou seja, utilizar regiões de segurança dinâmicas, para definir os limites de geração das usinas dos sistema, para que os mesmos possam ser realizados com sucesso. Esta análise foi feita para o ilhamento entre as áreas 1 e 3 do sistema *Brazilian Birds 2*, para os três patamares de interesse.

### 6.5.1 Resultados - Sistema *Brazilian Birds 2* - Sistema Durante Ilhamento - Carga Elevada

Para o sistema *Brazilian Birds 2* também foram realizadas as simulações de contingência de ilhamento, o primeiro patamar de carga simulado foi o de carga elevada e os resultados podem ser visualizados nas Figuras 75 a 77.

Para estas figuras foi observado que o ponto operativo do sistema atendeu aos três critérios operativos definidos, mas um grande ponto de atenção para este patamar de carga fica em relação a região de não violação dos limites térmicos dos equipamentos do sistema, a qual, é muito reduzida e, assim, é necessário atenção especial para que o ponto operativo não sai desta região no atendimento à carga durante um ilhamento.

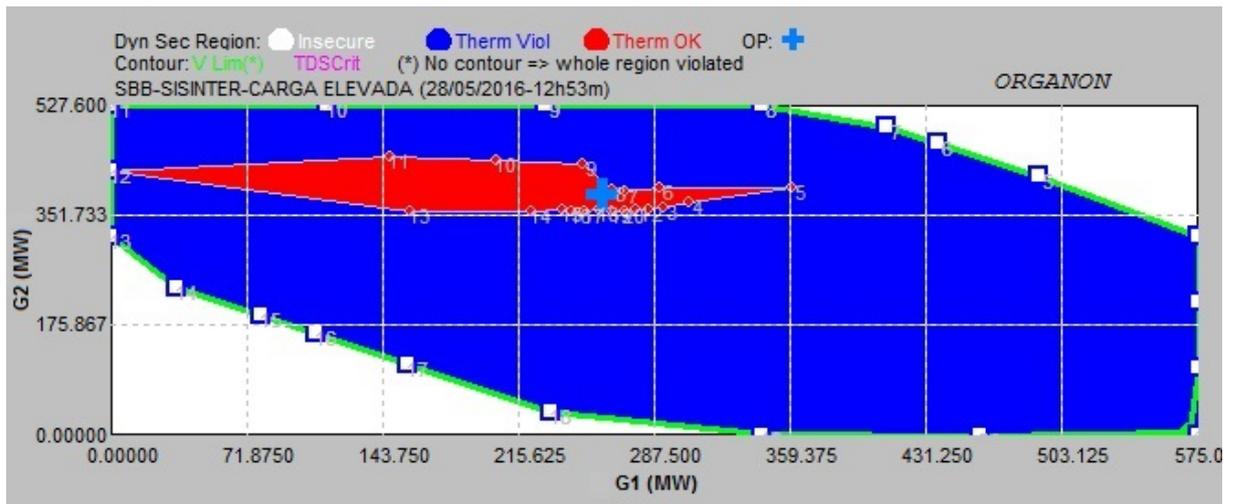


Figura 75 – Nomograma G1xG2 - sistema durante ilhamento - carga elevada.

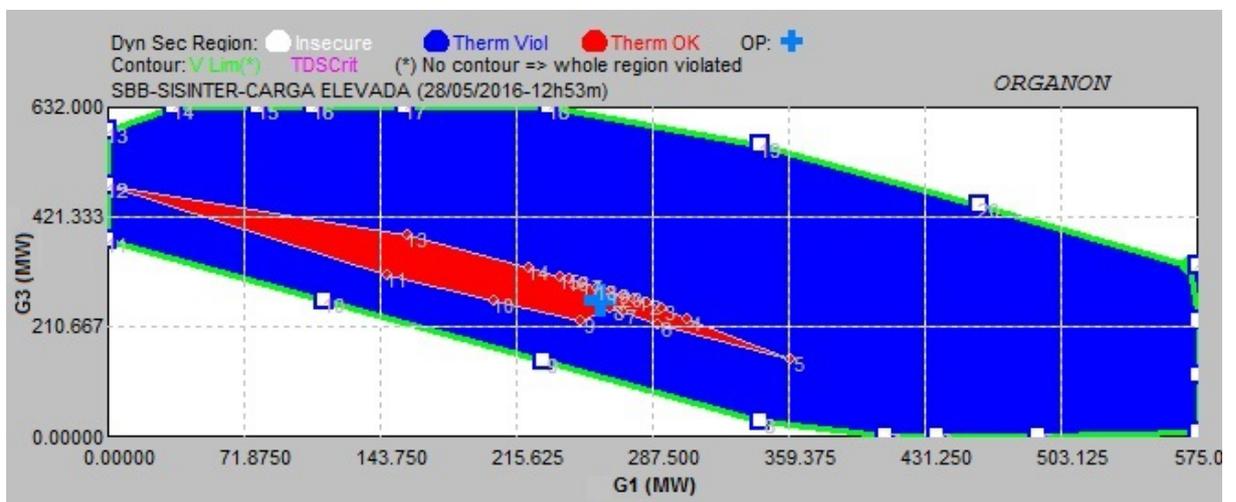


Figura 76 – Nomograma G1xG3 - sistema durante ilhamento - carga elevada.

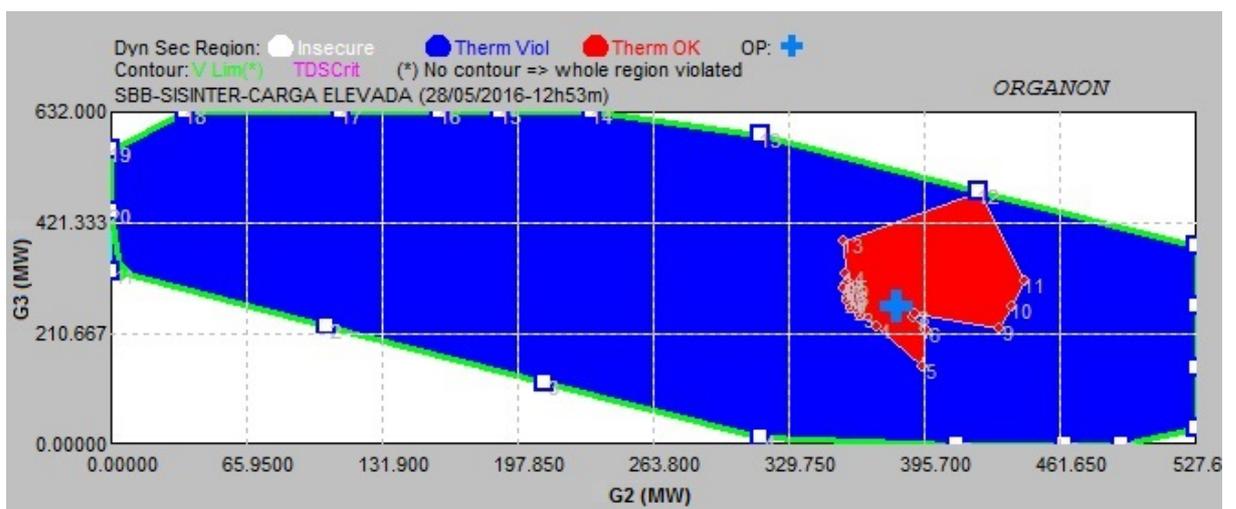


Figura 77 – Nomograma G2xG3 - sistema durante ilhamento - carga elevada.

Analisando as Figuras 75 a 77 e conforme já realizado nos subitens anteriores foram definidos limites de geração para os três grupos equivalentes. Várias ternas de limites podem ser obtidas e definidas nesta análise, sendo definido neste subitem somente uma delas. A Tabela 72 mostra estes limites de geração que aumentam a confiabilidade sistêmica.

Tabela 72 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
456,0 MW
<b>Grupo G1</b>
215,0 MW < G1 < 230,0 MW
<b>Grupo G2</b>
355,0 MW < G2 < 435,0 MW
<b>Grupo G3</b>
260,0 MW < G3 < 315,0 MW

### 6.5.2 Resultados - Sistema *Brazilian Birds 2* - Sistema Durante Ilhamento - Carga Moderada

O patamar de carga moderada foi simulado e seus resultados estão descritos nas Figuras 78 a 80, mostrando que para este patamar de carga o ponto operativo esta dentro de todos os limites e em relação ao patamar de carga elevada, houve um aumento da região de não violação dos limites térmicos. A margem de estabilidade é elevada e o ponto operativo tem uma ampla região para se movimentar e mesmo assim atender a carga com os critérios necessários de qualidade.

Analisando as Figuras 78 a 80 foi possível estabelecer os limites de gerações para os três grupos, os quais garantem que para a contingência de ilhamento, os pontos operativos estarão dentro dos limites de não violação de estabilidade, tensão e de limites térmicos de equipamentos. Estes limites são simplesmente orientativos, sendo que outros podem ser determinados e estipulados. A Tabela 73 mostra os limites citados.

Tabela 73 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
372,7 MW
<b>Grupo G1</b>
145,0 MW < G1 < 359,0 MW
<b>Grupo G2</b>
175,0 MW < G2 < 350,0 MW
<b>Grupo G3</b>
211,0 MW < G3 < 420,0 MW

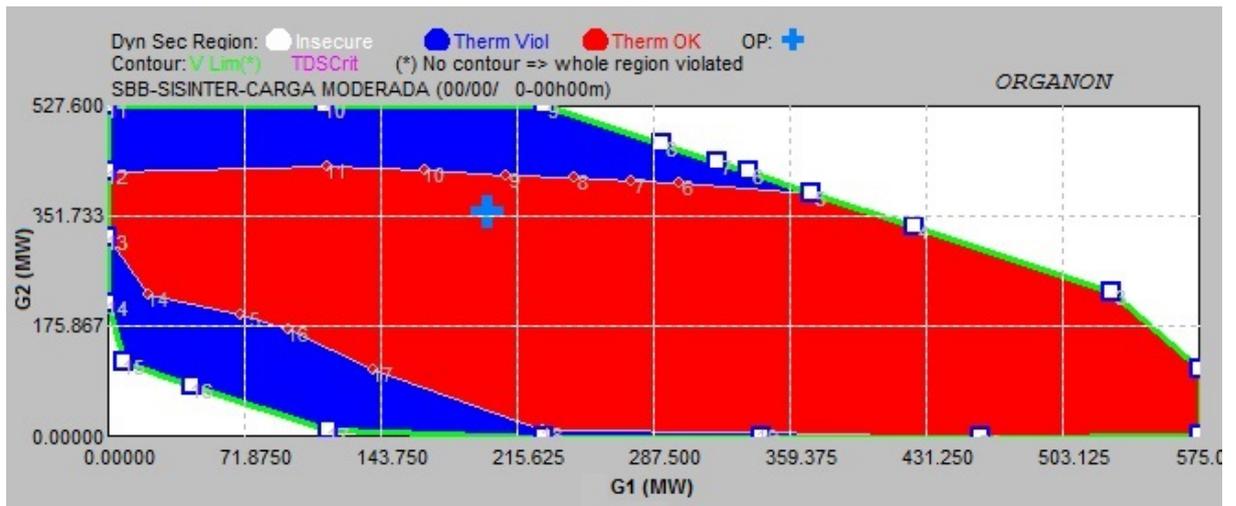


Figura 78 – Nomograma G1xG2 - sistema durante ilhamento - carga moderada.

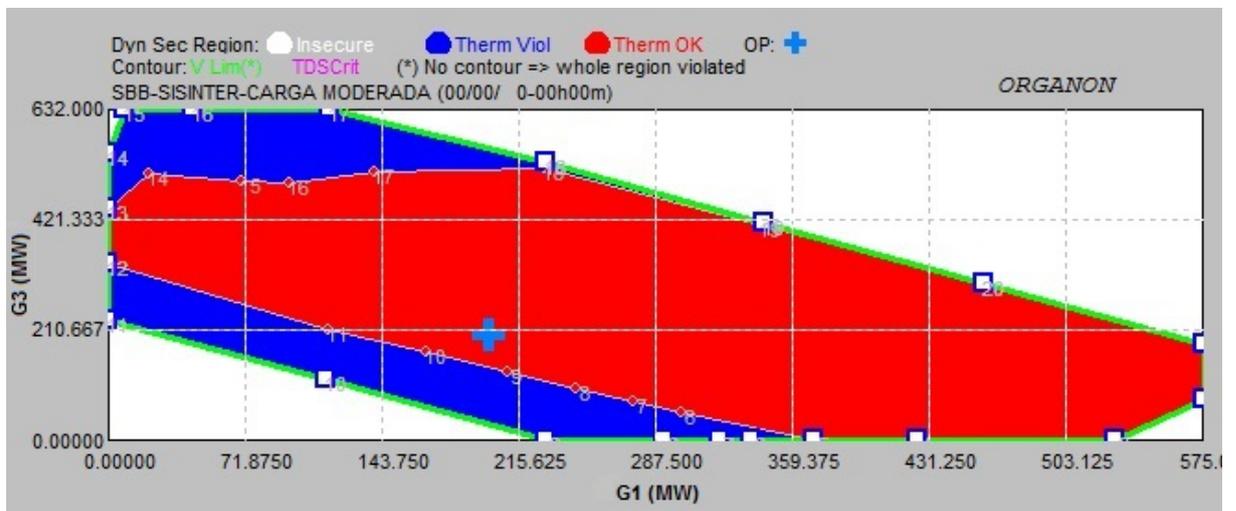


Figura 79 – Nomograma G1xG3 - sistema durante ilhamento - carga moderada.

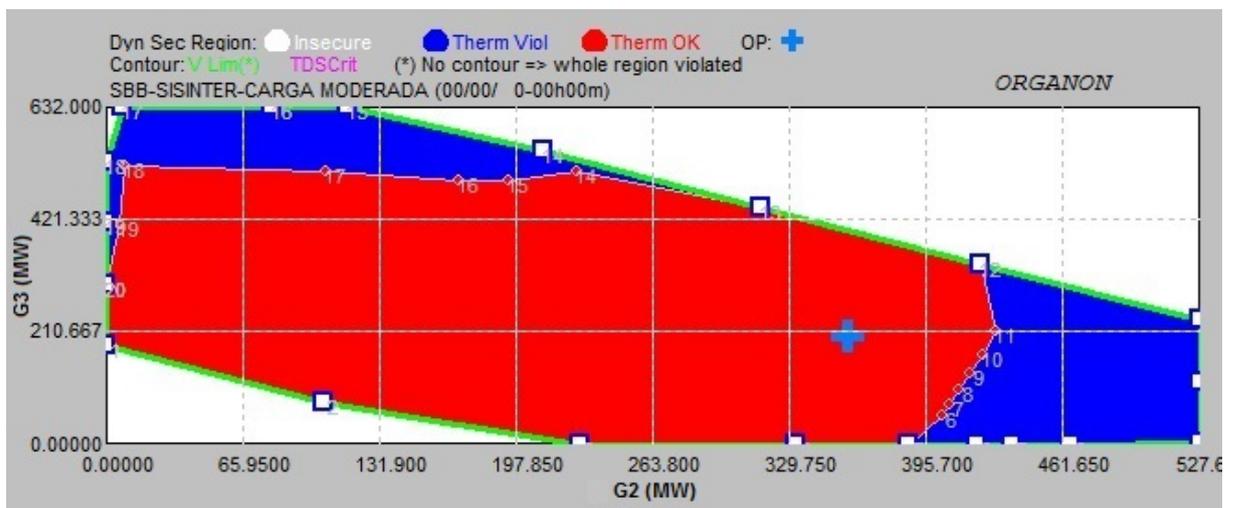


Figura 80 – Nomograma G2xG3 - sistema durante ilhamento - carga moderada.

### 6.5.3 Resultados - Sistema Brazilian Birds 2 - Sistema Durante Ilhamento - Carga Reduzida

O último patamar de carga analisado foi o patamar de carga reduzida, conforme Figuras 81 a 83. Para este patamar o desempenho do sistema foi satisfatório, pois, o ponto operativo ficou dentro de todas as regiões de não violação dos limites operativos e com uma grande margem de estabilidade. Da mesma forma como para o sistema equivalente Sul-Sudeste, o sistema *Brazilian Birds 2* não teve dificuldades em manter seu ponto operativo dentro das regiões de segurança dinâmicas, para as contingências de ilhamentos, e sem a necessidade de grandes mudanças em seus pontos operativos originais. Para uma análise mais detalhada da viabilidade desses ilhamentos é necessário também uma análise dinâmica para determinação do valor de frequência em regime transitório e permanente do sistema, analisando se o mesmo será submetido a uma sub/sobrefrequência. Se após a segunda etapa de análises (análise dinâmica) a frequência sistêmica estiver dentro dos critérios exigidos, o ilhamento poderá ser considerado realmente viável, se a frequência não ficar dentro dos limites é necessário aplicar medidas de controle e realizar a etapa novamente até que seja possível definir a viabilidade ou não do ilhamento.

Analisando as Figuras 81 a 83 foi possível estabelecer também, limites de gerações para os três grupos, os quais garantem que para todas estas contingências os pontos operativos estarão dentro dos limites de não violação de estabilidade, tensão e de limites térmicos de equipamentos. Estes limites são simplesmente orientativos, sendo que outros podem ser determinados e estipulados. A Tabela 74 mostra os limites de geração estabelecidos para que não ocorram violações dos limites operativos do sistema, para os três grupos de interesse.

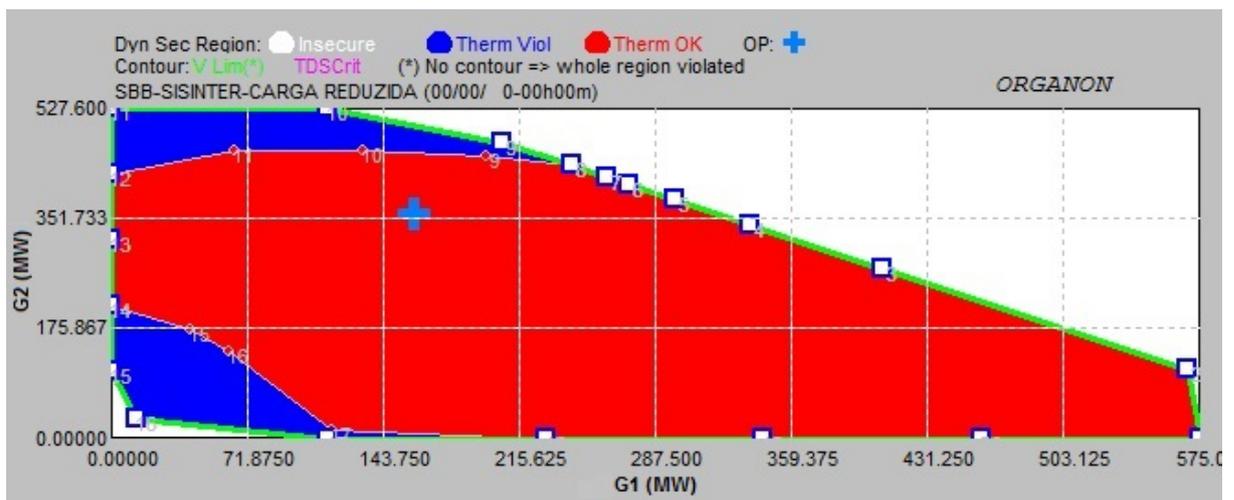


Figura 81 – Nomograma G1xG2 - sistema durante ilhamento - carga reduzida.

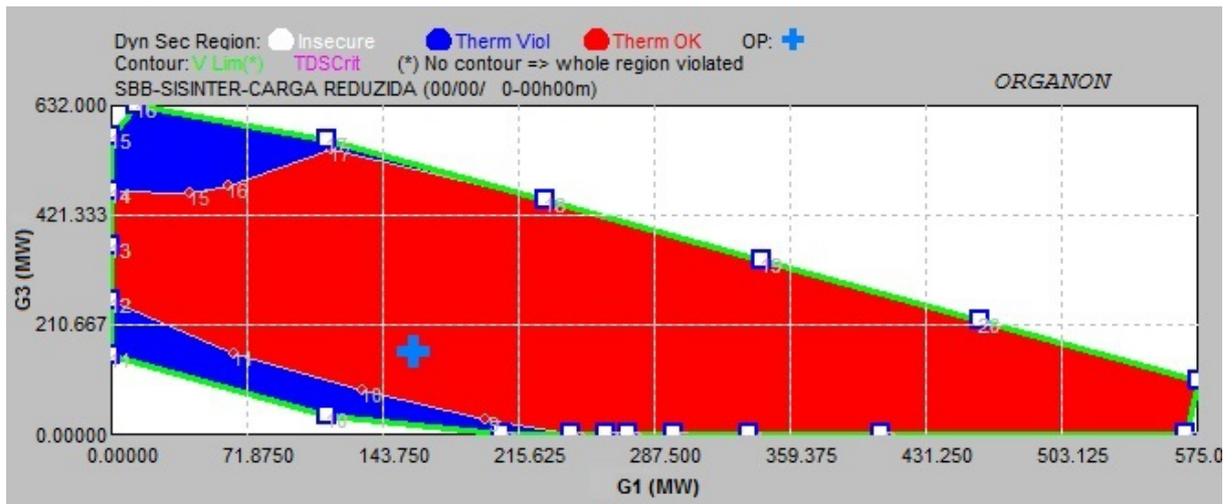


Figura 82 – Nomograma G1xG3 - sistema durante ilhamento - carga reduzida.

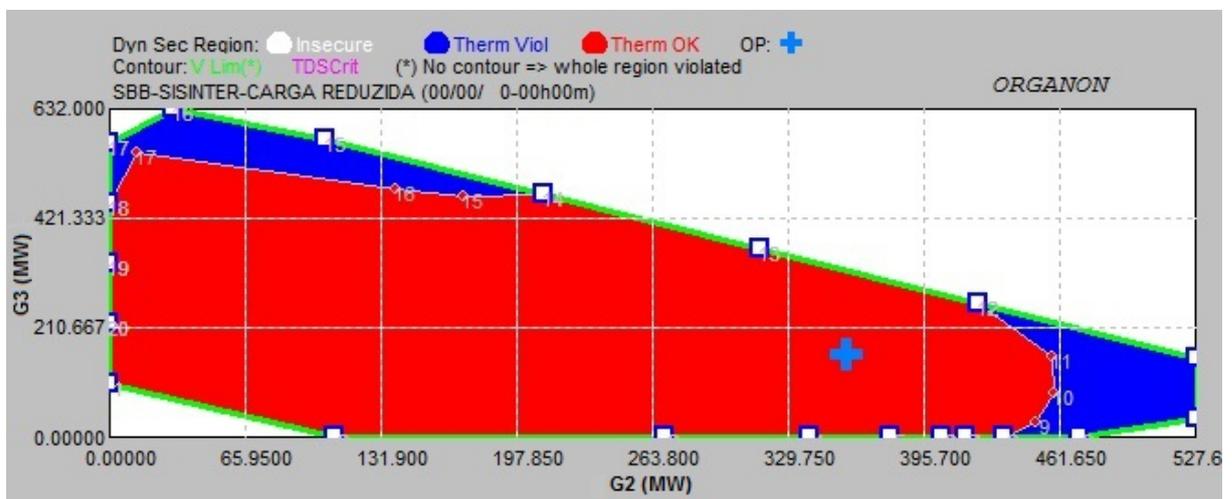


Figura 83 – Nomograma G2xG3 - sistema durante ilhamento - carga reduzida.

Tabela 74 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<i>Swing</i>
212,0 MW
<b>Grupo G1</b>
145,0 MW < G1 < 285,0 MW
<b>Grupo G2</b>
175,0 MW < G2 < 350,0 MW
<b>Grupo G3</b>
210,0 MW < G3 < 365,0 MW

#### 6.5.4 Comparativo dos Resultados - Sistema *Brazilian Birds 2* - Sistema Durante Ilhamento

Da mesma forma que foi realizado para o sistema operando de forma interligada, este item comparou os resultados dos nomogramas dos subitens 6.5.1 a 6.5.3, através

de uma tabela, a qual através de uma comparação visual indica para quais patamares de carga ocorreram as maiores e menores áreas/contornos, tanto para tensão, como para carregamento e estabilidade do sistema. Os patamares de carga foram representados pelos seguintes mnemônicos:

- Carga elevada: CE;
- Carga moderada: CM;
- Carga reduzida: CR.

A Tabela 75 mostra um comparativo entre todos os patamares de carga, indicando de forma visual quais são os patamares de carga com as maiores e menores áreas/contornos de tensão, carregamento e estabilidade.

Tabela 75 – Comparação das Simulações do Sistema Durante Ilhamento.

<b>Maiores Contornos / Áreas</b>		
<b>Tensão</b>	<b>Estabilidade</b>	<b>Carregamento</b>
CE	CE	CM
<b>Menores Contornos / Áreas</b>		
<b>Tensão</b>	<b>Estabilidade</b>	<b>Carregamento</b>
CR	CR	CE

Da Tabela 75 foi possível observar que para o patamar de carga elevada, temos os maiores contornos de tensão e a maior região de operação estável, mas em contrapartida este patamar de carga apresenta a menor região de operação dentro dos limites térmicos dos equipamentos. Para o patamar de carga moderada temos a maior região de operação dentro dos limites térmicos dos equipamentos e como patamar final para análise, restou o patamar de carga reduzida, onde este apresenta as menores áreas de estabilidade, como também o menor contorno de operação dentro dos níveis de tensão.

A Tabela 76 mostra o resumo dos limites de geração associados a cada patamar de carga do sistema, para que não ocorram violações dos limites de estabilidade, tensão e carregamento.

Neste item foram avaliados os comportamentos do sistema *Brazilian Birds 2* frente a uma contingência de ilhamento para três patamares de carga. Foi observado que para estes patamares de carga o sistema não violou nenhuma das três regiões de segurança operativas e que de maneira inicial pode-se dizer que a chance de realização com sucesso de um ilhamento é alta (a ser confirmada na análise de frequência), visto que, para pelo

Tabela 76 – Comparativo dos Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b>Carga Elevada</b>	
<b>Swing</b>	
456,0 MW	
<b>Grupo G1</b>	
215,0 MW < G1 < 230,0 MW	
<b>Grupo G2</b>	
355,0 MW < G2 < 435,0 MW	
<b>Grupo G3</b>	
260,0 MW < G3 < 315,0 MW	
<b>Carga Moderada</b>	<b>Carga Reduzida</b>
<b>Swing</b>	<b>Swing</b>
372,7 MW	212,0 MW
<b>Grupo G1</b>	<b>Grupo G1</b>
145,0 MW < G1 < 359,0 MW	145,0 MW < G1 < 285,0 MW
<b>Grupo G2</b>	<b>Grupo G2</b>
175,0 MW < G2 < 350,0 MW	175,0 MW < G2 < 350,0 MW
<b>Grupo G3</b>	<b>Grupo G3</b>
211,0 MW < G3 < 420,0 MW	210,0 MW < G3 < 365,0 MW

menos dois dos patamares de carga existe uma grande região de operação estável e de respeito aos limites operativos. Caso note-se que é necessário melhorar estas margens, uma modificação dos despachos dos geradores pode ser realizada conforme Tabela 76 e desta forma, aumentar ainda mais o sucesso destes ilhamentos.

## 6.6 Sistema Brazilian Birds - Após Ilhamento

Neste item foi realizada a terceira etapa de simulações, que parte do princípio que ocorreram as contingências de abertura dupla simples dos transformadores 230/138 kV das subestações Tiziu e Sabiá e com isso houve a separação da áreas 1 e 3, tornando-se a área 3 uma ilha. O ponto de operação desta ilha para todos os patamares de carga é obtido através da abertura destes dois transformadores dos arquivos originais de fluxo de potência utilizados no Item 6.3. Para a convergência do fluxo de potência, definiu-se para a ilha uma barra *swing*, sendo esta a UTE Tiziu, assim ajustando-se o caso para que ocorra a convergência da área 3 separadamente do sistema formado agora pelas áreas 1 e 2, para todos os patamares de carga.

Após a convergência dos casos, são aplicadas as mesmas contingências das Tabelas 64 a 65 do item 6.4, para que seja possível analisar o comportamento da ilha (área 3), agora como responsável pelo controle de tensão e frequência do novo sistema formado.

Este item mostra como se comporta a ilha, sofrendo as mesmas contingências que o sistema interligado sofreu. Os limites de tensão e de máximo carregamento dos

equipamentos do sistema são mantidos iguais ao do sistema íntegro. O Anexo H mostra os dados para o fluxo de potência para a ilha.

A Figura 84 mostra o sistema da área 3 ilhado, sendo este denominado *Ilha*. Este sistema é composto por sete usinas, sendo estas: UTE Tiziu, PCH Sabiá 1, PCH Sabiá 2, UTE Pardal 1, UTE Pardal 2, UTE Azulão 1 e UTE Azulão 2.

Agora com o sistema ilhado foi necessário uma nova divisão do sistema em três grupos geradores equivalentes, como também da respectiva *swing* do sistema. Para o grupo G1 escolheram-se as PCHs Sabiá 1 e Sabiá 2, para o grupo G2 as UTEs Pardal 1 e Pardal 2 e por fim para o grupo G3 as UTEs Azulão 1 e 2, ficando a UTE de Tiziu como a *swing* do sistema.

Esta escolha de grupos, conforme itens anteriores, foi adotada na tentativa de contemplar grupos energéticos com a mesma característica e influência energética e não grupos com características de influência independentes. As Tabelas 77 a 80 mostram estes grupos com as suas respectivas potências totais para a barra *swing* e para os grupos G1, G2 e G3, para cada patamar de carga. A Figura 85 mostra um esquemático de como ficou a ilha e seus respectivos grupos geradores.

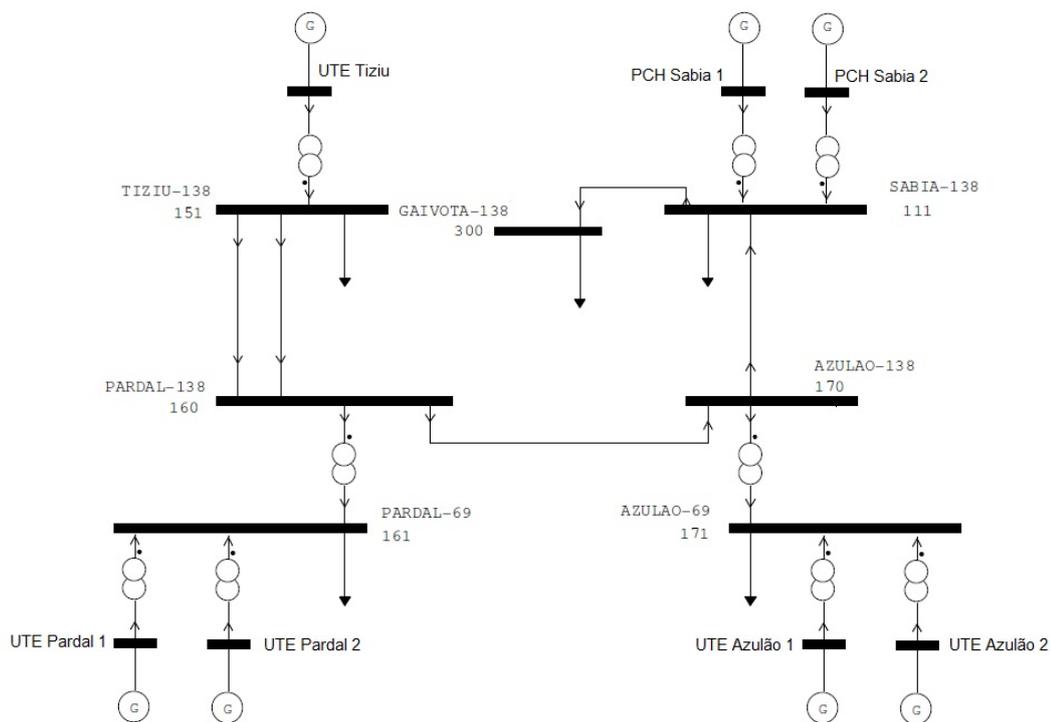


Figura 84 – Ilha simulada do sistema *Brazilian Birds 2*, adaptado de (OLIVEIRA, 2014).

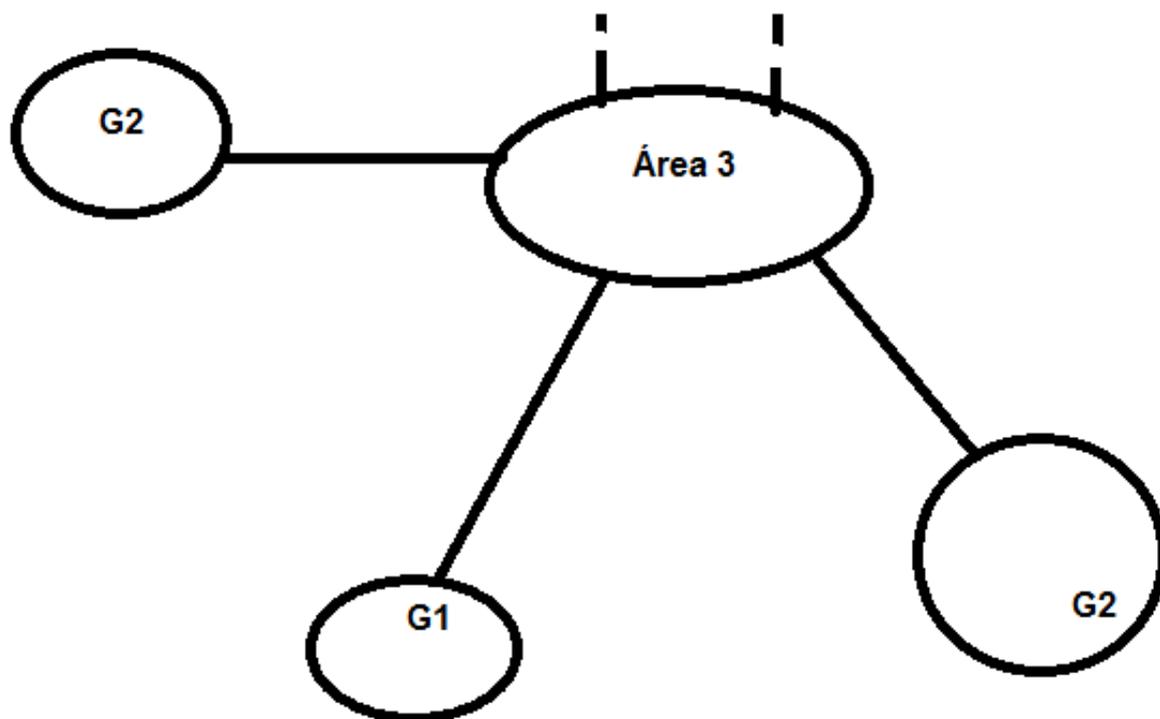


Figura 85 – Grupos geradores G1, G2 e G3 no sistema *Brazilian Birds 2*.

Tabela 77 – Despachos da Barra *Swing* UTE Tiziu.

<i>Swing</i>	Patamares de Carga		
UTE Tiziu	Carga elevada	Carga moderada	Carga reduzida
	71,5 MW	61,4 MW	27,1 MW

Tabela 78 – Grupos Geradores - Carga Elevada.

G1	Total	G2	Total	G3	Total
	48,0 MW		40,0 MW		44,0 MW
Usinas	Individual	Usinas	Individual	Usinas	Individual
PCH Sabiá 1	24,0 MW	UTE Pardal 1	20,0 MW	UTE Azulão 1	22,0 MW
PCH Sabiá 2	24,0 MW	UTE Pardal 2	20,0 MW	UTE Azulão 2	22,0 MW

Tabela 79 – Grupos Geradores - Carga Moderada.

<b>G1</b>	<b>Total</b>	<b>G2</b>	<b>Total</b>	<b>G3</b>	<b>Total</b>
	36,0 MW		36,0 MW		36,0 MW
<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>	<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>	<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>
PCH Sabiá 1	18,0 MW	UTE Pardal 1	18,0 MW	UTE Azulão 1	18,0 MW
PCH Sabiá 2	18,0 MW	UTE Pardal 2	18,0 MW	UTE Azulão 2	18,0 MW

Tabela 80 – Grupos Geradores - Carga Reduzida.

<b>G1</b>	<b>Total</b>	<b>G2</b>	<b>Total</b>	<b>G3</b>	<b>Total</b>
	36,0 MW		36,0 MW		36,0 MW
<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>	<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>	<b>Usinas</b>	<b>Individual</b>
PCH Sabiá 1	18,0 MW	UTE Pardal 1	18,0 MW	UTE Azulão 1	18,0 MW
PCH Sabiá 2	18,0 MW	UTE Pardal 2	18,0 MW	UTE Azulão 2	18,0 MW

Nesta última etapa de simulações foram usadas as mesmas contingências do Item 6.4. A Tabela 81, mostra os montantes de carga e geração da área do sistema. Para estes conjuntos de contingências, foram gerados os respectivos nomogramas com as regiões de segurança dinâmicas. Para facilitar a análise destes nomogramas, os mesmos foram separados por suas contingências, como também pelo par ordenado de cada grupo, a saber, G1xG2, G1xG3 e G2xG3. Como limites de tensão e limites de carregamento foram utilizados os mesmos do Anexo F. As Figuras 86 até 94 mostram os resultados destas simulações.

Tabela 81 – Carregamentos e Fluxos do Sistema Ilha 1.

<b>Área 3</b>		
<b>Carga Elevada</b>	<b>Carga Moderada</b>	<b>Carga Reduzida</b>
<b>Carga Área 3</b>	<b>Carga Área 3</b>	<b>Carga Área 3</b>
201,6 MW	168,0 MW	134,4 MW
<b>Geração Área 3</b>	<b>Geração Área 3</b>	<b>Geração Área 3</b>
203,5 MW	169,4 MW	135,1 MW

### 6.6.1 Resultados - Sistema Brazilian Birds - Sistema Após Ilhamento - Área 3 - Ilha - Carga Elevada

Para uma melhor análise de cada simulação e por patamar, a mesma metodologia de criar subitens também foi adotada para este item. A metodologia proposta para análise de operações ilhadas foi utilizada nesta simulação, levantando as regiões de segurança dinâmicas e através destas os limites de gerações para que as mesmas ocorram com sucesso.

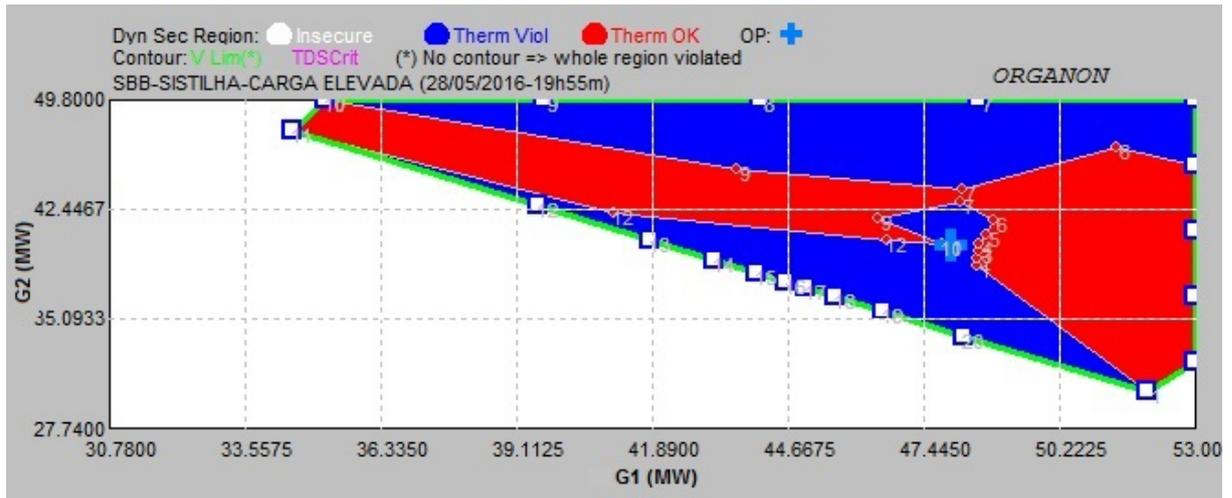


Figura 86 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga elevada.

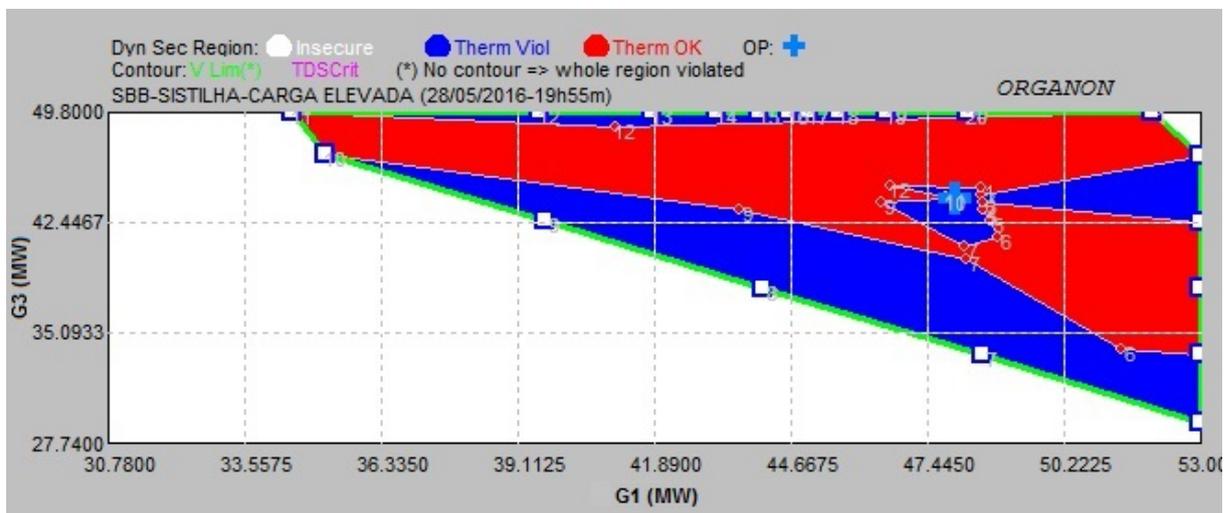


Figura 87 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga elevada.

Desta forma, o sistema aqui analisado foi o sistema ilhado, denominado como área 3, que agora representa uma ilha independente. A área 3 ou ilha foi submetida as mesmas séries de contingências do sistema original (quando este ainda operava de forma interligada). Aqui analisou-se o comportamento da ilha para o patamar de carga elevada, os resultados das simulações estão representados nas Figuras 86 a 88. Para o patamar de carga elevada foram obtidos os mesmos resultados em comparação com o sistema operando

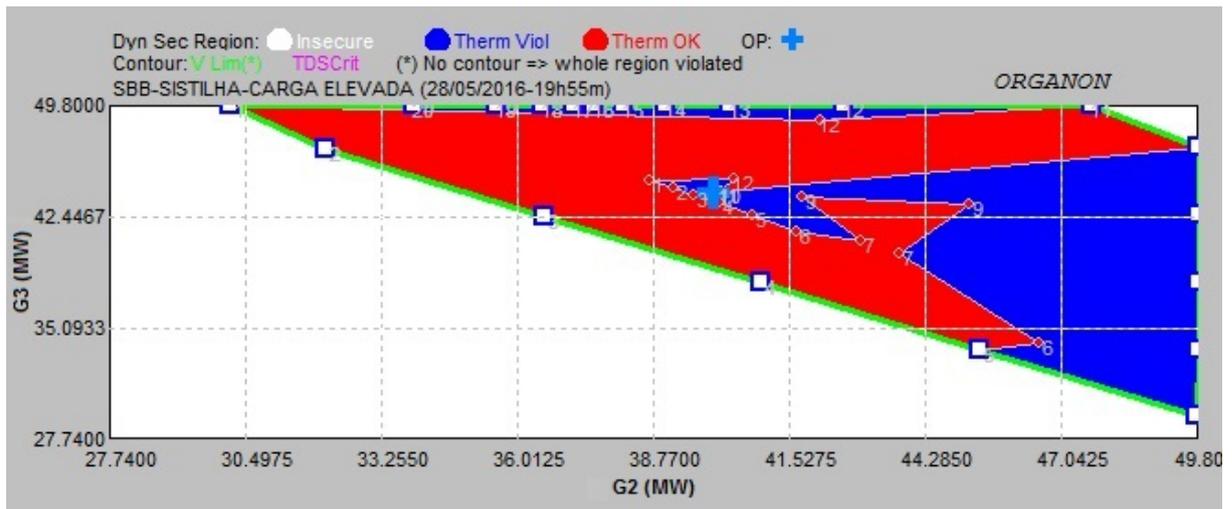


Figura 88 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga elevada.

de forma interligada, isto é, o ponto operativo esta dentro da região de operação estável, de não violação dos limites de tensão, mas em relação aos limites térmicos este ponto operativo está violando para pelo menos um dos circuitos o seu limite térmico. A melhora do comportamento do sistema pode ser realizado com a mudança do ponto operativo do mesmo, respeitando assim esse critério.

A melhora citada no ponto operativo, pode ser obtida nas próprias Figuras 86 a 88. Destas figuras foram obtidos os limites de geração, estando os mesmos representados na Tabela 82, a qual, mostra os limites de geração estabelecidos para que não ocorram violações dos limites operativos do sistema. Utilizando os limites de geração desta tabela, é possível para o patamar de carga elevada, atender aos três critérios de operação desejados.

Tabela 82 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
71,5 MW
<b>Grupo G1</b>
39,0 MW < G1 < 42,0 MW
<b>Grupo G2</b>
42,0 MW < G2 < 46,0 MW
<b>Grupo G3</b>
44,0 MW < G3 < 48,0 MW

### 6.6.2 Resultados - Sistema Brazilian Birds - Sistema Após Ilhamento - Área 3 - Ilha - Carga Moderada

O patamar de carga moderada também foi analisado com as mesmas contingências e seus resultados estão representados nas Figuras 89 a 91, mostrando que o sistema foi capaz de suportar todas estas contingências, e estando seu ponto operativo dentro de

todas as regiões de não violação do limites operativos, além de, possuir este, uma boa margem de estabilidade. Analisando as Figuras 89 a 91 foi possível estabelecer os limites de gerações, os quais, garantem a segurança do sistema. A Tabela 83 mostra os referidos limites de geração.

Tabela 83 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
61,4 MW
<b>Grupo G1</b>
$42,0 \text{ MW} < G1 < 53,0 \text{ MW}$
<b>Grupo G2</b>
$39,0 \text{ MW} < G2 < 48,0 \text{ MW}$
<b>Grupo G3</b>
$20,0 \text{ MW} < G3 < 49,0 \text{ MW}$

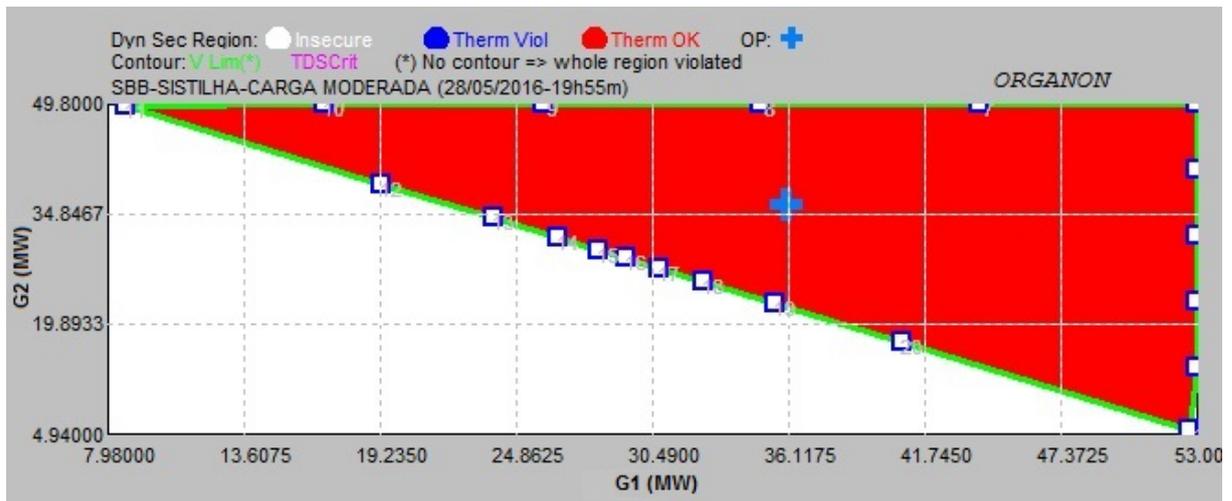


Figura 89 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga moderada.

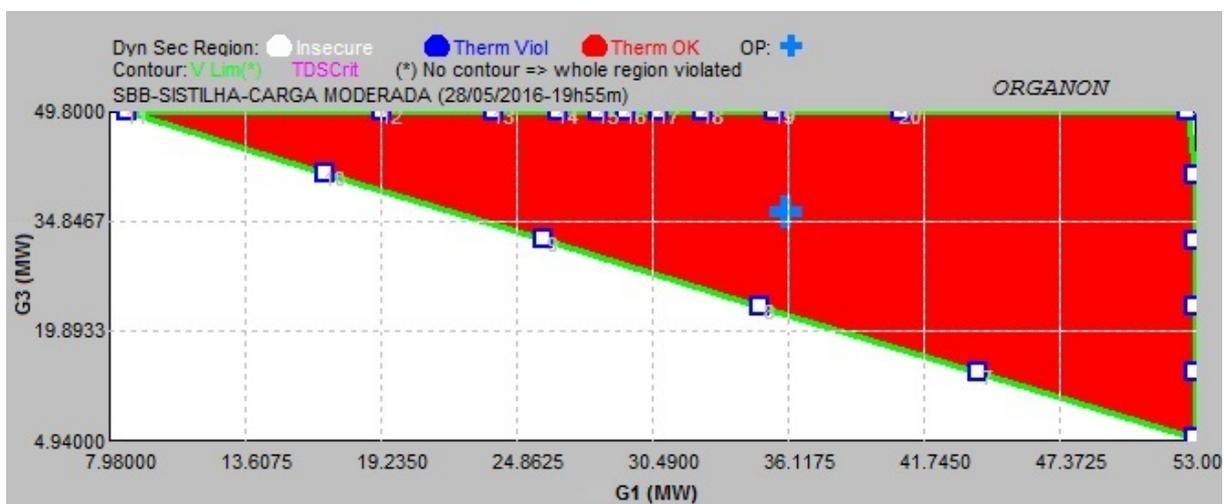


Figura 90 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga moderada.

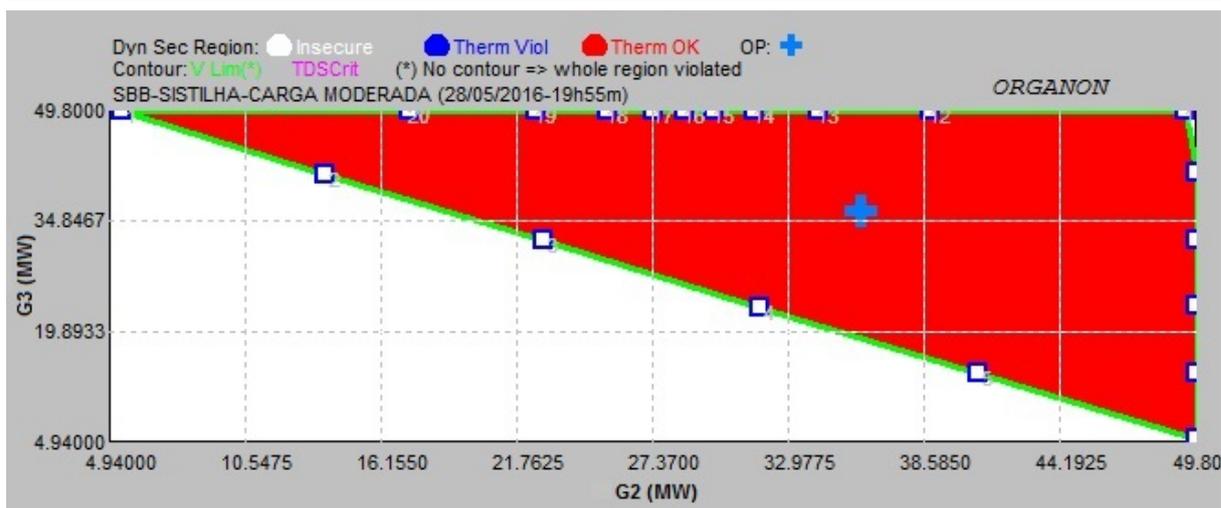


Figura 91 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga moderada.

### 6.6.3 Resultados - Sistema Brazilian Birds - Sistema Após Ilhamento - Área 3 - Ilha - Carga Reduzida

As Figuras 92 a 94 mostram os últimos resultados de simulações para o sistema *Brazilian Birds 2*, no caso, o patamar de carga reduzida. Para este patamar de carga, o sistema mostrou os mesmos resultados do que o do sistema no patamar de carga média, respeitando todas as regiões e os limites operativos. Comparando as simulações do sistema operando de forma interligada com as realizadas para a área 3 operando ilhada, os resultados foram bem satisfatórios, os mesmos mostraram, que o sistema ilhado também foi capaz de suportar as mesmas contingências que foram aplicadas para o sistema interligado. Alguns pontos de atenção devem ser levados em conta para o patamar de carga elevada, mas a mudança dos despachos dos grupos, mostra-se eficiente e faz com que estas violações não mais ocorram. A Tabela 84, mostra os limites operativos do sistema. Conforme já citado em outros itens, para a definição real da viabilidade da operação ilhada é necessário uma segunda etapa de análises, conforme metodologia proposta, a qual analise o comportamento da frequência do sistema frente a estes cenários de limites de geração estabelecidos.

Tabela 84 – Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b><i>Swing</i></b>
27,1 MW
<b>Grupo G1</b>
42,0 MW < G1 < 53,0 MW
<b>Grupo G2</b>
39,0 MW < G2 < 48,0 MW
<b>Grupo G3</b>
20,0 MW < G3 < 49,0 MW

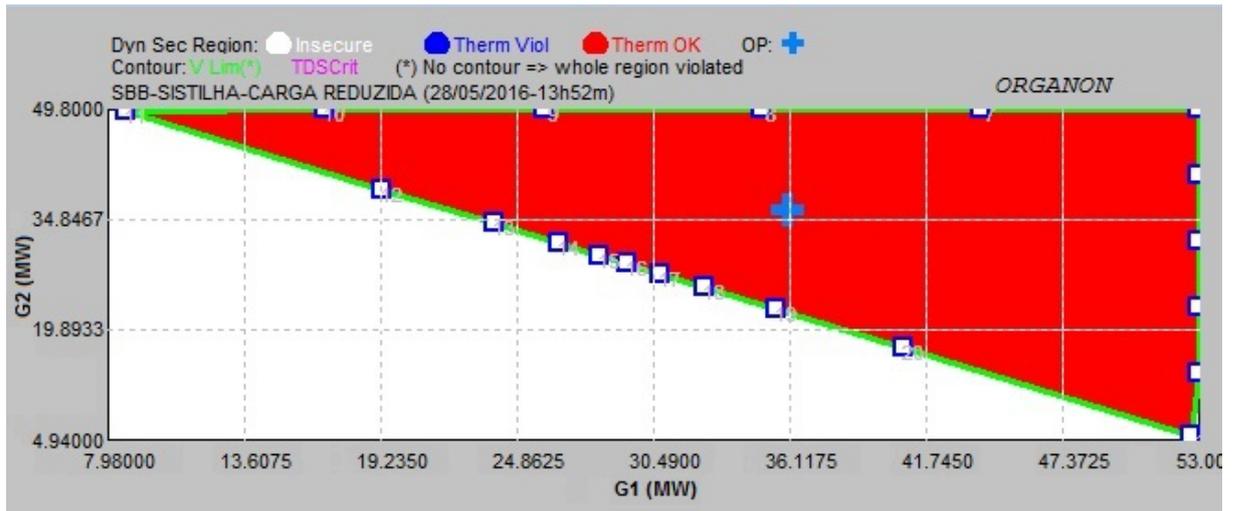


Figura 92 – Nomograma G1xG2 - sistema ilhado - carga reduzida.

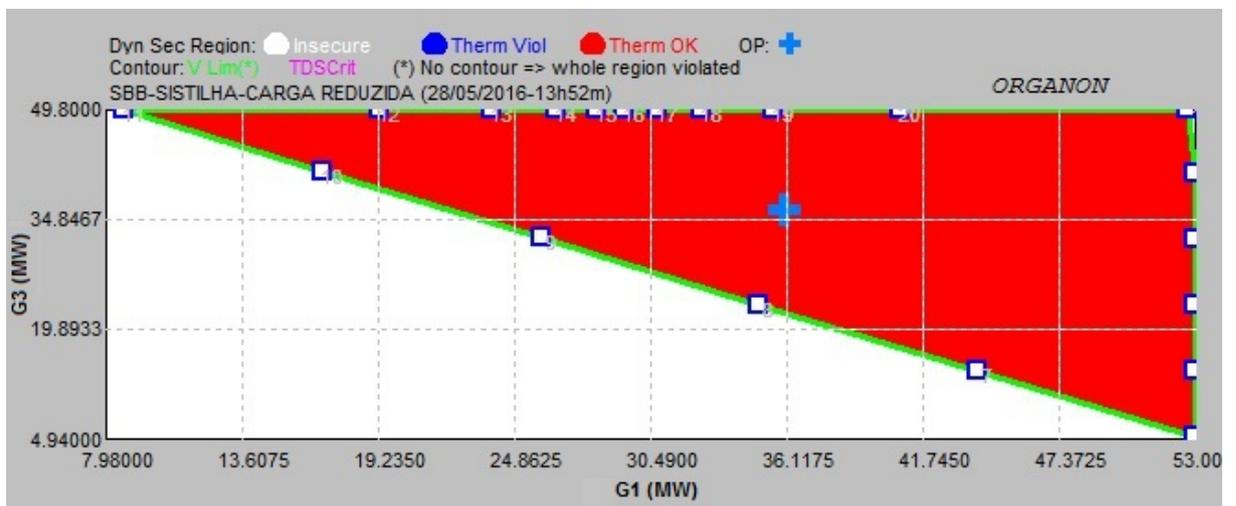


Figura 93 – Nomograma G1xG3 - sistema ilhado - carga reduzida.

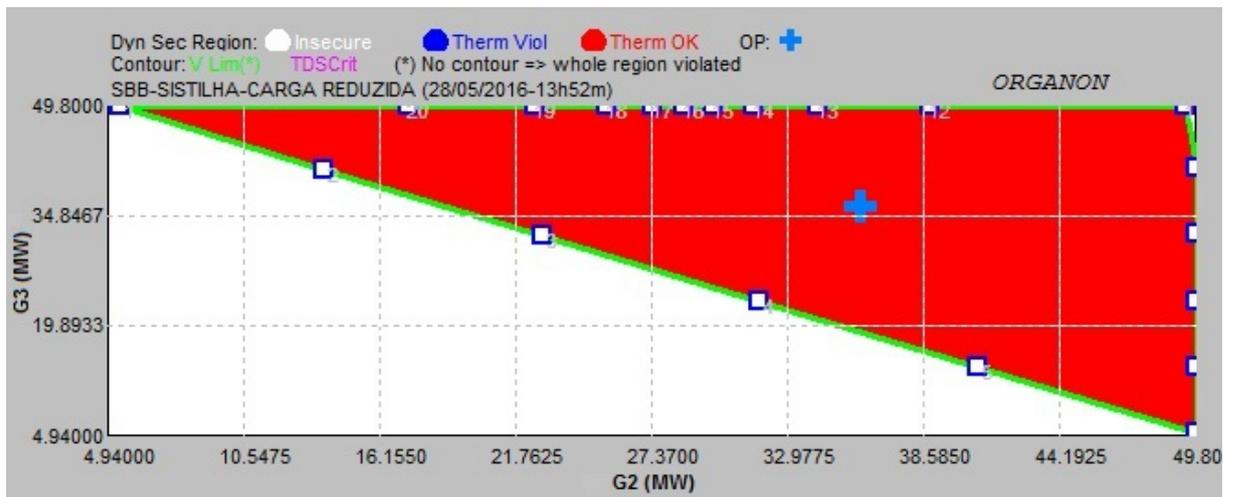


Figura 94 – Nomograma G2xG3 - sistema ilhado - carga reduzida.

### 6.6.4 Comparativo dos Resultados - Sistema Brazilian Birds - Sistema Ilhado

Este item comparou os resultados dos nomogramas das seções 6.6.1 a 6.6.3 através de uma tabela, a qual através de uma comparação visual indica para quais patamares de carga ocorreram as maiores e menores áreas/contornos, tanto para tensão, como para carregamento e estabilidade do sistema. Os patamares de carga foram representados pelos seguintes mnemônicos:

- Carga elevada: CE;
- Carga moderada: CM;
- Carga reduzida: CR.

A Tabela 85 mostra um comparativo entre todos os patamares de carga, indicando de forma visual quais são os patamares de carga com as maiores e menores áreas/contornos de tensão, carregamento e estabilidade.

Tabela 85 – Comparação das Simulações do Sistema Ilhado.

<b>Maiores Contornos / Áreas</b>		
<b>Tensão</b>	<b>Estabilidade</b>	<b>Carregamento</b>
CR e CM	CR e CM	CR e CM
<b>Menores Contornos / Áreas</b>		
<b>Tensão</b>	<b>Estabilidade</b>	<b>Carregamento</b>
CE	CE	CE

Da Tabela 85 foi possível observar que os maiores contornos de tensão e áreas de estabilidade e não violação dos carregamentos estão relacionados aos patamares de carga moderada e reduzida, apresentando estes, o mesmo comportamento para as contingências aplicadas. Em contrapartida o patamar de carga elevada ficou como o que possui o menor contorno de tensão, de áreas estáveis e de não violação dos limites térmicos. A Tabela 86 mostra os limites de geração associados a cada patamar de carga do sistema, para que não ocorram violações dos limites de estabilidade, tensão e carregamento.

Este foi o último item comparativo das aplicações de regiões de segurança dinâmicas em sistemas de subtransmissão/distribuição, onde, as simulações realizadas mostraram que o sistema conseguiu suportar todas as contingências que foram aplicadas para o sistema operando de forma ilhada, e mesmo em operação ilhada, este manteve os seus pontos operativos dentro das três regiões de operação de não violação dos limites operativos. Desta forma, após realizadas estas determinações de limites de geração do sistema,

poderia ser aplicada a segunda etapa de análise, verificando o comportamento da frequência do sistema e as medidas de controle existentes (se houver) para que a viabilidade da operação ilhada possa ser realmente confirmada, e que em sua realização, a mesma possa contribuir com um ganho positivo na operação do sistema.

Tabela 86 – Comparativo dos Limites de Geração que Garantem a Segurança do Sistema.

<b>Carga Elevada</b>	
<b>Swing</b>	
71,5 MW	
<b>Grupo G1</b>	
39,0 MW < G1 < 42,0 MW	
<b>Grupo G2</b>	
42,0 MW < G2 < 46,0 MW	
<b>Grupo G3</b>	
44,0 MW < G3 < 48,0 MW	
<b>Carga Moderada</b>	<b>Carga Reduzida</b>
<b>Swing</b>	<b>Swing</b>
61,4 MW	27,1 MW
<b>Grupo G1</b>	<b>Grupo G1</b>
42,0 MW < G1 < 53,0 MW	42,0 MW < G1 < 53,0 MW
<b>Grupo G2</b>	<b>Grupo G2</b>
39,0 MW < G2 < 48,0 MW	39,0 MW < G2 < 48,0 MW
<b>Grupo G3</b>	<b>Grupo G3</b>
20,0 MW < G3 < 49,0 MW	20,0 MW < G3 < 49,0 MW

## 7 Conclusão

### 7.1 Considerações Finais

Cada vez mais em um sistema de potência buscam-se medidas operativas para aumento da confiabilidade e qualidade no fornecimento de energia elétrica aos seus consumidores. Neste contexto, a realização de ilhamentos e operações ilhadas são formas de atingir estes objetivos citados. Os ilhamentos e operações ilhadas, atualmente são estudados por vários pesquisadores e agentes de geração, transmissão e distribuição de energia, se mostrando fonte eficaz e viável de aumento de confiabilidade nos sistemas de potência.

Os estudos já existentes para realização de operações ilhadas são tradicionais e de conhecimento já disseminado, como por exemplo: estudos de curto-circuito, estabilidade, fluxo de potência, coordenação de proteção e de esquemas de corte de carga e/ou geração. Estes estudos são necessários para definir a estabilidade de um SEP durante um ilhamento, como também para sua posterior operação ilhada.

Para analisar a viabilidade de um ilhamento e operação ilhada de um SEP é necessário dividir o seu estudo em duas etapas, ou seja, primeiro analisar o sistema durante o ilhamento e após isso, analisar a operação de parte do mesmo ilhada. Para a primeira etapa, ou seja, sistema durante o ilhamento é realizada uma análise de estabilidade de frequência, pois, durante a ocorrência do ilhamento geralmente ocorre um desbalanço entre a carga e a geração da porção que pode vir a operar de forma ilhada e isto implica se o SEP suportará ou não estes eventos, e se o mesmo suportar, é necessário avaliar se em regime permanente ocorrerão sobrefrequências ou subfrequências. Já para a segunda etapa de estudos é necessário verificar o comportamento (controle de frequência e tensão) da ilha frente às novas e mais severas contingências, que o sistema pode vir a sofrer.

Nem sempre as análises tradicionais de estabilidade angular e de frequência citadas anteriormente são capazes de mapear todos os cenários possíveis e não possíveis para a realização de um ilhamento e uma operação ilhada, pois, estas trabalham com casos de estudo base, que muitas vezes possuem ponto operativos que estão na fronteira limite de estabilidade, dos limites de carregamento e tensão do sistema. Perante a essa limitação das análises tradicionais de ilhamento e operação ilhada é necessário que seja realizada uma análise preliminar de segurança, ou seja, aplicar e definir regiões (limites máximos de geração) em que se tenha certeza que ilhamentos e operações ilhadas podem ser realizadas.

Para definir estes limites de segurança citados, pode-se empregar o conceito de regiões de segurança dinâmicas. Alguns pesquisadores já utilizaram as regiões de segurança dinâmicas em estudos teóricos, como também em estudos reais de ilhamentos e operações

ilhadas de sistemas elétricos. Como dito, as regiões de segurança dinâmicas fornecem os limites de estabilidade, de tensão e de carregamento, através da definição dos despachos mínimos e máximos de três grupos geradores equivalentes do sistema, fornecendo estes através de gráficos bidimensionais com regiões coloridas, as quais indicam as violações ou não dos três critérios já citados.

O que é sugerido nesta dissertação para os engenheiros ou pesquisadores que realizam análises de ilhamentos e operações ilhadas é utilizar de forma conjunta, as análises de segurança e as análises tradicionais de frequência, para garantir que, se estes eventos forem viáveis, os mesmos ocorram com sucesso. Com a aplicação das regiões de segurança dinâmicas de forma conjunta com a tradicional análise de frequência nas análises de ilhamentos e operações ilhadas é possível obter os seguintes ganhos:

- Determinação dos pontos operativos em que os eventos de ilhamentos e operações ilhadas são realmente possíveis e seguros, reduzindo assim, o universo de casos a serem estudados;
- A redução preliminar do universo de pontos operativos possíveis para um ilhamento e operação ilhada, e com isso redução do tempo desta análise, como também a eliminação do risco de análises muito conservadoras ou até mesmo otimistas;
- Ter uma ferramenta que mostre os limites de geração máximos e mínimos para o sucesso de um ilhamento ou operação ilhada, sendo estes mostrados através de equações ou de forma visual e didática, através de gráficos bidimensionais (nomogramas);
- Auxiliar os operadores do SEP, de forma visual e rápida se o ponto operativo do sistema permite ou não um ilhamento e na ocorrência deste, qual será o comportamento da porção ilhada que será formada, frente a novas contingências;
- Ser de fácil uso e de grande abrangência, sendo possível aplicar qualquer contingência e em um curto intervalo de tempo conhecer toda a dinâmica do sistema, definindo desta forma novas regiões de segurança para o ponto operativo de interesse.

Por fim, com o uso destes recursos (análise de segurança, adicionada a análise tradicional de frequência) disponíveis é possível realizar estudos de viabilidade de ilhamento e operação ilhada para qualquer tipo de sistema (transmissão, subtransmissão ou distribuição) e para qualquer tipo de fonte de geração (hídrica, eólica, solar, térmica), aumentando de forma considerável a confiabilidade sistêmica em decorrência destes eventos.

## 7.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Como prática de estudos e pesquisas, esta dissertação sugere as seguintes análises para futuros trabalhos nesta área.

- Implementação de métodos de detecção de ilhamento nas análises com regiões de segurança, para que as mesmas mostrem os riscos de uma operação indevida ou falha destes;
- A utilização dos mais diversos tipos de proteção de sistemas de potência, incluindo nestes, esquemas especiais de alívio de carga;
- Analisar o comportamento de diversos tipos de gerações distribuídas, como fontes eólicas e solares;
- Aplicação em tempo real das regiões de segurança dinâmicas, nas análises de ilhamento e operações ilhadas.

## Referências

- ALVES, W. *Proposição de Sistemas Teste para Análise Computacional de Sistemas de Potência*. 2007. Tese (Doutorado) — Dissertação de M. Sc., Faculdade de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007. Citado 13 vezes nas páginas 9, 10, 11, 57, 58, 60, 89, 101, 157, 170, 182, 190 e 198.
- ANEEL. Módulo 4 (prodist). *Procedimentos Operativos do Sistema de Distribuição, Brasil*, 2010. Citado 3 vezes nas páginas 27, 32 e 48.
- ANEEL. Módulo 3 (prodist). *Acesso ao Sistema de Distribuição, Brasil*, 2016. Citado na página 32.
- AUTHORITY, T. D. E. *Energy Policy Statement*. 2007. Disponível em: <[http://www.ens.dk/graphics/Publikationer/energipolitik\\_UK/Energy\\_policy\\_Statement\\_2007/index.htm](http://www.ens.dk/graphics/Publikationer/energipolitik_UK/Energy_policy_Statement_2007/index.htm)>. Citado na página 41.
- CHAVES, S. B. *Análise estática e dinâmica de sistemas de potência via aplicativo computacional integrado: ORGANON*. Tese (Doutorado) — Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, Agosto, 2008. Citado na página 44.
- CHEN, Y.; XU, Z.; OSTERGAARD, J. Control mechanism and security region for intentional islanding transition. In: *2009 IEEE Power Energy Society General Meeting*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 1–6. ISSN 1932-5517. Citado 5 vezes nas páginas 9, 31, 41, 42 e 48.
- CHEN, Y.; XU, Z.; OSTERGAARD, J. Security assessment for intentional island operation in modern power system. *Electric Power Systems Research*, Elsevier S.A., v. 81, n. 9, p. 1849–1857, 2011. ISSN 0378-7796. Citado 5 vezes nas páginas 9, 31, 41, 42 e 48.
- FUANGFOO, P.; LEE, W. J.; KUO, M. T. Impact study on intentional islanding of distributed generation connected to a radial subtransmission system in thailand's electric power system. *IEEE Transactions on Industry Applications*, v. 43, n. 6, p. 1491–1498, Nov 2007. ISSN 0093-9994. Citado 6 vezes nas páginas 27, 31, 33, 34, 36 e 57.
- FUANGFOO, P. et al. Pea guidelines for impact study and operation of dg for islanding operation. *IEEE Transactions on Industry Applications*, v. 44, n. 5, p. 1348–1353, Sept 2008. ISSN 0093-9994. Citado 5 vezes nas páginas 27, 31, 34, 35 e 57.
- FUNABASHI, T.; KOYANAGI, K.; YOKOYAMA, R. A review of islanding detection methods for distributed resources. In: *Power Tech Conference Proceedings, 2003 IEEE Bologna*. [S.l.: s.n.], 2003. v. 2, p. 6 pp. Vol.2–. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 38.
- IEEE. Draft guide for design, operation, and integration of distributed resource island systems with electric power systems. *IEEE P1547.4/D12, April 2011*, p. 1–50, April 2011. Citado na página 32.
- JARDIM, J. et al. Organon-technical manual, version 7.9. 2000. Citado 7 vezes nas páginas 29, 43, 44, 45, 46, 47 e 49.

- JARDIM, J.; NETO, C.; SANTOS, M. G. D. Brazilian system operator online security assessment system. In: *2006 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 7–12. Citado 2 vezes nas páginas 43 e 49.
- JARDIM, J. L.; NETO, C. S.; KWASNICKI, W. T. Design features of a dynamic security assessment system. In: *Power Systems Conference and Exposition, 2004. IEEE PES*. [S.l.: s.n.], 2004. p. 446–452 vol.1. Citado 4 vezes nas páginas 29, 44, 48 e 49.
- JARDIM, J. L.; NETO, C. S.; SANTOS, M. G. Um sistema de avaliação da segurança dinâmica de sistemas de potência. In: *Ciclo Interno de Debates do ONS, 2003. CINTER*. [S.l.: s.n.], 2003. p. 446–452 vol.1. Citado na página 44.
- JUNIOR, Z. S. M. *Power System Data*. 2016. Disponível em: <[sites.google.com/site/powersystemdata/brazilian-data/brazilian-birds](http://sites.google.com/site/powersystemdata/brazilian-data/brazilian-birds)>. Citado 5 vezes nas páginas 115, 228, 238, 245 e 251.
- KUNDUR, P.; BALU, N. J.; LAUBY, M. G. *Power system stability and control*. [S.l.]: McGraw-hill New York, 1994. v. 7. Citado na página 31.
- LONDERO, R. R. et al. Avaliação do desempenho do controle remoto de tensão em barras de geração a partir de regiões de segurança estática. In: *IEEE PES T D Latin America 2010*. [S.l.: s.n.], 2010. Citado 3 vezes nas páginas 9, 49 e 50.
- LONDERO, R. R. et al. Planned islanding for brazilian system reliability. In: *IEEE PES T D 2010*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 1–6. ISSN 2160-8555. Citado 4 vezes nas páginas 27, 31, 35 e 57.
- MAHAT, P.; CHEN, Z.; BAK-JENSEN, B. Review of islanding detection methods for distributed generation. In: *Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 2008. DRPT 2008. Third International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 2743–2748. Citado 3 vezes nas páginas 13, 39 e 40.
- MONTICELLI, A. J. *Fluxo de carga em redes de energia elétrica*. [S.l.]: E. Blucher, 1983. Citado na página 31.
- NIGIM, K. A.; HEGAZY, Y. G. Intention islanding of distributed generation for reliability enhancement. In: *Power Engineering Society General Meeting, 2003, IEEE*. [S.l.: s.n.], 2003. v. 4, p. 2451 Vol. 4. Citado 3 vezes nas páginas 13, 36 e 37.
- OLIVEIRA, J. C. Metodologia e procedimentos para o ilhamento de usinas de médio e pequeno portes em sistemas elétricos de distribuição. p. 1–177, 2014. Citado 10 vezes nas páginas 11, 12, 115, 116, 117, 140, 228, 238, 245 e 251.
- ONS. Submódulo 23.3 (procedimentos de rede). *Critérios para Estudos*, 2009. Citado 4 vezes nas páginas 27, 33, 48 e 57.
- ONS. Tutoria del região de segurança dinâmica. 2009. Citado 6 vezes nas páginas 13, 51, 52, 53, 54 e 55.
- ONS. Submódulo 3.6 (procedimentos de rede). *Requisitos técnicos mínimos para a conexão às instalações de transmissão*, 2010. Citado na página 32.
- ONS. *Site ONS*. 2016. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/avaliacao\\_condicao/casos\\_eletromecanicos.aspx](http://www.ons.org.br/avaliacao_condicao/casos_eletromecanicos.aspx)>. Citado na página 118.

---

ZEINELDIN, H.; EL-SAADANY, E. F.; SALAMA, M. M. A. Impact of dg interface control on islanding detection. In: *IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2005*. [S.l.: s.n.], 2005. p. 1489–1495 Vol. 2. ISSN 1932-5517. Citado na página 36.

# Anexos

# ANEXO A – Dados Elétricos do Sistema Equivalente Sul-Sudeste

Este anexo mostra as classificações das barras quanto aos seus tipos, as barras de geração, os dados elétricos e seus limites para linhas de transmissão e transformadores, os limites de tensão para cada nível e os dados de compensação reativa do sistema. Os dados deste anexo foram obtidos através do trabalho de Alves ([ALVES, 2007](#)).

## A.1 Dados Elétricos Gerais do Sistema Equivalente Sul-Sudeste

Tabela 87 – Tipos de Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

<b>Barra</b>	<b>Nome da Barra</b>	<b>Área</b>	<b>Tipo</b>
18	ITUMBIAR-4GR	1	SW
20	MARIMBON-5GR	1	PV
48	IBIUNA—3CS	1	PV
100	MARIMBON-500	1	PQ
101	ARARAQUA-500	1	PQ
102	POCOS—500	1	PQ
103	CAMPINAS-500	1	PQ
104	C.PAULIS-500	1	PQ
120	P.CALDAS-345	1	PQ
122	IBIUNA—500	1	PQ
123	CAMPINAS-345	1	PQ
210	ITUMBIARA500	1	PQ
213	MARIMBON-345	1	PQ
217	ITUMBIARA345	1	PQ
233	SAMAMBAI-500	1	PQ
234	SAMAMBAI-345	1	PQ
300	EMBORCAC-3GR	1	PV
301	JAGUARA—3GR	1	PV
302	N.PONTE—3GR	1	PV
303	S.SIMAO—3GR	1	PV
320	EMBORCAC-500	1	PQ
325	JAGUARA—500	1	PQ
326	JAGUARA—345	1	PQ

360	NPONTE—500	1	PQ
370	SSIMAO—500	1	PQ
500	A.VERMEL-4GR	1	PV
535	AVERMELHA500	1	PQ
536	AVERMELH-440	1	PQ
800	GBMUNHOZ-3GR	2	PV
808	SCAXIAS—4GR	2	PV
810	SSEGREDO-4GR	2	PV
814	BATEIAS—230	2	PQ
824	GBMUNHOZ-500	2	PQ
834	S.MATEUS-230	2	PQ
839	CASCABEL-230	2	PQ
840	CASCABEL-138	2	PQ
848	FCHOPIM—138	2	PQ
856	SEGREDO—500	2	PQ
895	BATEIAS—500	2	PQ
896	CASCAVELO500	2	PQ
897	SCAXIAS—500	2	PQ
898	FCHOPIM—230	2	PQ
904	ITA——3GR	2	PV
915	MACHADIN-2GR	2	PV
919	SOSOR1A4-4GR	2	PV
925	SSANTIAG-3GR	2	PV
933	AREIA——500	2	PQ
934	AREIA——230	2	PQ
938	BLUMENAU-500	2	PQ
939	BLUMENAU-230	2	PQ
955	CNOVOS—500	2	PQ
959	CURITIBA-500	2	PQ
960	CURITIBA-230	2	PQ
964	CAXIAS—500	2	PQ
965	CAXIAS—230	2	PQ
976	GRAVATAI-500	2	PQ
995	ITA——500	2	PQ
1015	JOINVILLE230	2	PQ
1030	MACHADIN-500	2	PQ
1047	SOSORIO—230	2	PQ

1060	SSANTIAG-500	2	PQ
1210	GRAVATAI-230	2	PQ
1503	ITAJUBA-500	1	PQ
1504	ITAJUBA-138	1	PQ
2458	CASCADEL-230	2	PQ

Tabela 88 – Barras de Geração do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	Unidades	Grupo	Barra-Nome da Barra
18	ITUMBIAR-4GR	6	10	18 - ITUMBIAR-4GR
20	MARIMBON-5GR	8	10	20 - MARIMBON-5GR
48	IBIUNA-3CS	4	10	48 - IBIUNA-3CS
300	EMBORCAC-3GR	4	10	300 - EMBORCAC-3GR
301	JAGUARA-3GR	4	10	301 - JAGUARA-3GR
302	N.PONTE-3GR	3	10	302 - N.PONTE-3GR
303	S.SIMAO-3GR	6	10	303 - S.SIMAO-3GR
500	A.VERMEL-4GR	6	10	500 - A.VERMEL-4GR
800	GBMUNHOZ-3GR	4	10	800 - GBMUNHOZ-3GR
808	SCAXIAS-4GR	4	10	808 - SCAXIAS-4GR
810	SSEGREDO-4GR	4	10	810 - SSEGREDO-4GR
904	ITA-3GR	5	10	904 -ITA-3GR
915	MACHADIN-2GR	3	10	915 - MACHADIN-2GR
919	SOSOR1A4-4GR	4	10	919 - SOSOR1A4-4GR
925	SSANTIAG-3GR	4	10	925 - SSANTIAG-3GR

Tabela 89 – Linhas de Transmissão do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra De	Nome Barra De	Para#Circ	Nome Barra Para	Área
100	MARIMBON-500	101#2	ARARAQUA-500	1
100	MARIMBON-500	101#1	ARARAQUA-500	1
100	MARIMBON-500	210#1	ITUMBIARA500	1
100	MARIMBON-500	535#1	AVERMELHA500	1
101	ARARAQUA-500	103#1	CAMPINAS-500	1
101	ARARAQUA-500	102#1	POCOS-500	1
102	POCOS-500	1503#1	ITAJUBA-500	1
104	C.PAULIS-500	103#1	CAMPINAS-500	1
104	C.PAULIS-500	1503#1	ITAJUBA-500	1
122	IBIUNA-500	103#1	CAMPINAS-500	1

122	IBIUNA—500	103#2	CAMPINAS-500	1
210	ITUMBIARA500	370#1	SSIMAO—500	1
233	SAMAMBAI-500	210#1	ITUMBIARA500	1
233	SAMAMBAI-500	320#1	EMBORCAC-500	1
320	EMBORCAC-500	360#1	NPONTE—500	1
320	EMBORCAC-500	210#1	ITUMBIARA500	1
325	JAGUARA—500	360#1	NPONTE—500	1
325	JAGUARA—500	370#1	SSIMAO—500	1
370	SSIMAO—500	535#1	AVERMELHA500	1
824	GBMUNHOZ-500	933#1	AREIA—500	2
824	GBMUNHOZ-500	933#2	AREIA—500	2
834	S.MATEUS-230	934#1	AREIA—230	2
839	CASCADEL-230	2458#1	CASCADEL-230	2
839	CASCADEL-230	2458#2	CASCADEL-230	2
839	CASCADEL-230	1047#1	SOSORIO—230	2
839	CASCADEL-230	898#1	FCHOPIM—230	2
856	SEGREDO—500	933#1	AREIA—500	2
856	SEGREDO—500	1060#1	SSANTIAG-500	2
895	BATEIAS—500	122#2	IBIUNA—500	2
895	BATEIAS—500	122#1	IBIUNA—500	2
896	CASCADELO500	897#1	SCAXIAS—500	2
898	FCHOPIM—230	1047#1	SOSORIO—230	2
933	AREIA—500	959#1	CURITIBA-500	2
933	AREIA—500	895#1	BATEIAS—500	2
933	AREIA—500	955#1	CNOVOS—500	2
934	AREIA—230	1047#2	SOSORIO—230	2
934	AREIA—230	1047#1	SOSORIO—230	2
938	BLUMENAU-500	955#1	CNOVOS—500	2
938	BLUMENAU-500	959#1	CURITIBA-500	2
939	BLUMENAU-230	1015#2	JOINVILLE230	2
939	BLUMENAU-230	1015#1	JOINVILLE230	2
955	CNOVOS—500	964#1	CAXIAS—500	2
959	CURITIBA-500	895#1	BATEIAS—500	2
960	CURITIBA-230	834#1	S.MATEUS-230	2
960	CURITIBA-230	1015#1	JOINVILLE230	2
960	CURITIBA-230	1015#2	JOINVILLE230	2
964	CAXIAS—500	976#1	GRAVATAI-500	2

976	GRAVATAI-500	995#1	ITA—500	2
995	ITA—500	1030#1	MACHADIN-500	2
995	ITA—500	964#1	CAXIAS—500	2
995	ITA—500	1060#1	SSANTIAG-500	2
1030	MACHADIN-500	955#1	CNOVOS—500	2
1060	SSANTIAG-500	897#1	SCAXIAS—500	2

Tabela 90 – Dados Elétricos de Linhas de Transmissão do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Ramo	Área	Resistência(pu)	Reatância(pu)	Capacitância(pu)
100 - 101#2	1	0,00171	0,027	2,302
100 - 101#1	1	0,00172	0,0272	2,314
100 - 210#1	1	0,00209	0,02935	2,546
100 - 535#1	1	0,00153	0,024	2,038
101 - 103#1	1	0,00152	0,0239	2,026
101 - 102#1	1	0,00156	0,0246	2,085
102 - 1503#1	1	0,0011	0,0191	1,619
104 - 103#1	1	0,00196	0,031	2,649
104 - 1503#1	1	0,0005	0,0082	0,694
122 - 103#1	1	0,00105	0,01619	1,364
122 - 103#2	1	0,00105	0,01619	1,364
210 - 370#1	1	0,00147	0,0232	1,966
233 - 210#1	1	0,0028	0,0399	3,554
233 - 320#1	1	0,0027	0,0387	3,440
320 - 360#1	1	0,00082	0,01256	0,990
320 - 210#1	1	0,00125	0,01937	1,500
325 - 360#1	1	0,001	0,01519	1,197
325 - 370#1	1	0,0028	0,0484	4,195
370 - 535#1	1	0,00093	0,01376	1,123
824 - 933#1	2	0,0001	0,00124	0,152
824 - 933#2	2	0,0001	0,00126	0,154
834 - 934#1	2	0,02444	0,12652	0,217
839 - 2458#1	2	0,0022	0,0109	0,019
839 - 2458#2	2	0,0017	0,0103	0,021
839 - 1047#1	2	0,0122	0,0769	0,138
839 - 898#1	2	0,0113	0,0699	0,126
856 - 933#1	2	0,00052	0,00654	0,805

856 - 1060#1	2	0,00056	0,00697	0,857
895 - 122#2	2	0,00308	0,03958	4,448
895 - 122#1	2	0,00308	0,03958	4,448
896 - 897#1	2	0,0005	0,0073	0,781
898 - 1047#1	2	0,0015	0,0089	0,016
933 - 959#1	2	0,002	0,0269	3,364
933 - 895#1	2	0,002	0,0255	3,127
933 - 955#1	2	0,00162	0,02048	2,502
934 - 1047#2	2	0,03041	0,15718	0,271
934 - 1047#1	2	0,03045	0,15738	0,271
938 - 955#1	2	0,00256	0,02922	3,604
938 - 959#1	2	0,00127	0,01603	1,959
939 - 1015#2	2	0,01283	0,06564	0,115
939 - 1015#1	2	0,01271	0,06562	0,113
955 - 964#1	2	0,00188	0,02347	2,872
959 - 895#1	2	0,0005	0,0044	0,476
960 - 834#1	2	0,0221	0,11475	0,197
960 - 1015#1	2	0,01892	0,09776	0,168
960 - 1015#2	2	0,01895	0,09704	0,170
964 - 976#1	2	0,00073	0,00916	1,122
976 - 995#1	2	0,00282	0,03852	4,937
995 - 1030#1	2	0,00073	0,0092	1,123
995 - 964#1	2	0,00164	0,03034	3,549
995 - 1060#1	2	0,00172	0,0217	2,652
1030 - 955#1	2	0,00047	0,0059	0,718
1060 - 897#1	2	0,00076	0,01171	1,246

Tabela 91 – Limites de Carregamento das Linhas de Transmissão do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Ramo	Área	Normal(MVA)	Máx(MVA)	Emerg(MVA)
100 - 101#2	1	1665	2460	1665
100 - 101#1	1	1665	2460	1665
100 - 210#1	1	1732	1732	1732
100 - 535#1	1	1665	1665	1665
101 - 103#1	1	1665	1665	1665
101 - 102#1	1	1665	1665	1665
102 - 1503#1	1	1665	1665	1665

104 - 103#1	1	1665	1665	1665
104 - 1503#1	1	1665	1665	1665
122 - 103#1	1	1665	1665	1665
122 - 103#2	1	1665	1665	1665
210 - 370#1	1	1665	1665	1665
233 - 210#1	1	2598	2598	2598
233 - 320#1	1	2598	2598	2598
320 - 360#1	1	2078	2078	2078
320 - 210#1	1	1948	1948	1948
325 - 360#1	1	2251	2251	2251
325 - 370#1	1	2205	2205	2205
370 - 535#1	1	2205	2205	2205
824 - 933#1	2	2182	2182	2182
824 - 933#2	2	2182	2182	2182
834 - 934#1	2	359	359	359
839 - 2458#1	2	319	413	319
839 - 2458#2	2	356	356	356
839 - 1047#1	2	189	323	189
839 - 898#1	2	189	318	189
856 - 933#1	2	2273	2273	2273
856 - 1060#1	2	2182	2182	2182
895 - 122#2	2	1299	2252	1299
895 - 122#1	2	1299	2252	1299
896 - 897#1	2	1637	1637	1637
898 - 1047#1	2	324	324	324
933 - 959#1	2	2182	2182	2182
933 - 895#1	2	2110	2110	2110
933 - 955#1	2	2110	2110	2110
934 - 1047#2	2	319	319	319
934 - 1047#1	2	319	319	319
938 - 955#1	2	2037	2037	2037
938 - 959#1	2	1266	1266	1266
939 - 1015#2	2	306	319	306
939 - 1015#1	2	306	319	306
955 - 964#1	2	1688	1688	1688
959 - 895#1	2	2110	2110	2110
960 - 834#1	2	319	319	319

960 - 1015#1	2	319	319	319
960 - 1015#2	2	319	319	319
964 - 976#1	2	1688	1688	1688
976 - 995#1	2	1688	1688	1688
995 - 1030#1	2	2182	2182	2182
995 - 964#1	2	2182	2182	2182
995 - 1060#1	2	2110	2110	2110
1030 - 955#1	2	2182	2182	2182
1060 - 897#1	2	2370	2681	2370

Tabela 92 – Transformadores do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

De#	Nome Barra De	Para# - Circ#	Nome da Barra Para	Área
100	MARIMBON-500	20 #1	MARIMBON-5GR	1
100	MARIMBON-500	213 #1	MARIMBON-345	1
102	POCOS—500	120 #1	P.CALDAS-345	1
103	CAMPINAS-500	123 #1	CAMPINAS-345	1
122	IBIUNA—500	48 #1	IBIUNA—3CS	1
210	ITUMBIARA500	18 #1	ITUMBIAR-4GR	1
210	ITUMBIARA500	217 #1	ITUMBIARA345	1
210	ITUMBIARA500	217 #2	ITUMBIARA345	1
234	SAMAMBAI-345	233 #1	SAMAMBAI-500	1
234	SAMAMBAI-345	233 #2	SAMAMBAI-500	1
320	EMBORCAC-500	300 #1	EMBORCAC-3GR	1
325	JAGUARA—500	301 #1	JAGUARA—3GR	1
325	JAGUARA—500	326 #1	JAGUARA—345	1
325	JAGUARA—500	326 #2	JAGUARA—345	1
360	NPONTE—500	302 #1	N.PONTE—3GR	1
370	SSIMAO—500	303 #1	S.SIMAO—3GR	1
535	AVERMELHA500	500 #1	A.VERMEL-4GR	1
536	AVERMELH-440	535 #1	AVERMELHA500	1
814	BATEIAS—230	895 #1	BATEIAS—500	2
814	BATEIAS—230	895 #2	BATEIAS—500	2
824	GBMUNHOZ-500	800 #1	GBMUNHOZ-3GR	2
839	CASCADEL-230	840 #1	CASCADEL-138	2
839	CASCADEL-230	840 #2	CASCADEL-138	2
856	SEGREDO—500	810 #1	SSEGREDO-4GR	2
897	SCAXIAS—500	808 #1	SCAXIAS—4GR	2

898	FCHOPIM-230	848 #1	FCHOPIM-138	2
934	AREIA-230	933 #1	AREIA-500	2
939	BLUMENAU-230	938 #1	BLUMENAU-500	2
939	BLUMENAU-230	938 #2	BLUMENAU-500	2
939	BLUMENAU-230	938 #3	BLUMENAU-500	2
960	CURITIBA-230	959 #1	CURITIBA-500	2
960	CURITIBA-230	959 #2	CURITIBA-500	2
965	CAXIAS-230	964 #1	CAXIAS-500	2
965	CAXIAS-230	964 #2	CAXIAS-500	2
995	ITA-500	904 #1	ITA-3GR	2
1030	MACHADIN-500	915 #1	MACHADIN-2GR	2
1047	SOSORIO-230	919 #1	SOSOR1A4-4GR	2
1060	SSANTIAG-500	925 #1	SSANTIAG-3GR	2
1210	GRAVATAI-230	976 #1	GRAVATAI-500	2
1210	GRAVATAI-230	976 #2	GRAVATAI-500	2
1210	GRAVATAI-230	976 #3	GRAVATAI-500	2
1503	ITAJUBA-500	1504 #1	ITAJUBA-138	1
2458	CASCAVEL-230	896 #1	CASCAVELO500	2

Tabela 93 – Dados Elétricos de Transformadores do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

DePara#Circ	Área	Tipo	Resistência (pu)	Reatância (pu)
100 - 20 #1	1	Trafo	0,000000	0,012640
100 - 213 #1	1	Trafo	0,000000	0,023570
102 - 120 #1	1	Trafo	0,000000	0,024030
103 - 123 #1	1	Trafo	0,000000	0,024190
122 - 48 #1	1	Trafo	0,000000	0,009530
210 - 18 #1	1	Trafo	0,000000	0,010000
210 - 217 #1	1	Trafo	0,000000	0,017200
210 - 217 #2	1	Trafo	0,000000	0,017200
234 - 233 #1	1	Trafo	0,000000	0,011130
234 - 233 #2	1	Trafo	0,000000	0,010000
320 - 300 #1	1	Trafo	0,000000	0,013570
325 - 301 #1	1	Trafo	0,000000	0,035100
325 - 326 #1	1	Trafo	0,000000	0,021600
325 - 326 #2	1	Trafo	0,000000	0,021600
360 - 302 #1	1	Trafo	0,000000	0,019370
370 - 303 #1	1	Trafo	0,000000	0,014100

535 - 500 #1	1	Trafo	0,000000	0,010250
536 - 535 #1	1	Trafo	0,000000	0,014200
814 - 895 #1	2	OLTC(ON)	0,000320	0,011460
814 - 895 #2	2	OLTC(ON)	0,000300	0,011650
824 - 800 #1	2	Trafo	0,000000	0,011200
839 - 840 #1	2	OLTC(ON)	0,000000	0,066400
839 - 840 #2	2	OLTC(ON)	0,000000	0,062900
856 - 810 #1	2	Trafo	0,000000	0,010500
897 - 808 #1	2	Trafo	0,000000	0,010200
898 - 848 #1	2	OLTC(ON)	0,000000	0,063600
934 - 933 #1	2	OLTC(ON)	0,000310	0,012070
939 - 938 #1	2	OLTC(ON)	0,000310	0,011500
939 - 938 #2	2	OLTC(ON)	0,000320	0,011630
939 - 938 #3	2	OLTC(ON)	0,000000	0,012770
960 - 959 #1	2	OLTC(ON)	0,000320	0,011630
960 - 959 #2	2	OLTC(ON)	0,000310	0,011660
965 - 964 #1	2	OLTC(ON)	0,000200	0,012110
965 - 964 #2	2	OLTC(ON)	0,000200	0,012330
995 - 904 #1	2	Trafo	0,000120	0,015380
1030 - 915 #1	2	Trafo	0,000000	0,020650
1047 - 919 #1	2	Trafo	0,000240	0,017020
1060 - 925 #1	2	Trafo	0,000110	0,015150
1210 - 976 #1	2	OLTC(ON)	0,000300	0,012190
1210 - 976 #2	2	OLTC(ON)	0,000390	0,011380
1210 - 976 #3	2	OLTC(ON)	0,000360	0,012170
1503 - 1504 #1	1	OLTC(ON)	0,000000	0,052000
2458 - 896 #1	2	OLTC(ON)	0,000000	0,012700

Tabela 94 – Barras Controladas e Taps dos Transformadores do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

DePara#Circ	Area	NumBarra Control	Tap Min	Tap Max
100 - 20 #1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
100 - 213 #1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
102 - 120 #1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
103 - 123 #1	1	-	0,960 pu	0,960 pu
122 - 48 #1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
210 - 18 #1	1	-	1,000 pu	1,000 pu

210 - 217 #1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
210 - 217 #2	1	-	1,000 pu	1,000 pu
234 - 233 #1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
234 - 233 #2	1	-	1,000 pu	1,000 pu
320 - 300 #1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
325 - 301 #1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
325 - 326 #1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
325 - 326 #2	1	-	1,000 pu	1,000 pu
360 - 302 #1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
370 - 303 #1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
535 - 500 #1	1	-	1,010 pu	1,010 pu
536 - 535 #1	1	-	0,950 pu	0,950 pu
814 - 895 #1	2	814 - BATEIAS-230	0,900 pu	1,100 pu
814 - 895 #2	2	814 - BATEIAS-230	0,900 pu	1,100 pu
824 - 800 #1	2		1,024 pu	1,024 pu
839 - 840 #1	2	839 - CASCAVEL-230	0,881 pu	1,136 pu
839 - 840 #2	2	839 - CASCAVEL-230	0,881 pu	1,136 pu
856 - 810 #1	2	-	1,000 pu	1,000 pu
897 - 808 #1	2	-	1,024 pu	1,024 pu
898 - 848 #1	2	898 - FCHOPIM-230	0,881 pu	1,136 pu
934 - 933 #1	2	934 - AREIA-230	0,900 pu	1,100 pu
939 - 938 #1	2	939 - BLUMENAU-230	0,900 pu	1,100 pu
939 - 938 #2	2	939 - BLUMENAU-230	0,900 pu	1,100 pu
939 - 938 #3	2	939 - BLUMENAU-230	0,900 pu	1,100 pu
960 - 959 #1	2	960 - CURITIBA-230	0,900 pu	1,100 pu
960 - 959 #2	2	960 - CURITIBA-230	0,900 pu	1,100 pu
965 - 964 #1	2	965 - CAXIAS-230	0,900 pu	1,100 pu
965 - 964 #2	2	965 - CAXIAS-230	0,900 pu	1,100 pu
995 - 904 #1	2	-	1,000 pu	1,000 pu
1030 - 915 #1	2	-	1,000 pu	1,000 pu
1047 - 919 #1	2	-	1,025 pu	1,025 pu
1060 - 925 #1	2	-	1,024 pu	1,024 pu
1210 - 976 #1	2	1210 - GRAVATAI-230	0,900 pu	1,100 pu
1210 - 976 #2	2	1210 - GRAVATAI-230	0,900 pu	1,100 pu
1210 - 976 #3	2	1210 - GRAVATAI-230	0,900 pu	1,100 pu
1503 - 1504 #1	1	1503 - ITAJUBA-500	0,950 pu	1,100 pu
2458 - 896 #1	2	2458 - CASCAVEL-230	0,900 pu	1,100 pu

Tabela 95 – Limites de Carregamentos dos Transformadores do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Ramo	Área	Normal(MVA)	Máx(MVA)	Emerg(MVA)
100 - 20 #1	1	1520	1520	1520
100 - 213 #1	1	560	560	560
102 - 120 #1	1	560	560	560
103 - 123 #1	1	560	560	560
122 - 48 #1	1	1050	1050	1050
210 - 18 #1	1	2400	2400	2400
210 - 217 #1	1	560	560	560
210 - 217 #2	1	560	560	560
234 - 233 #1	1	1050	1050	1050
234 - 233 #2	1	1050	1050	1050
320 - 300 #1	1	1200	1200	1200
325 - 301 #1	1	500	500	500
325 - 326 #1	1	400	483	400
325 - 326 #2	1	400	483	400
360 - 302 #1	1	537	537	537
370 - 303 #1	1	1740	1740	1740
535 - 500 #1	1	1500	1500	1500
536 - 535 #1	1	750	900	750
814 - 895 #1	2	600	600	600
814 - 895 #2	2	600	600	600
824 - 800 #1	2	1676	1676	1676
839 - 840 #1	2	150	150	150
839 - 840 #2	2	150	150	150
856 - 810 #1	2	1260	1260	1260
897 - 808 #1	2	1344	1478	1344
898 - 848 #1	2	150	150	150
934 - 933 #1	2	672	806	672
939 - 938 #1	2	672	806	672
939 - 938 #2	2	672	806	672
939 - 938 #3	2	672	672	672
960 - 959 #1	2	672	806	672
960 - 959 #2	2	672	806	672
965 - 964 #1	2	672	806	672
965 - 964 #2	2	672	806	672

995 - 904 #1	2	1625	1625	1625
1030 - 915 #1	2	1254	1254	1254
1047 - 919 #1	2	788	788	788
1060 - 925 #1	2	1402	1402	1402
1210 - 976 #1	2	672	806	672
1210 - 976 #2	2	672	806	672
1210 - 976 #3	2	672	806	672
1503 - 1504 #1	1	300	300	300
2458 - 896 #1	2	600	600	600

Tabela 96 – Dados de Compensação Reativa do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	Área	BSht (Mvar)
959	CURITIBA-500	2	100,0

Tabela 97 – Limites de Tensão do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Nível Tensão	Vminn	Vmaxn	Vmine	Vmaxe
13,8 kV	0,95 pu	1,05 pu	0,95 pu	1,05 pu
440,0 kV	0,95 pu	1,10 pu	0,95 pu	1,10 pu
500,0 kV	0,95 pu	1,07 pu	0,95 pu	1,07 pu

## ANEXO B – Dados para o Fluxo de Potência do Sistema Equivalente Sul-Sudeste Operando de Forma Interligada

Este anexo mostra os dados para o fluxo de potência do sistema Sul-Sudeste de 65 barras operando de forma interligada, para os quatro patamares de carga analisados. Os dados deste anexo foram obtidos ( e adaptados) do trabalho de Alves ([ALVES, 2007](#)).

### B.1 Fluxo de Potência - Carga Elevada - Área 1 - Exportando

Tabela 98 – Barras de Geração e Barra *Swing* do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	Área	Tipo	Volt (pu)
18	ITUMBIAR-4GR	1	SW	1,045
20	MARIMBON-5GR	1	PV	1,047
48	IBIUNA—3CS	1	PV	1,047
300	EMBORCAC-3GR	1	PV	1,030
301	JAGUARA—3GR	1	PV	1,035
302	N.PONTE—3GR	1	PV	1,043
303	S.SIMAO—3GR	1	PV	1,045
500	A.VERMEL-4GR	1	PV	1,035
800	GBMUNHOZ-3GR	2	PV	1,010
808	SCAXIAS—4GR	2	PV	1,010
810	SSEGREDO-4GR	2	PV	1,010
904	ITA—3GR	2	PV	1,040
915	MACHADIN-2GR	2	PV	1,020
919	SOSOR1A4-4GR	2	PV	1,030
925	SSANTIAG-3GR	2	PV	1,010

Tabela 99 – Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome	P(MW)*	Q(MVAr)*	Pm(MW)'	PM(MW)'
18 - ITUMBIAR-4GR	213,8	-28,4	200,0	380,0
20 - MARIMBON-5GR	112,5	39,2	110,0	186,0
48 - IBIUNA—3CS	0,0	-40,8	0,0	0,0

300 - EMBORCAC-3GR	175,0	-63,1	190,0	298,0
301 - JAGUARA-3GR	62,5	-33,9	80,0	100,0
302 - N.PONTE-3GR	116,7	-50,0	110,0	170,0
303 - S.SIMAO-3GR	116,7	-48,2	180,0	280,0
500 - A.VERMEL-4GR	133,3	77,8	125,0	232,7
800 - GBMUNHOZ-3GR	262,2	-55,3	240,0	418,5
808 - SCAXIAS-4GR	210,0	-15,6	235,0	310,0
810 - SSEGREDO-4GR	187,5	-90,9	180,0	315,0
904 -ITA-3GR	138,0	-51,7	170,0	290,0
915 - MACHADIN-2GR	193,3	-92,2	260,0	380,0
919 - SOSOR1A4-4GR	162,5	33,8	120,0	182,0
925 - SSANTIAG-3GR	212,5	-23,1	220,0	355,0

Tabela 100 – Continuação da Tabela 99 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome da Barra	Qmin(MVAr) <sup>'</sup>	Qmax(MVAr) <sup>'</sup>	VSpec (pu)
18 - ITUMBIAR-4GR	-91,0	100,0	1.045
20 - MARIMBON-5GR	-80,0	80,0	1.047
48 - IBIUNA-3CS	-270,0	300,0	1.047
300 - EMBORCAC-3GR	-110,0	98,0	1.030
301 - JAGUARA-3GR	-35,0	35,0	1.035
302 - N.PONTE-3GR	-50,0	50,0	1.035
303 - S.SIMAO-3GR	-100,0	100,0	1.045
500 - A.VERMEL-4GR	-90,0	90,0	1.035
800 - GBMUNHOZ-3GR	-200,0	200,0	1.010
808 - SCAXIAS-4GR	-150,0	150,0	1.010
810 - SSEGREDO-4GR	-100,0	133,0	1.010
904 -ITA-3GR	-95,0	95,0	1.040
915 - MACHADIN-2GR	-172,0	155,0	1.020
919 - SOSOR1A4-4GR	-37,0	55,0	1.030
925 - SSANTIAG-3GR	-110,0	105,0	1.010

\* Estes valores devem ser multiplicados pelo número de máquinas da Tabela 88.

<sup>'</sup> Estes valores de limites são referentes a uma unidade geradora.

Tabela 101 – Compensação Reativa do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

<b>Barra</b>	<b>Nome da Barra</b>	<b>Área</b>	<b>BSht (Mvar)</b>
959	CURITIBA-500	2	100,0

Tabela 102 – Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

<b>Barra</b>	<b>Nome da Barra</b>	<b>MW PConst</b>	<b>Mvar QConst</b>
104	C.PAULIS-500	1200,0	150,0
120	P.CALDAS-345	105,0	33,0
122	IBIUNA—500	200,0	38,0
123	CAMPINAS-345	440,0	160,0
213	MARIMBON-345	75,0	25,0
217	ITUMBIARA345	454,0	48,0
234	SAMAMBAI-345	900,0	300,0
326	JAGUARA—345	214,0	74,0
536	AVERMELH-440	700,0	150,0
814	BATEIAS—230	735,4	191,0
834	S.MATEUS-230	13,4	4,2
840	CASCADEL-138	159,0	36,0
848	FCHOPIM—138	94,0	18,0
934	AREIA—230	237,0	59,0
939	BLUMENAU-230	1149,0	53,1
960	CURITIBA-230	844,7	469,1
965	CAXIAS—230	755,6	56,2
1015	JOINVILLE230	70,0	2,0
1210	GRAVATAI-230	1228,0	425,0
1504	ITAJUBA—138	110,0	43,0
2458	CASCADEL-230	403,0	126,0

## B.2 Fluxo de Potência - Carga Elevada - Área 2 - Exportando

Tabela 103 – Barras de Geração e Barra *Swing* do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	Área	Tipo	Volt (pu)
18	ITUMBIAR-4GR	1	SW	1,000
20	MARIMBON-5GR	1	PV	1,010
48	IBIUNA—3CS	1	PV	1,000
300	EMBORCAC-3GR	1	PV	1,000
301	JAGUARA–3GR	1	PV	1,020
302	N.PONTE–3GR	1	PV	1,010
303	S.SIMAO–3GR	1	PV	1,010
500	A.VERMEL-4GR	1	PV	1,020
800	GBMUNHOZ-3GR	2	PV	1,030
808	SCAXIAS–4GR	2	PV	1,030
810	SSEGREDO-4GR	2	PV	1,030
904	ITA——3GR	2	PV	1,040
915	MACHADIN-2GR	2	PV	1,030
919	SOSOR1A4-4GR	2	PV	1,030
925	SSANTIAG-3GR	2	PV	1,030

Tabela 104 – Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome	Pg(MW)*	Qg(MVAr)*	Pm(MW)'	PM(MW)'
18 - ITUMBIAR-4GR	133,4	-55,4	200,0	380,0
20 - MARIMBON-5GR	112,5	-31,6	110,0	186,0
48 - IBIUNA—3CS	0,0	-154,4	0,0	0,0
300 - EMBORCAC-3GR	175,0	-54,3	190,0	298,0
301 - JAGUARA–3GR	62,5	-21,3	80,0	100,0
302 - N.PONTE–3GR	116,7	-48,5	110,0	170,0
303 - S.SIMAO–3GR	33,3	-41,2	180,0	280,0
500 - A.VERMEL-4GR	133,3	-10,1	125,0	232,7
800 - GBMUNHOZ-3GR	262,2	1,3	240,0	418,5
808 - SCAXIAS–4GR	287,5	11,5	235,0	310,0
810 - SSEGREDO-4GR	300,0	-39,4	180,0	315,0
904 -ITA——3GR	140,0	-45,9	170,0	290,0
915 - MACHADIN-2GR	200,0	-68,2	260,0	380,0
919 - SOSOR1A4-4GR	175,0	38,8	120,0	182,0
925 - SSANTIAG-3GR	237,5	3,3	220,0	355,0

Tabela 105 – Continuação da Tabela 104 - Gerações e Seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome	Qmin(MVAr)'	Qmax(MVAr)'	VSpec (pu)
18 - ITUMBIAR-4GR	-91,0	100,0	1,000
20 - MARIMBON-5GR	-80,0	80,0	1,010
48 - IBIUNA—3CS	-270,0	300,0	1,000
300 - EMBORCAC-3GR	-110,0	98,0	1,000
301 - JAGUARA—3GR	-35,0	35,0	1,020
302 - N.PONTE—3GR	-50,0	50,0	1,010
303 - S.SIMAO—3GR	-100,0	100,0	1,010
500 - A.VERMEL-4GR	-90,0	90,0	1,020
800 - GBMUNHOZ-3GR	-200,0	200,0	1,030
808 - SCAXIAS—4GR	-150,0	150,0	1,030
810 - SSEGREDO-4GR	-100,0	133,0	1,030
904 -ITA—3GR	-95,0	95,0	1,040
915 - MACHADIN-2GR	-172,0	155,0	1,030
919 - SOSOR1A4-4GR	-37,0	55,0	1,030
925 - SSANTIAG-3GR	-110,0	105,0	1,030

\* Estes valores devem ser multiplicados pelo número de máquinas da Tabela 88.

' Estes valores de limites são referentes a uma unidade geradora.

Tabela 106 – Compensação Reativa do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	Área	BSht (Mvar)
959	CURITIBA-500	2	100,0

Tabela 107 – Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

<b>Barra</b>	<b>Nome da Barra</b>	<b>MW PConst</b>	<b>Mvar QConst</b>
104	C.PAULIS-500	1200,0	150,0
120	P.CALDAS-345	105,0	33,0
122	IBIUNA—500	200,0	38,0
123	CAMPINAS-345	440,0	160,0
213	MARIMBON-345	75,0	25,0
217	ITUMBIARA345	454,0	48,0
234	SAMAMBAI-345	900,0	300,0
326	JAGUARA—345	214,0	74,0
536	AVERMELH-440	700,0	150,0
814	BATEIAS—230	735,4	191,0
834	S.MATEUS-230	13,4	4,2
840	CASCAVEL-138	159,0	36,0
848	FCHOPIM—138	94,0	18,0
934	AREIA—-230	237,0	59,0
939	BLUMENAU-230	1149,0	53,1
960	CURITIBA-230	844,7	469,1
965	CAXIAS—230	755,6	56,2
1015	JOINVILLE230	70,0	2,0
1210	GRAVATAI-230	1228,0	425,0
1504	ITAJUBA—138	110,0	43,0
2458	CASCAVEL-230	403,0	126,0

### B.3 Fluxo de Potência - Carga Moderada - Área 1 - Exportando

Tabela 108 – Barras de Geração e Barra *Swing* do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	Área	Tipo	Volt (pu)
18	ITUMBIAR-4GR	1	SW	1,045
20	MARIMBON-5GR	1	PV	1,020
48	IBIUNA—3CS	1	PV	0,980
300	EMBORCAC-3GR	1	PV	1,030
301	JAGUARA—3GR	1	PV	1,025
302	N.PONTE—3GR	1	PV	1,040
303	S.SIMAO—3GR	1	PV	1,025
500	A.VERMEL-4GR	1	PV	1,035
800	GBMUNHOZ-3GR	2	PV	1,010
808	SCAXIAS—4GR	2	PV	1,010
810	SSEGREDO-4GR	2	PV	1,010
904	ITA——3GR	2	PV	1,020
915	MACHADIN-2GR	2	PV	1,020
919	SOSOR1A4-4GR	2	PV	1,030
925	SSANTIAG-3GR	2	PV	1,010

Tabela 109 – Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome	Pg(MW)*	Qg(MVAr)*	Pm(MW)'	PM(MW)'
18 - ITUMBIAR-4GR	182,0	-27,7	200,0	380,0
20 - MARIMBON-5GR	112,5	-12,7	110,0	186,0
48 - IBIUNA—3CS	0,0	-155,4	0,0	0,0
300 - EMBORCAC-3GR	150,0	-62,1	190,0	298,0
301 - JAGUARA—3GR	62,5	-33,3	80,0	100,0
302 - N.PONTE—3GR	50,0	-50,0	110,0	170,0
303 - S.SIMAO—3GR	100,0	-43,0	180,0	280,0
500 - A.VERMEL-4GR	100,0	4,3	125,0	232,7
800 - GBMUNHOZ-3GR	186,9	-62,5	240,0	418,5
808 - SCAXIAS—4GR	210,0	-18,8	235,0	310,0
810 - SSEGREDO-4GR	187,5	-90,6	180,0	315,0
904 -ITA——3GR	138,0	-78,7	170,0	290,0
915 - MACHADIN-2GR	193,3	-96,9	260,0	380,0
919 - SOSOR1A4-4GR	162,5	32,2	120,0	182,0
925 - SSANTIAG-3GR	212,5	-24,1	220,0	355,0

Tabela 110 – Continuação da Tabela 109 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome da Barra	Qmin(MVAr)'	Qmax(MVAr)'	VSpec (pu)
18 - ITUMBIAR-4GR	-91,0	100,0	1,045
20 - MARIMBON-5GR	-80,0	80,0	1,020
48 - IBIUNA—3CS	-270,0	300,0	0,980
300 - EMBORCAC-3GR	-110,0	98,0	1,030
301 - JAGUARA—3GR	-35,0	35,0	1,025
302 - N.PONTE—3GR	-50,0	50,0	1,035
303 - S.SIMAO—3GR	-100,0	100,0	1,025
500 - A.VERMEL-4GR	-90,0	90,0	1,035
800 - GBMUNHOZ-3GR	-200,0	200,0	1,010
808 - SCAXIAS—4GR	-150,0	150,0	1,010
810 - SSEGREDO-4GR	-100,0	133,0	1,010
904 -ITA—3GR	-95,0	95,0	1,020
915 - MACHADIN-2GR	-172,0	155,0	1,020
919 - SOSOR1A4-4GR	-37,0	55,0	1,030
925 - SSANTIAG-3GR	-110,0	105,0	1,010

\* Estes valores devem ser multiplicados pelo número de máquinas da Tabela 88.

' Estes valores de limites são referentes a uma unidade geradora.

Tabela 111 – Compensação Reativa do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	Área	BSht (Mvar)
959	CURITIBA-500	2	0,0

Tabela 112 – Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

<b>Barra</b>	<b>Nome da Barra</b>	<b>MW PConst</b>	<b>Mvar QConst</b>
104	C.PAULIS-500	1080,0	165,0
120	P.CALDAS-345	94,5	36,3
122	IBIUNA—500	180,0	41,8
123	CAMPINAS-345	396,0	176,0
213	MARIMBON-345	67,5	27,5
217	ITUMBIARA345	408,6	52,8
234	SAMAMBAI-345	810,0	330,0
326	JAGUARA—345	192,6	81,4
536	AVERMELH-440	630,0	165,0
814	BATEIAS—230	661,9	171,9
834	S.MATEUS-230	12,1	3,8
840	CASCAVEL-138	143,1	32,4
848	FCHOPIM—138	84,6	16,2
934	AREIA—-230	213,3	53,1
939	BLUMENAU-230	1034,0	47,8
960	CURITIBA-230	760,2	422,2
965	CAXIAS—230	680,0	50,6
1015	JOINVILLE230	63,0	1,8
1210	GRAVATAI-230	1105,0	382,5

## B.4 Fluxo de Potência - Carga Reduzida - Área 1 - Exportando

Tabela 113 – Barras de Geração e Barra *Swing* do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	Área	Tipo	Volt (pu)
18	ITUMBIAR-4GR	1	SW	1,045
20	MARIMBON-5GR	1	PV	1,020
48	IBIUNA—3CS	1	PV	0,980
300	EMBORCAC-3GR	1	PV	1,030
301	JAGUARA—3GR	1	PV	1,025
302	N.PONTE—3GR	1	PV	1,039
303	S.SIMAO—3GR	1	PV	1,025
500	A.VERMEL-4GR	1	PV	1,035
800	GBMUNHOZ-3GR	2	PV	1,000
808	SCAXIAS—4GR	2	PV	1,010
810	SSEGREDO-4GR	2	PV	1,001
904	ITA——3GR	2	PV	1,002
915	MACHADIN-2GR	2	PV	1,000
919	SOSOR1A4-4GR	2	PV	1,000
925	SSANTIAG-3GR	2	PV	0,980

Tabela 114 – Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome	Pg(MW)*	Qg(MVAr)*	Pm(MW)'	PM(MW)'
18 - ITUMBIAR-4GR	238,8	-11,2	200,0	380,0
20 - MARIMBON-5GR	103,5	13,3	110,0	186,0
48 - IBIUNA—3CS	0,0	-114,0	0,0	0,0
300 - EMBORCAC-3GR	138,0	-62,5	190,0	298,0
301 - JAGUARA—3GR	57,5	-33,5	80,0	100,0
302 - N.PONTE—3GR	46,0	-50,0	110,0	170,0
303 - S.SIMAO—3GR	92,0	-38,7	180,0	280,0
500 - A.VERMEL-4GR	92,0	15,1	125,0	232,7
800 - GBMUNHOZ-3GR	172,0	-79,4	240,0	418,5
808 - SCAXIAS—4GR	168,2	-8,2	235,0	310,0
810 - SSEGREDO-4GR	147,5	-100,0	180,0	315,0
904 -ITA——3GR	107,0	-95,0	170,0	290,0
915 - MACHADIN-2GR	177,9	-119,4	260,0	380,0
919 - SOSOR1A4-4GR	149,5	12,9	120,0	182,0
925 - SSANTIAG-3GR	170,5	-60,1	220,0	355,0

Tabela 115 – Continuação da Tabela 114 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome da Barra	Qmin(MVAr)'	Qmax(MVAr)'	VSpec (pu)
18 - ITUMBIAR-4GR	-91,0	100,0	1,045
20 - MARIMBON-5GR	-80,0	80,0	1,020
48 - IBIUNA—3CS	-270,0	300,0	0,980
300 - EMBORCAC-3GR	-110,0	98,0	1,030
301 - JAGUARA—3GR	-35,0	35,0	1,025
302 - N.PONTE—3GR	-50,0	50,0	1,035
303 - S.SIMAO—3GR	-100,0	100,0	1,025
500 - A.VERMEL-4GR	-90,0	90,0	1,035
800 - GBMUNHOZ-3GR	-200,0	200,0	1,000
808 - SCAXIAS—4GR	-150,0	150,0	1,010
810 - SSEGREDO-4GR	-100,0	133,0	1,000
904 -ITA—3GR	-95,0	95,0	1,000
915 - MACHADIN-2GR	-172,0	155,0	1,000
919 - SOSOR1A4-4GR	-37,0	55,0	1,000
925 - SSANTIAG-3GR	-110,0	105,0	0,980

\* Estes valores devem ser multiplicados pelo número de máquinas da Tabela 88.

' Estes valores de limites são referentes a uma unidade geradora.

Tabela 116 – Compensação Reativa do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	Área	BSht (Mvar)
959	CURITIBA-500	2	0,0

Tabela 117 – Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

<b>Barra</b>	<b>Nome da Barra</b>	<b>MW PConst</b>	<b>Mvar QConst</b>
104	C.PAULIS-500	1080,0	165,0
120	P.CALDAS-345	94,5	36,3
122	IBIUNA—500	180,0	41,8
123	CAMPINAS-345	396,0	176,0
213	MARIMBON-345	67,5	27,5
217	ITUMBIARA345	408,6	52,8
234	SAMAMBAI-345	810,0	330,0
326	JAGUARA—345	192,6	81,4
536	AVERMELH-440	630,0	165,0
814	BATEIAS—230	661,9	171,9
834	S.MATEUS-230	12,1	3,8
840	CASCAVEL-138	143,1	32,4
848	FCHOPIM—138	84,6	16,2
934	AREIA—-230	213,3	53,1
939	BLUMENAU-230	1034,0	47,8
960	CURITIBA-230	760,2	422,2
965	CAXIAS—230	680,0	50,6
1015	JOINVILLE230	63,0	1,8
1210	GRAVATAI-230	1105,0	382,5
1504	ITAJUBA—138	99,0	40,0
2458	CASCAVEL-230	362,7	113,4

# ANEXO C – Dados para o Fluxo de Potência do Sistema Equivalente Sul-Sudeste Operando de Forma Ilhada - Área 1

Este anexo mostra os dados para o fluxo de potência do sistema Sul-Sudeste operando de forma ilhada (ilha1), para os quatro patamares de carga analisados. Os dados deste anexo foram obtidos ( e adaptados) do trabalho de Alves ([ALVES, 2007](#)).

## C.1 Fluxo de Potência - Carga Elevada - Área 1 - Exportando - Ilha 1

Tabela 118 – Barras de Geração e Barra *Swing* do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	Área	Tipo	Volt (pu)
18	ITUMBIAR-4GR	1	SW	1,045
20	MARIMBON-5GR	1	PV	1,047
48	IBIUNA—3CS	1	PV	1,047
300	EMBORCAC-3GR	1	PV	1,030
301	JAGUARA—3GR	1	PV	1,023
302	N.PONTE—3GR	1	PV	1,037
303	S.SIMAO—3GR	1	PV	1,045
500	A.VERMEL-4GR	1	PV	1,035

Tabela 119 – Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	MW PConst	Mvar QConst
104	C.PAULIS-500	1200,0	150,0
120	P.CALDAS-345	105,0	33,0
122	IBIUNA—500	200,0	38,0
123	CAMPINAS-345	440,0	160,0
213	MARIMBON-345	75,0	25,0
217	ITUMBIARA345	454,0	48,0
234	SAMAMBAI-345	900,0	300,0
326	JAGUARA—345	214,0	74,0
536	AVERMELH-440	700,0	150,0
1504	ITAJUBA—138	110,0	43,0

Tabela 120 – Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome	Pg(MW)*	Qg(MVAr)*	Pm(MW)'	PM(MW)'
18 - ITUMBIAR-4GR	135,6	-35,1	200,0	380,0
20 - MARIMBON-5GR	112,5	5,9	110,0	186,0
48 - IBIUNA—3CS	0,0	13,8	0,0	0,0
300 - EMBORCAC-3GR	175,0	-58,1	190,0	298,0
301 - JAGUARA—3GR	62,5	-35,0	80,0	100,0
302 - N.PONTE—3GR	116,7	-50,0	110,0	170,0
303 - S.SIMAO—3GR	116,7	-26,1	180,0	280,0
500 - A.VERMEL-4GR	133,3	-8,2	125,0	232,7

Tabela 121 – Continuação da Tabela 120 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome da Barra	Qmin(MVAr)'	Qmax(MVAr)'	VSpec (pu)
18 - ITUMBIAR-4GR	-91,0	100,0	1,045
20 - MARIMBON-5GR	-80,0	80,0	1,047
48 - IBIUNA—3CS	-270,0	300,0	1,047
300 - EMBORCAC-3GR	-110,0	98,0	1,030
301 - JAGUARA—3GR	-35,0	35,0	1,015
302 - N.PONTE—3GR	-50,0	50,0	1,035
303 - S.SIMAO—3GR	-100,0	100,0	1,045
500 - A.VERMEL-4GR	-90,0	90,0	1,035

\* Estes valores devem ser multiplicados pelo número de máquinas da Tabela 88.

' Estes valores de limites são referentes a uma unidade geradora.

## C.2 Fluxo de Potência - Carga Elevada - Área 2 - Exportando - Ilha 1

Tabela 122 – Barras de Geração e Barra *Swing* do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	Área	Tipo	Volt (pu)
18	ITUMBIAR-4GR	1	SW	1,040
20	MARIMBON-5GR	1	PV	1,040
48	IBIUNA—3CS	1	PV	1,040
300	EMBORCAC-3GR	1	PV	1,000
301	JAGUARA—3GR	1	PV	1,020
302	N.PONTE—3GR	1	PV	1,014
303	S.SIMAO—3GR	1	PV	1,010
500	A.VERMEL-4GR	1	PV	1,020

Tabela 123 – Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	MW PConst	Mvar QConst
104	C.PAULIS-500	1200,0	150,0
120	P.CALDAS-345	105,0	33,0
122	IBIUNA—500	200,0	38,0
123	CAMPINAS-345	440,0	160,0
213	MARIMBON-345	75,0	25,0
217	ITUMBIARA345	454,0	48,0
234	SAMAMBAI-345	900,0	300,0
326	JAGUARA—345	214,0	74,0
536	AVERMELH-440	700,0	150,0
1504	ITAJUBA—138	110,0	43,0

Tabela 124 – Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome	Pg(MW)*	Qg(MVAr)*	Pm(MW)'	P(MW)'
18 - ITUMBIAR-4GR	219,9	-3,8	200,0	380,0
20 - MARIMBON-5GR	112,5	18,5	110,0	186,0
48 - IBIUNA—3CS	0,0	36,4	0,0	0,0
300 - EMBORCAC-3GR	175,0	-65,8	190,0	298,0
301 - JAGUARA—3GR	62,5	-23,0	80,0	100,0
302 - N.PONTE—3GR	116,7	-50,0	110,0	170,0
303 - S.SIMAO—3GR	33,3	-42,2	180,0	280,0
500 - A.VERMEL-4GR	133,3	-1,6	125,0	232,7

Tabela 125 – Continuação da Tabela 124 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome da Barra	Qmin(MVAr) <sup>'</sup>	Qmax(MVAr) <sup>'</sup>	VSpec (pu)
18 - ITUMBIAR-4GR	-91,0	100,0	1,045
20 - MARIMBON-5GR	-80,0	80,0	1,047
48 - IBIUNA—3CS	-270,0	300,0	1,047
300 - EMBORCAC-3GR	-110,0	98,0	1,030
301 - JAGUARA—3GR	-35,0	35,0	1,015
302 - N.PONTE—3GR	-50,0	50,0	1,035
303 - S.SIMAO—3GR	-100,0	100,0	1,045
500 - A.VERMEL-4GR	-90,0	90,0	1,035

\* Estes valores devem ser multiplicados pelo número de máquinas da Tabela 88.

<sup>'</sup> Estes valores de limites são referentes a uma unidade geradora.

### C.3 Fluxo de Potência - Carga Moderada - Área 1 - Exportando - Ilha 1

Tabela 126 – Barras de Geração e Barra *Swing* do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	Área	Tipo	Volt (pu)
18	ITUMBIAR-4GR	1	SW	1,045
20	MARIMBON-5GR	1	PV	1,020
48	IBIUNA—3CS	1	PV	0,980
300	EMBORCAC-3GR	1	PV	1,030
301	JAGUARA—3GR	1	PV	1,025
302	N.PONTE—3GR	1	PV	1,039
303	S.SIMAO—3GR	1	PV	1,025
500	A.VERMEL-4GR	1	PV	1,035

Tabela 127 – Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	MW PConst	Mvar QConst
104	C.PAULIS-500	1080,0	165,0
120	P.CALDAS-345	94,5	36,3
122	IBIUNA—500	180,0	41,8
123	CAMPINAS-345	396,0	176,0
213	MARIMBON-345	67,5	27,5
217	ITUMBIARA345	408,6	52,8
234	SAMAMBAI-345	810,0	330,0
326	JAGUARA—345	192,6	81,4
536	AVERMELH-440	630,0	165,0
1504	ITAJUBA—138	99,0	40,0

Tabela 128 – Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome	Pg(MW)*	Qg(MVAr)*	Pm(MW)'	PM(MW)'
18 - ITUMBIAR-4GR	158,8	-29,2	200,0	380,0
20 - MARIMBON-5GR	112,5	-6,2	110,0	186,0
48 - IBIUNA—3CS	0,0	-10,5	0,0	0,0
300 - EMBORCAC-3GR	150,0	-61,7	190,0	298,0
301 - JAGUARA—3GR	62,5	-33,2	80,0	100,0
302 - N.PONTE—3GR	50,0	-50,0	110,0	170,0
303 - S.SIMAO—3GR	100,0	-42,6	180,0	280,0
500 - A.VERMEL-4GR	100,0	5,9	125,0	232,7

Tabela 129 – Continuação da Tabela 128 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome da Barra	Qmin(MVAr)'	Qmax(MVAr)'	VSpec (pu)
18 - ITUMBIAR-4GR	-91,0	100,0	1,045
20 - MARIMBON-5GR	-80,0	80,0	1,020
48 - IBIUNA—3CS	-270,0	300,0	0,980
300 - EMBORCAC-3GR	-110,0	98,0	1,030
301 - JAGUARA—3GR	-35,0	35,0	1,025
302 - N.PONTE—3GR	-50,0	50,0	1,035
303 - S.SIMAO—3GR	-100,0	100,0	1,025
500 - A.VERMEL-4GR	-90,0	90,0	1,035

\* Estes valores devem ser multiplicados pelo número de máquinas da Tabela 88.

' Estes valores de limites são referentes a uma unidade geradora.

## C.4 Fluxo de Potência - Carga Reduzida - Área 1 - Exportando - Ilha 1

Tabela 130 – Barras de Geração e Barra *Swing* do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	Área	Tipo	Volt (pu)
18	ITUMBIAR-4GR	1	SW	1,045
20	MARIMBON-5GR	1	PV	1,020
48	IBIUNA—3CS	1	PV	0,980
300	EMBORCAC-3GR	1	PV	1,030
301	JAGUARA—3GR	1	PV	1,031
302	N.PONTE—3GR	1	PV	1,047
303	S.SIMAO—3GR	1	PV	1,025
500	A.VERMEL-4GR	1	PV	1,035

Tabela 131 – Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	MW PConst	Mvar QConst
104	C.PAULIS-500	993,6	151,8
120	P.CALDAS-345	86,9	33,4
122	IBIUNA—500	165,6	38,5
123	CAMPINAS-345	364,3	161,9
213	MARIMBON-345	62,1	25,3
217	ITUMBIARA345	375,9	48,6
234	SAMAMBAI-345	745,2	303,6
326	JAGUARA—345	177,2	74,9
536	AVERMELH-440	579,6	151,8
1504	ITAJUBA—138	91,1	36,8

Tabela 132 – Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome	Pg(MW)*	Qg(MVAr)*	Pm(MW)'	PM(MW)'
18 - ITUMBIAR-4GR	143,9	-44,5	200,0	380,0
20 - MARIMBON-5GR	103,5	-28,1	110,0	186,0
48 - IBIUNA—3CS	0,0	-63,9	0,0	0,0
300 - EMBORCAC-3GR	138,0	-75,7	190,0	298,0
301 - JAGUARA—3GR	57,5	-35,0	80,0	100,0
302 - N.PONTE—3GR	46,0	-50,0	110,0	170,0
303 - S.SIMAO—3GR	92,0	-49,7	180,0	280,0
500 - A.VERMEL-4GR	92,0	-7,4	125,0	232,7

Tabela 133 – Continuação da Tabela 132 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome da Barra	Qmin(MVAr) <sup>'</sup>	Qmax(MVAr) <sup>'</sup>	VSpec (pu)
18 - ITUMBIAR-4GR	-91,0	100,0	1,045
20 - MARIMBON-5GR	-80,0	80,0	1,020
48 - IBIUNA—3CS	-270,0	300,0	0,980
300 - EMBORCAC-3GR	-110,0	98,0	1,030
301 - JAGUARA—3GR	-35,0	35,0	1,025
302 - N.PONTE—3GR	-50,0	50,0	1,035
303 - S.SIMAO—3GR	-100,0	100,0	1,025
500 - A.VERMEL-4GR	-90,0	90,0	1,035

\* Estes valores devem ser multiplicados pelo número de máquinas da tabela 88.

<sup>'</sup> Estes valores de limites são referentes a uma unidade geradora.

## ANEXO D – Dados para o Fluxo de Potência do Sistema Equivalente Sul-Sudeste Operando de Forma Ilhada - Área 2

Este anexo mostra os dados para o fluxo de potência do sistema Sul-Sudeste de 65 barras operando de forma ilhada (ilha2), para os quatro patamares de carga analisados. Os dados deste anexo foram obtidos ( e adaptados) do trabalho de Alves ([ALVES, 2007](#)).

### D.1 Fluxo de Potência - Carga Elevada - Área 1 - Exportando - Ilha 2

Tabela 134 – Barras de Geração e Barra *Swing* do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	Área	Tipo	Volt (pu)
800	GBMUNHOZ-3GR	2	SW	1,010
808	SCAXIAS-4GR	2	PV	1,010
810	SSEGREDO-4GR	2	PV	1,010
904	ITA—3GR	2	PV	1,040
915	MACHADIN-2GR	2	PV	1,020
919	SOSOR1A4-4GR	2	PV	1,030
925	SSANTIAG-3GR	2	PV	1,010

Tabela 135 – Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	MW PConst	Mvar QConst
814	BATEIAS-230	735,4	191,0
834	S,MATEUS-230	13,4	4,2
840	CASCAVEL-138	159,0	36,0
848	FCHOPIM-138	94,0	18,0
934	AREIA—230	237,0	59,0
939	BLUMENAU-230	1149,0	53,1
960	CURITIBA-230	844,7	469,1
965	CAXIAS—230	755,6	56,2
1015	JOINVILLE230	70,0	2,0
1210	GRAVATAI-230	1228,0	425,0
2458	CASCAVEL-230	403,0	126,0

Tabela 136 – Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome	Pg(MW)*	Qg(MVAr)*	Pm(MW)'	PM(MW)'
800 - GBMUNHOZ-3GR	371,3	60,4	240,0	418,5
808 - SCAXIAS-4GR	210,0	4,1	235,0	310,0
810 - SSEGREDO-4GR	187,5	-31,7	180,0	315,0
904 -ITA—3GR	138,0	-15,3	170,0	290,0
915 - MACHADIN-2GR	193,3	-36,4	260,0	380,0
919 - SOSOR1A4-4GR	162,5	34,2	120,0	182,0
925 - SSANTIAG-3GR	212,5	4,0	220,0	355,0

Tabela 137 – Continuação da Tabela 136 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome da Barra	Qmin(MVAr)'	Qmax(MVAr)'	VSpec (pu)
800 - GBMUNHOZ-3GR	-200,0	200,0	1,010
808 - SCAXIAS-4GR	-150,0	150,0	1,010
810 - SSEGREDO-4GR	-100,0	133,0	1,010
904 -ITA—3GR	-95,0	95,0	1,040
915 - MACHADIN-2GR	-172,0	155,0	1,020
919 - SOSOR1A4-4GR	-37,0	55,0	1,030
925 - SSANTIAG-3GR	-110,0	105,0	1,010

\* Estes valores devem ser multiplicados pelo número de máquinas da Tabela 88.

' Estes valores de limites são referentes a uma unidade geradora.

Tabela 138 – Compensação Reativa do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	Área	BSht (Mvar)
959	CURITIBA-500	2	100,0

## D.2 Fluxo de Potência - Carga Elevada - Área 2 - Exportando - Ilha 2

Tabela 139 – Barras de Geração e Barra *Swing* do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	Área	Tipo	Volt (pu)
800	GBMUNHOZ-3GR	2	SW	1,030
808	SCAXIAS-4GR	2	PV	1,030
810	SSEGREDO-4GR	2	PV	1,030
904	ITA—3GR	2	PV	1,040
915	MACHADIN-2GR	2	PV	1,030
919	SOSOR1A4-4GR	2	PV	1,030
925	SSANTIAG-3GR	2	PV	1,030

Tabela 140 – Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	MW PConst	Mvar QConst
814	BATEIAS-230	735,4	191,0
834	S.MATEUS-230	13,4	4,2
840	CASCAVEL-138	159,0	36,0
848	FCHOPIM-138	94,0	18,0
934	AREIA—230	237,0	59,0
939	BLUMENAU-230	1149,0	53,1
960	CURITIBA-230	844,7	469,1
965	CAXIAS—230	755,6	56,2
1015	JOINVILLE230	70,0	2,0
1210	GRAVATAI-230	1228,0	425,0
2458	CASCAVEL-230	403,0	126,0

Tabela 141 – Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome	Pg(MW)*	Qg(MVAr)*	Pm(MW)'	PM(MW)'
800 - GBMUNHOZ-3GR	140,6	33,9	240,0	418,5
808 - SCAXIAS-4GR	287,5	20,1	235,0	310,0
810 - SSEGREDO-4GR	300,0	-13,3	180,0	315,0
904 -ITA—3GR	140,0	-30,9	170,0	290,0
915 - MACHADIN-2GR	200,0	-44,4	260,0	380,0
919 - SOSOR1A4-4GR	175,0	37,5	120,0	182,0
925 - SSANTIAG-3GR	237,5	14,9	220,0	355,0

Tabela 142 – Continuação da Tabela 141 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome da Barra	Qmin(MVAr)'	Qmax(MVAr)'	VSpec (pu)
800 - GBMUNHOZ-3GR	-200,0	200,0	1,030
808 - SCAXIAS-4GR	-150,0	150,0	1,030
810 - SSEGREDO-4GR	-100,0	133,0	1,030
904 -ITA—3GR	-95,0	95,0	1,040
915 - MACHADIN-2GR	-172,0	155,0	1,030
919 - SOSOR1A4-4GR	-37,0	55,0	1,030
925 - SSANTIAG-3GR	-110,0	105,0	1,030

\* Estes valores devem ser multiplicados pelo número de máquinas da Tabela 88.

' Estes valores de limites são referentes a uma unidade geradora.

Tabela 143 – Compensação Reativa do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	Área	BSht (Mvar)
959	CURITIBA-500	2	100,0

### D.3 Fluxo De Potência - Carga Moderada - Área 1 - Exportando - Ilha 2

Tabela 144 – Barras de Geração e Barra *Swing* do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	Área	Tipo	Volt (pu)
800	GBMUNHOZ-3GR	2	SW	1,010
808	SCAXIAS-4GR	2	PV	1,010
810	SSEGREDO-4GR	2	PV	1,010
904	ITA—3GR	2	PV	1,020
915	MACHADIN-2GR	2	PV	1,020
919	SOSOR1A4-4GR	2	PV	1,030
925	SSANTIAG-3GR	2	PV	1,010

Tabela 145 – Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	MW PConst	Mvar QConst
814	BATEIAS-230	661,9	171,9
834	S,MATEUS-230	12,1	3,8
840	CASCAVEL-138	143,1	32,4
848	FCHOPIM-138	84,6	16,2
934	AREIA—230	213,3	53,1
939	BLUMENAU-230	1034,0	47,8
960	CURITIBA-230	760,2	422,2
965	CAXIAS—230	680,0	50,6
1015	JOINVILLE230	63,0	1,8
1210	GRAVATAI-230	1105,0	382,5
2458	CASCAVEL-230	362,7	113,4

Tabela 146 – Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome	Pg(MW)*	Qg(MVAr)*	Pm(MW)'	PM(MW)'
800 - GBMUNHOZ-3GR	222,1	-5,2	240,0	418,5
808 - SCAXIAS-4GR	210,0	-9,6	235,0	310,0
810 - SSEGREDO-4GR	187,5	-58,6	180,0	315,0
904 -ITA—3GR	138,0	-60,5	170,0	290,0
915 - MACHADIN-2GR	193,3	-67,7	260,0	380,0
919 - SOSOR1A4-4GR	162,5	33,8	120,0	182,0
925 - SSANTIAG-3GR	212,5	-9,9	220,0	355,0

\* Estes valores devem ser multiplicados pelo número de máquinas da Tabela 88.

' Estes valores de limites são referentes a uma unidade geradora.

Tabela 147 – Continuação da Tabela 146 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

<b>Barra-Nome da Barra</b>	<b>Qmin(MVAr)'</b>	<b>Qmax(MVAr)'</b>	<b>VSpec (pu)</b>
800 - GBMUNHOZ-3GR	-200,0	200,0	1,010
808 - SCAXIAS-4GR	-150,0	150,0	1,010
810 - SSEGREDO-4GR	-100,0	133,0	1,010
904 -ITA—3GR	-95,0	95,0	1,020
915 - MACHADIN-2GR	-172,0	155,0	1,020
919 - SOSOR1A4-4GR	-37,0	55,0	1,030
925 - SSANTIAG-3GR	-110,0	105,0	1,010

\* Estes valores devem ser multiplicados pelo número de máquinas da Tabela 88.

' Estes valores de limites são referentes a uma unidade geradora.

Tabela 148 – Compensação Reativa do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

<b>Barra</b>	<b>Nome da Barra</b>	<b>Área</b>	<b>BSht (Mvar)</b>
959	CURITIBA-500	2	0,0

## D.4 Fluxo de Potência - Carga Reduzida - Área 1 - Exportando - Ilha 2

Tabela 149 – Barras de Geração e Barra *Swing* do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	Área	Tipo	Volt (pu)
800	GBMUNHOZ-3GR	2	SW	1,000
808	SCAXIAS-4GR	2	PV	1,010
810	SSEGREDO-4GR	2	PV	1,000
904	ITA—3GR	2	PV	1,000
915	MACHADIN-2GR	2	PV	1,000
919	SOSOR1A4-4GR	2	PV	1,000
925	SSANTIAG-3GR	2	PV	0,980

Tabela 150 – Carga das Barras do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	MW PConst	Mvar QConst
814	BATEIAS-230	608,9	158,1
834	S,MATEUS-230	11,1	3,5
840	CASCAVEL-138	131,7	29,8
848	FCHOPIM-138	77,8	14,9
934	AREIA—230	196,2	48,9
939	BLUMENAU-230	951,4	43,9
960	CURITIBA-230	699,4	388,4
965	CAXIAS—230	625,6	46,6
1015	JOINVILLE230	58,0	1,7
1210	GRAVATAI-230	1017,0	351,9
2458	CASCAVEL-230	333,7	104,3

Tabela 151 – Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome	Pg(MW)*	Qg(MVAr)*	Pm(MW)'	PM(MW)'
800 - GBMUNHOZ-3GR	300,9	-14,0	240,0	418,5
808 - SCAXIAS-4GR	168,2	1,0	235,0	310,0
810 - SSEGREDO-4GR	147,5	-70,7	180,0	315,0
904 -ITA—3GR	107,0	-79,6	170,0	290,0
915 - MACHADIN-2GR	177,9	-91,5	260,0	380,0
919 - SOSOR1A4-4GR	149,5	14,5	120,0	182,0
925 - SSANTIAG-3GR	170,5	-46,5	220,0	355,0

Tabela 152 – Continuação da Tabela 151 - Gerações e seus Limites para o Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra-Nome da Barra	Qmin(MVAr)'	Qmax(MVAr)'	VSpec (pu)
800 - GBMUNHOZ-3GR	-200,0	200,0	1,000
808 - SCAXIAS-4GR	-150,0	150,0	1,010
810 - SSEGREDO-4GR	-100,0	133,0	1,000
904 -ITA—3GR	-95,0	95,0	1,000
915 - MACHADIN-2GR	-172,0	155,0	1,000
919 - SOSOR1A4-4GR	-37,0	55,0	1,000
925 - SSANTIAG-3GR	-110,0	105,0	0,980

\* Estes valores devem ser multiplicados pelo número de máquinas da Tabela 88.

' Estes valores de limites são referentes a uma unidade geradora.

Tabela 153 – Compensação Reativa do Sistema Equivalente Sul-Sudeste.

Barra	Nome da Barra	Área	BSht (Mvar)
959	CURITIBA-500	2	0,0

# ANEXO E – Dados Dinâmicos do Sistema Equivalente Sul-Sudeste

Este anexo mostra os dados dinâmicos dos geradores do sistema Sul-Sudeste. Os dados deste anexo foram obtidos do trabalho de Alves ([ALVES, 2007](#)).

## E.1 Dados Dinâmicos da Usina Governador Bento Munhoz

Tabela 154 – Dados de Classificação - G. B. Munhoz.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	800
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	3
PSS	Número do modelo do PSS	1
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	3
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0,02

Tabela 155 – Dados do Gerador Síncrono - G. B. Munhoz.

Parâmetro	Descrição	Valores
X <sub>d</sub>	Reatância de Eixo Direto (pu)	0,919
X' <sub>d</sub>	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,303
X'' <sub>d</sub>	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,242
X <sub>q</sub>	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	0,686
X' <sub>q</sub>	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,000
X'' <sub>q</sub>	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,242
R <sub>a</sub>	Resistência de Estator (pu)	0,000
Base	MVA Base	419,0
X <sub>l</sub>	Reatância de Dispersão (pu)	0,161
X <sub>t</sub>	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,000
T' <sub>d</sub>	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	7,920
T'' <sub>d</sub>	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,060
T' <sub>q</sub>	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	0,000
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	4,439
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	0,000
T'' <sub>q</sub>	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,090
A <sub>g</sub>	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,022
B <sub>g</sub>	Coefficiente Proporcional de Saturação	7,874

Tabela 156 – Dados dos Reguladores do Gerador - G. B. Munhoz.

AVR03		PSS01		GOV03	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
Ka	190,8	T1	0,290	At	1,200
Ta>0	0,020	T2	1,000	Tg	0,500
Tc	3,000	T3	12,000	Tw	1,500
Tb	12,000	T4	1,000	Rt>0	0,380
Tc1	0,070	T5	0,020	Tr>0	7,000
Tb1	0,0133560	T6	0,000	Rp	0,050
Lmin	-1,000	Tw	1,500	Tf	0,050
Lmax	1,000	K1	-20,500	Lmin	-2,000
Vmin	-99,000	Vpssmin	-0,050	Lmax	0,984
Vmax	99,000	Vpssmax	0,050	Vmin	0,000
Efdmin	-3,870	Tipo	3,000	Vmax	2,000
Efdmax	3,870			qnl	0,150
Kc	0,000			Kd	0,000
Limit Mode	0,000			Td	1,000
				Dt	0,500
				D	1,000

## E.2 Dados Dinâmicos da Usina Salto Segredo

Tabela 157 – Dados de Classificação - Salto Segredo.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	810
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	3
PSS	Número do modelo do PSS	6
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	3
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0,016
UEL	Número do modelo do limitador de subexcitação	0
OEL	Número do modelo do limitador de sobreexcitação	0
GID	Identificação do Grupo Gerador	10

Tabela 158 – Dados do Gerador Síncrono - Salto Segredo.

Parâmetro	Descrição	Valores
X <sub>d</sub>	Reatância de Eixo Direto (pu)	0,878
X' <sub>d</sub>	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,245
X'' <sub>d</sub>	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,199
X <sub>q</sub>	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	0,566
X' <sub>q</sub>	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,000
X'' <sub>q</sub>	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,199
R <sub>a</sub>	Resistência de Estator (pu)	0,000
Base	MVA Base	333,0
X <sub>l</sub>	Reatância de Dispersão (pu)	0,104
X <sub>t</sub>	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,000
T' <sub>d</sub>	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	7,590
T'' <sub>d</sub>	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,070
T' <sub>q</sub>	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	0,000
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	4,071
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	0,000
T'' <sub>q</sub>	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,170
A <sub>g</sub>	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,015
B <sub>g</sub>	Coefficiente Proporcional de Saturação	7,098

Tabela 159 – Dados dos Reguladores do Gerador - Salto Segredo.

AVR03		PSS06		GOV03	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
Ka	200,0	T1	0,190	At	1,200
Ta>0	0,001	T2	0,041	Tg	0,500
Tc	3,000	T3	0,190	Tw	1,500
Tb	12,000	T4	0,041	Rt>0	0,380
Tc1	1,000	T5	0,103	Tr>0	7,000
Tb1	1,000	T6	0,000	Rp	0,050
Lmin	-99,000	T7	2,000	Tf	0,050
Lmax	99,000	T8	0,412	Lmin	-2,000
Vmin	-99,000	Tw1	2,000	Lmax	0,984
Vmax	99,000	Tw2	2,000	Vmin	0,000
Efdmin	-3,400	Tw3	2,000	Vmax	2,000
Efdmax	4,000	Tw4	99,000	qnl	0,150
Kc	0,000	K1	10,000	Kd	0,000
Limit Mode	0,000	K2	0,250	Td	1,000
		K3	1,000	Dt	0,500
		Vmin	-0,100	D	1,000
		Vmax	0,100		
		Tipo Entrada 1	1,000		
		Tipo Entrada 2	3,000		

### E.3 Dados Dinâmicos da Usina Itá

Tabela 160 – Dados de Classificação - Itá.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	904
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	3
PSS	Número do modelo do PSS	8
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	6
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0,02
UEL	Número do modelo do limitador de subexcitação	0
OEL	Número do modelo do limitador de sobreexcitação	0
GID	Identificação do Grupo Gerador	10

Tabela 161 – Dados do Gerador Síncrono - Itá.

Parâmetro	Descrição	Valores
Xd	Reatância de Eixo Direto (pu)	1,100
X'd	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,310
X''d	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,240
Xq	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	0,730
X'q	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,000
X''q	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,240
Ra	Resistência de Estator (pu)	0,004
Base	MVA Base	305,000
Xl	Reatância de Dispersão (pu)	0,160
Xt	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,000
T'd	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	6,900
T''d	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,043
T'q	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	0,000
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	4,349
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	0,000
T''q	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,040
Ag	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,027
Bg	Coefficiente Proporcional de Saturação	7,060

Tabela 162 – Dados do Reguladores do Gerador - Itá.

AVR03		PSS08		GOV06	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
Ka	100,0	T1	0,200	Rp	0,058
Ta>0	0,003	T2	0,040	Te	0,000
Tc	0,080	T9	0,360	Kp	4,000
Tb	0,080	T10	0,120	Ki	3,636
Tc1	1,000	T3	1,000	Kd	0,000
Tb1	1,670	T4	1,000	Td	1,000
Lmin	-1,000	T5	0,100	Tp1	0,001
Lmax	1,000	T6	0,020	Tp2>0	0,200
Vmin	-99,000	T7	2,000	G1min	-9,900
Vmax	99,000	T8	0,000	G1max	1,000
Efdmin	-5,430	T11	0,020	Tv>0	0,001
Efdmax	6,790	Tw1	2,000	G2min	-9,900
Kc	0,000	Tw2	2,000	G2max	1,000
Limit Mode	1,000	Tw3	2,000	Tq>0	0,250
		K2	0,200	G3min	0,001
		K3	1,000	G3max	1,000
		Pemn	0,000	Tw	1,550
		K1mn	10,000	At	1,100
		Pemx	1,000	qnl	0,000
		K1mx	10,000	Dt	0,500
		Vmin	-0,100		
		Vmax	0,100		
		Tipo 1	1,000		
		Tipo 2	3,000		

## E.4 Dados Dinâmicos da Usina Machadinho

Tabela 163 – Dados de Classificação - Machadinho.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	915
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	7
PSS	Número do modelo do PSS	6
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	13
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0,02
UEL	Número do modelo do limitador de subexcitação	0
OEL	Número do modelo do limitador de sobreexcitação	0
GID	Identificação do Grupo Gerador	10

Tabela 164 – Dados do Gerador Síncrono - Machadinho.

Parâmetro	Descrição	Valores
$X_d$	Reatância de Eixo Direto (pu)	1,000
$X'_d$	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,320
$X''_d$	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,260
$X_q$	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	0,750
$X'_q$	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,000
$X''_q$	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,260
$R_a$	Resistência de Estator (pu)	0,000
Base	MVA Base	418,500
$X_l$	Reatância de Dispersão (pu)	0,220
$X_t$	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,000
$T'_d$	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	6,000
$T''_d$	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,090
$T'_q$	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	0,000
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	4,844
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	0,000
$T''_q$	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,090
$A_g$	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,023
$B_g$	Coefficiente Proporcional de Saturação	8,392

Tabela 165 – Dados dos Reguladores do Gerador - Machadinho.

AVR07		PSS06		GOV13	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
Ka	16,500	T1	0,500	At	1,425
Ta	0,005	T2	0,050	Tg	0,400
Ke	1,000	T3	0,500	Tw	1,500
Te>0	0,500	T4	0,050	Rt>0	0,386
Vmin	-99,000	T5	0,200	Tr>0	6,830
Vmax	99,000	T6	0,000	Rp	0,050
Efdmin	-3,000	T7	10,000	Tf	0,044
Efdmax	3,000	T8	0,800	Lmin	-1,000
Tc	1,000	Tw1	3,000	Lmax	1,000
Tb>0	1,000	Tw2	3,000	Vmin	-1,000
Kc	0,000	Tw3	3,000	Vmax	1,000
Lim Mode	1,000	Tw4	3,000	qnl	0,200
		K1	1,000	Kd	1,000
		K2	1,000	Td	0,000
		K3	1,000	Tp	1,000
		Vmin	-1,000	Dt	1,425
		Vmax	1,000		
		Tipo Entrada 1	1,000		
		Tipo Entrada 2	3,000		

## E.5 Dados Dinâmicos da Usina Salto Osório

Tabela 166 – Dados de Classificação - Salto Osório.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	919
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	7
PSS	Número do modelo do PSS	8
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	3
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0,02
UEL	Número do modelo do limitador de subexcitação	0
OEL	Número do modelo do limitador de sobreexcitação	3
GID	Identificação do Grupo Gerador	10

Tabela 167 – Dados do Gerador Síncrono - Salto Osório.

Parâmetro	Descrição	Valores
$X_d$	Reatância de Eixo Direto (pu)	1,260
$X'_d$	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,332
$X''_d$	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,249
$X_q$	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	0,752
$X'_q$	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,000
$X''_q$	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,249
$R_a$	Resistência de Estator (pu)	0,000
Base	MVA Base	200,000
$X_l$	Reatância de Dispersão (pu)	0,166
$X_t$	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,000
$T'_d$	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	7,990
$T''_d$	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,042
$T'_q$	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	0,000
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	3,281
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	0,181
$T''_q$	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,090
$A_g$	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,032
$B_g$	Coefficiente Proporcional de Saturação	7,108

Tabela 168 – Dados dos Reguladores do Gerador - Salto Osório.

AVR07		PSS08		GOV03	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
T1	0,650	At	1,200	Itf0	0,000
T2	0,030	Tg	0,500	itfpu	1,850
T9	1,000	Tw	1,500	Iinst	2,350
T10	1,000	Rt>0	0,380	Ilim	1,850
T3	0,250	Tr>0	7,000	Ks	0,914
T4	0,050	Rp	0,050	Ku	1,000
T5	0,050	Tf	0,050	Tu	0,000
T6	0,010	Lmin	-2,000	Kd	1,000
T7	1,000	Lmax	0,984	Td	0,000
T8	0,200	Vmin	0,000	Kramp	15,000
T11	0,030	Vmax	2,000	Lmax	3,000
Tw1	1,000	qnl	0,150	Lmin	1,850
Tw2	1,000	Kd	0,000	Ka	2,000
Tw3	1,000	Td	1,000	Ta	0,003
K2	0,159	Dt	0,500	Tb	1,000
K3	0,333			Tc	1,000
Pemn	-99,000			Vmax	99,000
K1mn	1,500			Vmin	-99,000
Pemx	99,000				
K1mx	1,500				
Vmin	-0,050				
Vmax	0,050				
Tipo1	1,000				
Tipo2	3,000				
		D	1,000	Offset	0,000

Tabela 169 – Dado do Regulador OEL do Gerador - Salto Osório.

Parâmetro	Itf0	itfpu	Iinst	Ilim	Ks	Ku	Tu	Kd	Td	Kramp
Valores	0	1,85	2,35	1,85	0,9141	1	0	1	0	15
Parâmetro	Lmax	Lmin	Ka	Ta	Tb	Tc	Vmax	Vmin	Offset	
Valores	3	1,85	2	0,0027	1	1	99	-99	0	

## E.6 Dados Dinâmicos da Usina Salto Santiago

Tabela 170 – Dados de Classificação - Salto Santiago.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	925
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	2
PSS	Número do modelo do PSS	1
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	3
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0
UEL	Número do modelo do limitador de subexcitação	0
OEL	Número do modelo do limitador de sobreexcitação	0
GID	Identificação do Grupo Gerador	10

Tabela 171 – Dados do Gerador Síncrono - Salto Santiago.

Parâmetro	Descrição	Valores
X <sub>d</sub>	Reatância de Eixo Direto (pu)	0,918
X' <sub>d</sub>	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,317
X'' <sub>d</sub>	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,232
X <sub>q</sub>	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	0,623
X' <sub>q</sub>	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,000
X'' <sub>q</sub>	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,232
R <sub>a</sub>	Resistência de Estator (pu)	0,000
Base	MVA Base	369,8
X <sub>l</sub>	Reatância de Dispersão (pu)	0,189
X <sub>t</sub>	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,000
T' <sub>d</sub>	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	10,000
T'' <sub>d</sub>	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,004
T' <sub>q</sub>	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	0,000
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	3,873
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	0,000
T'' <sub>q</sub>	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,130
A <sub>g</sub>	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,046
B <sub>g</sub>	Coefficiente Proporcional de Saturação	6,300

Tabela 172 – Dados dos Reguladores do Gerador - Salto Santiago.

AVR02		PSS01		GOV03	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
Ka	695,7	T1	0,210	At	1,200
Ta>0	0,022	T2	0,210	Tg	0,500
Kf	0,008	T3	0,100	Tw	1,500
Tf	0,950	T4	0,100	Rt>0	0,380
Lmin	-9999,0	T5	0,030	Tr>0	7,000
Lmax	9999,0	T6	0,000	Rp	0,050
Vmin	-9999,0	Tw	2,750	Tf	0,050
Vmax	9999,0	K1	8,851	Lmin	-2,000
Efdmin	-6,380	Vpssmin	-0,064	Lmax	0,984
Efdmax	6,380	Vpssmax	0,064	Vmin	0,000
Kc	0,000			Vmax	2,000
5-6				qnl	0,150
				Kd	0,000
				Td	1,000
LimMod	1,000	Tipo	1,000	Dt	0,500
				D	1,000

## E.7 Dados Dinâmicos da Usina Salto Caxias

Tabela 173 – Dados de Classificação - Salto Caxias.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	808
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	3
PSS	Número do modelo do PSS	6
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	3
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0,016
UEL	Número do modelo do limitador de subexcitação	0
OEL	Número do modelo do limitador de sobreexcitação	0
GID	Identificação do Grupo Gerador	10

Tabela 174 – Dados do Gerador Síncrono - Salto Caxias.

Parâmetro	Descrição	Valores
$X_d$	Reatância de Eixo Direto (pu)	0,878
$X'_d$	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,245
$X''_d$	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,199
$X_q$	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	0,566
$X'_q$	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,000
$X''_q$	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,199
$R_a$	Resistência de Estator (pu)	0,000
Base	MVA Base	333,0
$X_l$	Reatância de Dispersão (pu)	0,104
$X_t$	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,000
$T'_d$	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	7,590
$T''_d$	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,070
$T'_q$	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	0,000
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	4,071
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	0,000
$T''_q$	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,170
$A_g$	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,015
$B_g$	Coefficiente Proporcional de Saturação	7,098

Tabela 175 – Dados dos Reguladores do Gerador - Salto Caxias.

AVR03		PSS06		GOV03	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
Ka	200,0	T1	0,360	At	1,078
Ta>0	0,001	T2	0,120	Tg	0,500
Tc	1,200	T3	0,360	Tw	1,500
Tb	6,000	T4	0,120	Rt>0	0,500
Tc1	1,000	T5	0,100	Tr>0	7,000
Tb1	1,000	T6	0,0001	Rp	0,050
Lmin	-99,000	T7	5,000	Tf	0,050
Lmax	99,000	T8	0,000	Lmin	-2,000
Vmin	-99,000	Tw1	10,200	Lmax	0,986
Vmax	99,000	Tw2	99,000	Vmin	0,000
Efdmin	-3,400	Tw3	10,200	Vmax	2,000
Efdmax	4,000	Tw4	99,000	qnl	0,100
Kc	0,000	K1	3,000	Kd	0,000
Limit Mode	0,000	K2	0,715	Td	1,000
		K3	1,000	Dt	0,500
		Vmin	-0,100	D	1,000
		Vmax	0,100		
		Tipo Entrada 1	1,000		
		Tipo Entrada 2	3,000		

## E.8 Dados Dinâmicos da Usina Itumbiara

Tabela 176 – Dados de Classificação - Itumbiara.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	18
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	26
PSS	Número do modelo do PSS	1
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	3
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	-0,05
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0
UEL	Número do modelo do limitador de subexcitação	0
OEL	Número do modelo do limitador de sobreexcitação	0
GID	Identificação do Grupo Gerador	10

Tabela 177 – Dados do Gerador Síncrono - Itumbiara.

Parâmetro	Descrição	Valores
Xd	Reatância de Eixo Direto (pu)	0,730
X'd	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,260
X''d	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,200
Xq	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	0,520
X'q	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,000
X''q	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,200
Ra	Resistência de Estator (pu)	0,000
Base	MVA Base	365,000
Xl	Reatância de Dispersão (pu)	0,190
Xt	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,000
T'd	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	8,300
T''d	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,060
T'q	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	0,000
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	4,310
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	0,000
T''q	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,030
Ag	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,017
Bg	Coefficiente Proporcional de Saturação	10,125

Tabela 178 – Dados dos Reguladores do Gerador - Itumbiara.

AVR026		PSS01		GOV03	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
VImax	999,000	T1	0,150	At	1,250
Vimin	-999,000	T2	0,220	Tg	0,500
Kr	1,000	T3	0,015	Tw	1,500
Krp	1,000	T4	0,390	Rt>0	0,380
Kri	0,000	T5	0,500	Tr>0	7,000
Ka	50,000	T6	0,011	Rp	0,050
Ta>0	0,010	Tw	1,500	Tf	0,050
Vmax	4,000	K1	5,330	Lmin	-2,000
Vmin	-4,000	Vpssmin	-0,100	Lmax	0,984
Kg	0,000	Vpssmax	0,100	Vmin	0,000
Kp	1,000	Tipo	2,000	Vmax	2,000
Ki	0,000			qnl	0,150
Efdmax	999,000			Kd	0,000
Efdmin	-999,000			Td	1,000
Kc	0,000			Dt	0,500
VGmax	999,000			D	1,000
VGmin	-999,000				
Vrmax	999,000				
Vrmin	-999,000				

## E.9 Dados Dinâmicos da Usina Marimbondo

Tabela 179 – Dados de Classificação - Marimbondo.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	20
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	26
PSS	Número do modelo do PSS	0
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	3
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0,025
UEL	Número do modelo do limitador de subexcitação	0
OEL	Número do modelo do limitador de sobreexcitação	0
GID	Identificação do Grupo Gerador	10

Tabela 180 – Dados do Gerador Síncrono - Marimbondo.

Parâmetro	Descrição	Valores
Xd	Reatância de Eixo Direto (pu)	1,060
X'd	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,330
X''d	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,250
Xq	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	0,630
X'q	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,000
X''q	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,250
Ra	Resistência de Estator (pu)	0,000
Base	MVA Base	190,000
Xl	Reatância de Dispersão (pu)	0,210
Xt	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,000
T'd	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	6,000
T''d	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,040
T'q	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	0,000
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	4,300
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	0,000
T''q	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,055
Ag	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,016
Bg	Coefficiente Proporcional de Saturação	8,068

Tabela 181 – Dados dos Reguladores do Gerador - Marimbondo.

AVR026		GOV03	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
VImax	999,000	At	1,250
Vimin	-999,000	Tg	0,500
Kr	23,933	Tw	1,500
Krp	1,000	Rt>0	0,380
Kri	0,430	Tr>0	7,000
Ka	2,270	Rp	0,050
Ta>0	0,001	Tf	0,050
Vmax	4,000	Lmin	-2,000
Vmin	-2,900	Lmax	0,984
Kg	0,000	Vmin	0,000
Kp	1,000	Vmax	2,000
Ki	0,000	qnl	0,150
Efdmax	5,000	Kd	0,000
Efdmin	-2,900	Td	1,000
Kc	0,000	Dt	0,500
VGmax	999,000	D	1,000
VGmin	-999,000		
Vrmax	3,191		
Vrmin	-1,851		

## E.10 Dados Dinâmicos da Usina Emborcação

Tabela 182 – Dados de Classificação - Emborcação.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	300
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	26
PSS	Número do modelo do PSS	6
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	6
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0
UEL	Número do modelo do limitador de subexcitação	0
OEL	Número do modelo do limitador de sobreexcitação	3
GID	Identificação do Grupo Gerador	10

Tabela 183 – Dados do Gerador Síncrono - Emborcação.

Parâmetro	Descrição	Valores
X <sub>d</sub>	Reatância de Eixo Direto (pu)	0,929
X' <sub>d</sub>	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,320
X'' <sub>d</sub>	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,256
X <sub>q</sub>	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	0,690
X' <sub>q</sub>	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,000
X'' <sub>q</sub>	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,256
R <sub>a</sub>	Resistência de Estator (pu)	0,000
Base	MVA Base	313,600
X <sub>l</sub>	Reatância de Dispersão (pu)	0,140
X <sub>t</sub>	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,000
T' <sub>d</sub>	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	5,000
T'' <sub>d</sub>	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,065
T' <sub>q</sub>	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	0,000
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	4,722
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	0,000
T'' <sub>q</sub>	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,085
A <sub>g</sub>	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,020
B <sub>g</sub>	Coefficiente Proporcional de Saturação	7,500

Tabela 184 – Dados dos Reguladores do Gerador - Emborcação.

AVR026		PSS06		GOV06	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
VImax	99,000	T1	0,056	Rp	0,200
Vimin	-99,000	T2	0,0043	Te	0,500
Kr	9,980	T3	0,056	Kp	1,250
Krp	1,000	T4	0,0043	Ki	1,000
Kri	1,000	T5	0,100	Kd	0,000
Ka	8,040	T6	0,0100	Td	1,000
Ta>0	0,001	T7	2,000	Tp1	0,000
Vmax	7,558	T8	0,400	Tp2>0	0,030
Vmin	-6,965	Tw1	2,000	G1min	0,000
Kg	0,000	Tw2	2,000	G1max	10,000
Kp	1,000	Tw3	0,000	Tv>0	0,001
Ki	0,000	Tw4	2,000	G2min	-10,000
Efdmax	7,558	K1	18,000	G2max	10,000
Efdmin	-6,965	K2	0,211	Tq>0	0,200
Kc	0,000	K3	1,000	G3min	0,001
VGmax	9,990	Vmin	-0,100	G3max	1,100
VGmin	-9,990	Vmax	0,100	Tw	2,060
Vrmax	3,994	Tipo Entrada 1	1,000	At	0,967
Vrmin	-7,117	Tipo Entrada 2	3,000	qnl	0,000
				Dt	0,000

Tabela 185 – Dado do Regulador OEL do Gerador - Emborcação.

Parâmetro	Itf0	itfpu	Iinst	Ilim	Ks	Ku	Tu	Kd	Td	Kramp
Valores	0	1,56	7,52	-10,00	1,0	1	0,0001	0	1	5,357
Parâmetro	Lmax	Lmin	Ka	Ta	Tb	Tc	Vmax	Vmin	Offset	
Valores	7,52	-10,00	0,09615	0,0001	1	1	0,06731	-100	-0,06731	

## E.11 Dados Dinâmicos da Usina Jaguará

Tabela 186 – Dados de Classificação - Jaguará.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	301
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	3
PSS	Número do modelo do PSS	8
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	6
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0
UEL	Número do modelo do limitador de subexcitação	0
OEL	Número do modelo do limitador de sobreexcitação	0
GID	Identificação do Grupo Gerador	10

Tabela 187 – Dados do Gerador Síncrono - Jaguará.

Parâmetro	Descrição	Valores
$X_d$	Reatância de Eixo Direto (pu)	0,975
$X'_d$	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,278
$X''_d$	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,140
$X_q$	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	0,580
$X'_q$	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,000
$X''_q$	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,140
$R_a$	Resistência de Estator (pu)	0,000
Base	MVA Base	112,000
$X_l$	Reatância de Dispersão (pu)	0,124
$X_t$	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,000
$T'_d$	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	4,600
$T''_d$	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,060
$T'_q$	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	0,000
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	4,244
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	0,000
$T''_q$	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,107
$A_g$	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,050
$B_g$	Coefficiente Proporcional de Saturação	5,910

Tabela 188 – Dados dos Reguladores do Gerador - Jaguará.

AVR03		PSS08		GOV06	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
Ka	198,0	T1	0,100	Rp	0,050
Ta>0	0,001	T2	0,010	Te	0,050
Tc	3,000	T9	0,100	Kp	8,000
Tb	12,000	T10	0,010	Ki	1,600
Tc1	1,000	T3	1,000	Kd	0,000
Tb1	1,000	T4	1,000	Td	1,000
Lmin	-99,000	T5	0,100	Tp1	0,001
Lmax	99,000	T6	0,010	Tp2>0	0,001
Vmin	-4,200	T7	3,000	G1min	-9,900
Vmax	6,000	T8	0,400	G1max	9,990
Efdmin	-4,200	T11	0,010	Tv>0	0,150
Efdmax	5,000	Tw1	3,000	G2min	-9,900
Kc	0,000	Tw2	3,000	G2max	9,990
Limit Mode	1,000	Tw3	3,000	Tq>0	2,800
		K2	0,353	G3min	0,000
		K3	1,000	G3max	9,990
		Pemn	0,100	Tw	1,500
		K1mn	9,000	At	1,087
		Pemx	0,400	qnl	0,080
		K1mx	15,000	Dt	1,000
		Vmin	-0,100		
		Vmax	0,100		
		Tipo 1	1,000		
Tipo 2	3,000				

## E.12 Dados Dinâmicos da Usina Nova Ponte

Tabela 189 – Dados de Classificação - Nova Ponte.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	302
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	28
PSS	Número do modelo do PSS	6
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	6
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0
UEL	Número do modelo do limitador de subexcitação	0
OEL	Número do modelo do limitador de sobreexcitação	3
GID	Identificação do Grupo Gerador	10

Tabela 190 – Dados Do Gerador Síncrono - Nova Ponte.

Parâmetro	Descrição	Valores
$X_d$	Reatância de Eixo Direto (pu)	1,000
$X'_d$	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,300
$X''_d$	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,200
$X_q$	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	0,690
$X'_q$	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,000
$X''_q$	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,200
$R_a$	Resistência de Estator (pu)	0,000
Base	MVA Base	179,000
$X_l$	Reatância de Dispersão (pu)	0,140
$X_t$	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,000
$T'_d$	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	5,700
$T''_d$	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,060
$T'_q$	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	0,000
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	4,910
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	0,000
$T''_q$	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,160
$A_g$	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,025
$B_g$	Coefficiente Proporcional de Saturação	6,609

Tabela 191 – Dados Dos Reguladores Do Gerador - Nova Ponte.

AVR028		PSS06		GOV06	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
Ka	56,000	T1	0,090	Rp	0,050
Ta>0	0,000	T2	0,0300	Te	0,000
Ke	1,250	T3	0,090	Kp	5,000
Te	1,400	T4	0,0300	Ki	4,000
Vmin	-12,000	T5	0,100	Kd	0,000
Vmax	12,000	T6	0,0000	Td	1,000
Edfmin	-4,000	T7	5,000	Tp1	0,0001
Edfmax	3,900	T8	0,400	Tp2>0	0,170
Tc	1,000	Tw1	5,000	G1min	-9,900
Tb	1,000	Tw2	20,000	G1max	1,000
Kc	0,100	Tw3	20,000	Tv>0	0,001
LimMod	1,000	Tw4	0,000	G2min	-9,900
		K1	12,000	G2max	1,000
		K2	0,509	Tq>0	0,250
		K3	1,000	G3min	0,001
		Vmin	-0,100	G3max	1,000
		Vmax	0,100	Tw	2,400
		Tipo Entrada 1	1,000	At	1,000
		Tipo Entrada 2	3,000	qnl	0,000
			Dt	0,500	

Table generated by Excel2LaTeX from sheet 'Salto Osorio - TABELA E.6'

Tabela 192 – Dado do Regulador OEL do Gerador - Nova Ponte.

Parâmetro	Itf0	itfpu	Iinst	Ilim	Ks	Ku	Tu	Kd	Td	Kramp
Valores	2,5	0,0	12,0	-5,0	1,0	2,97	0,22	0,0	0,0010	0,7255
Parâmetro	Lmax	Lmin	Ka	Ta	Tb	Tc	Vmax	Vmin	Offset	
Valores	1,4690	-4,8970	1,0	0,0001	1	1	12	0,0	0	

## E.13 Dados Dinâmicos da Usina de São Simão

Tabela 193 – Dados de Classificação - São Simão.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	303
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	2
PSS	Número do modelo do PSS	6
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	3
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0
UEL	Número do modelo do limitador de subexcitação	0
OEL	Número do modelo do limitador de sobreexcitação	0
GID	Identificação do Grupo Gerador	10

Tabela 194 – Dados do Gerador Síncrono- São Simão.

Parâmetro	Descrição	Valores
Xd	Reatância de Eixo Direto (pu)	0,948
X'd	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,250
X''d	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,190
Xq	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	0,645
X'q	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,000
X''q	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,190
Ra	Resistência de Estator (pu)	0,000
Base	MVA Base	283,000
Xl	Reatância de Dispersão (pu)	0,140
Xt	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,000
T'd	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	7,000
T''d	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,066
T'q	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	0,000
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	6,228
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	0,000
T''q	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,140
Ag	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,024
Bg	Coefficiente Proporcional de Saturação	9,125

Tabela 195 – Dados dos Reguladores do Gerador - São Simão.

AVR02		PSS06		GOV03	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
Ka	100,0	T1	0,056	At	0,990
Ta>0	0,054	T2	0,0043	Tg	0,000
Kf	0,0143	T3	0,056	Tw	0,800
Tf	1,400	T4	0,0043	Rt>0	0,300
Lmin	-10,000	T5	0,100	Tr>0	2,000
Lmax	10,000	T6	0,010	Rp	0,045
Vmin	-5,630	T7	2,000	Tf	0,470
Vmax	5,900	T8	0,400	Lmin	-0,110
Efdmin	-4,920	Tw1	2,000	Lmax	0,095
Efdmax	5,460	Tw2	2,000	Vmin	0,000
Kc	0,000	Tw3	0,000	Vmax	1,011
Limit Mode	1,000	Tw4	2,000	qnl	0,000
		K1	21,200	Kd	3,200
		K2	0,161	Td	0,800
		K3	1,000	Dt	0,000
		Vmin	-0,100	D	0,500
		Vmax	0,100		
		Tipo Entrada 1	1,000		
		Tipo Entrada 2	3,000		

## E.14 Dados Dinâmicos da Usina de Água Vermelha

Tabela 196 – Dados De Classificação - Água Vermelha.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	500
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	3
PSS	Número do modelo do PSS	6
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	13
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0
UEL	Número do modelo do limitador de subexcitação	0
OEL	Número do modelo do limitador de sobreexcitação	0
GID	Identificação do Grupo Gerador	10

Tabela 197 – Dados do Gerador Síncrono - Água Vermelha.

Parâmetro	Descrição	Valores
Xd	Reatância de Eixo Direto (pu)	0,910
X'd	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,260
X''d	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,210
Xq	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	0,570
X'q	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,000
X''q	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,210
Ra	Resistência de Estator (pu)	0,000
Base	MVA Base	250,000
Xl	Reatância de Dispersão (pu)	0,150
Xt	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,000
T'd	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	6,200
T''d	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,043
T'q	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	0,000
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	4,030
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	0,000
T''q	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,074
Ag	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,019
Bg	Coefficiente Proporcional de Saturação	7,864

Tabela 198 – Dados dos Reguladores do Gerador - Água Vermelha.

AVR03		PSS06		GOV013	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
Ka	400,0	T1	0,180	At	1,420
Ta>0	0,001	T2	0,008	Tg	0,000
Tc	2,420	T3	0,180	Tw	1,930
Tb	23,130	T4	0,080	Rt>0	0,863
Tc1	1,000	T5	0,200	Tr>0	3,980
Tb1	1,000	T6	0,000	Rp	0,050
Lmin	-1,000	T7	3,000	Tf	2,167
Lmax	1,000	T8	0,800	Lmin	-0,141
Vmin	-5,300	Tw1	3,000	Lmax	0,141
Vmax	5,740	Tw2	3,000	Vmin	0,010
Efdmin	-5,300	Tw3	3,000	Vmax	1,000
Efdmax	5,740	Tw4	0,000	qnl	0,160
Kc	0,000	K1	10,000	Kd	2,272
Limit Mode	1,000	K2	0,339	Td	0,608
		K3	1,000	Tp	0,950
		Vmin	-0,100	Dt	1,480
		Vmax	0,100		
		Tipo Entrada 1	1,000		
		Tipo Entrada 2	3,000		

## E.15 Dados Dinâmicos do Compensador Síncrono de Ibiúna

Tabela 199 – Dados de Classificação - Ibiúna.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	48
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	7
PSS	Número do modelo do PSS	0
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	0
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0,03
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0,02
UEL	Número do modelo do limitador de subexcitação	0
OEL	Número do modelo do limitador de sobreexcitação	0
GID	Identificação do Grupo Gerador	10

Tabela 200 – Dados do Gerador Síncrono - Ibiúna.

Parâmetro	Descrição	Valores
X <sub>d</sub>	Reatância de Eixo Direto (pu)	1,700
X' <sub>d</sub>	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,370
X'' <sub>d</sub>	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,220
X <sub>q</sub>	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	1,000
X' <sub>q</sub>	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,000
X'' <sub>q</sub>	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,220
R <sub>a</sub>	Resistência de Estator (pu)	0,000
Base	MVA Base	300,000
X <sub>l</sub>	Reatância de Dispersão (pu)	0,154
X <sub>t</sub>	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,000
T' <sub>d</sub>	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	9,000
T'' <sub>d</sub>	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,060
T' <sub>q</sub>	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	0,000
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	1,600
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	0,000
T'' <sub>q</sub>	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,100
A <sub>g</sub>	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,018
B <sub>g</sub>	Coefficiente Proporcional de Saturação	7,305

Tabela 201 – Dado do Regulador do Gerador - Ibiúna.

Parâmetro	Valores
Ka	100,0
Ta	0,000
Ke	1,000
Te	4,000
Vmin	-5,000
Vmax	6,000
Efdmin	-4,800
Efdmax	5,600
Tc	1,000
Tb	1,000
Kc	0,000
Limit Mode	1,000

# ANEXO F – Dados Elétricos Sistema *Brazilian Birds 2*

Este anexo mostra as classificações das barras quanto aos seus tipos, os dados elétricos e seus limites para linhas de transmissão e transformadores. Os dados deste anexo foram obtidos através do site disponibilizado por Junior ([JUNIOR, 2016](#)) e do trabalho de Oliveira ([OLIVEIRA, 2014](#)) ( com exceção dos dados de limites em MVA das linhas de transmissão e dos transformadores do sistema, os quais, foram adicionados posteriormente nesta dissertação, para que fosse possível realizar as simulações de regiões de segurança dinâmicas).

## F.1 Dados Elétricos Gerais do Sistema *Brazilian Birds 2*

Tabela 202 – Tipos de Barras do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra	Nome da Barra	Área	Tipo
10	CANARIO-18	1	SW
11	SABIA—13	1	PV
20	TUCANO—13	2	PV
21	GAVIAO—13	2	PV
100	CANARIO230	1	PQ
110	SABIA—230	1	PQ
111	SABIA—138	3	PQ
112	SABIA—440	1	PQ
113	SABIA—13	1	PQ
120	CARDEAL230	1	PQ
121	CARDEAL-88	1	PQ
130	CURIO—230	1	PQ
131	CURIO—CS5	1	PQ
132	CURIO—440	1	PQ
133	CURIO—13	1	PQ
134	CURIO—69	1	PQ
135	CURIO—138	1	PQ
140	SANHACO-69	1	PQ
150	TIZIU—230	1	PQ
151	TIZIU—138	3	PQ

160	PARDAL-138	3	PQ
161	PARDAL-69	3	PQ
170	AZULAO-138	3	PQ
171	AZULAO-69	3	PQ
180	BICUDO-440	1	PQ
181	BICUDO-69	1	PQ
182	BICUDO-13	1	PQ
190	CHOPIN-440	1	PQ
191	CHOPIN-138	1	PQ
200	CORUJA-230	2	PQ
210	GAVIAO-230	2	PQ
220	ARARA-230	2	PQ
221	ARARA-CS5	2	PQ
222	ARARA-440	2	PQ
223	ARARA-13	2	PQ
224	ARARA-138	2	PQ
230	PELICAN230	2	PQ
231	PELICAN440	2	PQ
232	PELICANO13	2	PQ
240	CORUJA-230	2	PQ
250	URUBU-230	2	PQ
251	URUBU-138	2	PQ
260	GARCA-230	2	PQ
1110	SABIA-FIC	1	PQ
1130	CURIO-FIC	1	PQ
1180	BICUDO-FIC	1	PQ
1220	ARARA-FIC	2	PQ
1230	PELICANFIC	2	PQ
300	GAIVOTA-138	3	PQ
9150	UTE TIZIU-1GR	3	PV
9111	PCH SABIA 1-G1R	3	PV
9112	PCH SABIA 1-G2R	3	PV
9161	UTE PARDAL 1-1GR	3	PV
9162	UTE PARDAL 1-2GR	3	PV
9171	UTE AZULAO 1-1GR	3	PV
9172	UTE AZULAO 1-2GR	3	PV

Tabela 203 – Barras de Geração do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra	Nome	Unidades	Grupo	Barra-Nome
10	CANARIO-18	5	10	10 - CANARIO-18
11	SABIA—13	4	10	11 - SABIA—13
20	TUCANO—13	5	10	20 - TUCANO—13
21	GAVIAO—13	4	10	21 - GAVIAO—13
9150	UTE TIZIU-1GR	1	10	9150-UTE TIZIU-1GR
9111	PCH SABIA 1-G1R	1	10	9111 - PCHSABIA 1
9112	PCH SABIA 1-G2R	1	10	9112 - PCHSABIA 1
9161	UTE PARDAL 1-1GR	1	10	9161 - UTEPARDAL 1
9162	UTE PARDAL 1-2GR	1	10	9162 - UTEPARDAL 1
9171	UTE AZULAO 1-1GR	1	10	9171 - UTEAZULAO 1
9172	UTE AZULAO 1-2GR	1	10	9172 - UTE ZULAO 1

Tabela 204 – Linhas de Transmissão do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra De	Nome Barra De	Para#Circ	Nome Barra Para	Área
100	CANARIO230	120# 1	CARDEAL230	1
100	CANARIO230	150# 1	TIZIU-230	1
100	CANARIO230	150# 2	TIZIU-230	1
110	SABIA-230	130# 1	CURIO-230	1
110	SABIA-230	150# 1	TIZIU-230	1
111	SABIA-138	170# 1	AZULAO-138	3
112	SABIA-440	180# 1	BICUDO-440	1
120	CARDEAL230	130# 1	CURIO-230	1
120	CARDEAL230	130# 2	CURIO-230	1
120	CARDEAL230	150# 1	TIZIU-230	1
131	CURIO-CS5	132# 1	CURIO-440	1
131	CURIO-CS5	221# 1	ARARA-CS5	2
134	CURIO-69	140# 1	SANHACO-69	1
151	TIZIU-138	160# 1	PARDAL-138	3
151	TIZIU-138	160# 2	PARDAL-138	3
160	PARDAL-138	170# 1	AZULAO-138	3
180	BICUDO-440	190# 1	CHOPIN-440	1
190	CHOPIN-440	231# 1	PELICAN440	2
200	CORUJA-230	210# 1	GAVIAO-230	2
200	CORUJA-230	220# 1	ARARA-230	2
200	CORUJA-230	220# 2	ARARA-230	2

210	GAVIAO-230	260# 1	GARCA-230	2
210	GAVIAO-230	260# 2	GARCA-230	2
220	ARARA-230	230# 1	PELICAN230	2
221	ARARA-CS5	222# 1	ARARA-440	2
230	PELICAN230	240# 1	CORUJA-230	2
230	PELICAN230	250# 1	URUBU-230	2
250	URUBU-230	260# 1	GARCA-230	2
250	URUBU-230	260# 2	GARCA-230	2
111	SABIA-138	300# 1	GAIVOTA-138	3

Tabela 205 – Dados Elétricos de Linhas de Transmissão do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Ramo	Área	Resistência(pu)	Reatância(pu)	Capacitância(pu)
100 - 120#1	1	0,02760	0,10440	0,18430
100 - 150#1	1	0,05290	0,20000	0,35300
100 - 150#2	1	0,05290	0,20000	0,35300
110 - 130#1	1	0,01280	0,04840	0,08530
110 - 150#1	1	0,02410	0,09090	0,16040
111 - 170#1	3	0,02410	0,05020	0,01180
112 - 180#1	1	0,00080	0,00950	0,46420
120 - 130#1	1	0,04610	0,17410	0,30720
120 - 130#2	1	0,04610	0,17410	0,30720
120- 150#1	1	0,05760	0,21760	0,38400
131 - 132#1	1	0,00000	-0,01000	0,00000
131 - 221#1	2	0,00590	0,07160	348,20000
134 -140#1	1	0,02910	0,05000	0,00110
151 - 160#1	3	0,05080	0,10560	0,02480
151 - 160#2	3	0,05080	0,10560	0,02480
160 - 170#1	3	0,03300	0,06860	0,01610
180 - 190#1	1	0,00200	0,02390	116,10000
190 - 231#1	2	0,00310	0,03820	185,70000
200 - 210#1	2	0,02180	0,08220	0,14510
200 - 220#1	2	0,02460	0,09280	0,16390
200 - 220#2	2	0,02460	0,09280	0,16390
210 - 260#1	2	0,02300	0,08700	0,15360
210 - 260#2	2	0,02300	0,08700	0,15360
220 - 230#1	2	0,02590	0,09770	0,17240
221 - 22#1	2	0,00000	-0,01000	0,00000

230 - 240#1	2	0,01050	0,03960	0,07000
230 - 250#1	2	0,01660	0,06290	0,11090
250 - 260#1	2	0,01130	0,04250	0,07510
250 - 260#2	2	0,01130	0,04250	0,07510
111 - 300#1	3	0,03175	0,06600	0,01553

Tabela 206 – Limites de carregamento das Linhas de Transmissão do *Brazilian Birds 2*.

Ramo	Área	Normal(MVA)	Máx(MVA)	Emerg(MVA)
100 - 120#1	1	260,0	260,0	260,0
100 - 150#1	1	142,0	142,0	142,0
100 - 150#2	1	241,0	241,0	241,0
110 - 130#1	1	491,0	491,0	491,0
110 - 150#1	1	160,0	160,0	160,0
111 - 170#1	3	737,0	737,0	737,0
112 - 180#1	1	280,0	280,0	280,0
120 - 130#1	1	503,0	503,0	503,0
120 - 130#2	1	505,0	505,0	505,0
120- 150#1	1	331,0	331,0	331,0
131 - 132#1	1	343,0	343,0	343,0
131 - 221#1	2	310,0	310,0	310,0
134 -140#1	1	112,0	112,0	112,0
151 - 160#1	3	333,0	333,0	333,0
151 - 160#2	3	333,0	333,0	333,0
160 - 170#1	3	156,0	156,0	156,0
180 - 190#1	1	210,0	210,0	210,0
190 - 231#1	2	235,0	235,0	235,0
200 - 210#1	2	412,0	412,0	412,0
200 - 220#1	2	273,0	273,0	273,0
200 - 220#2	2	273,0	273,0	273,0
210 - 260#1	2	238,0	238,0	238,0
210 - 260#2	2	238,0	238,0	238,0
220 - 230#1	2	171,0	171,0	171,0
221 - 22#1	2	245,0	245,0	245,0
230 - 240#1	2	235,0	235,0	235,0
230 - 250#1	2	200,0	200,0	200,0
250 - 260#1	2	148,0	148,0	148,0
250 - 260#2	2	148,0	148,0	148,0

111 - 300#1	3	70,0	70,0	70,0
-------------	---	------	------	------

Tabela 207 – Transformadores do Sistema *Brazilian Birds 2*.

De#	Nome Barra De	Para#Circ	Nome da Barra Para	Área
10	CANARIO-18	100#1	CANARIO230	1
11	SABIA—13	110#1	SABIA-230	1
20	TUCANO—13	200#1	CORUJA-230	2
21	GAVIAO—13	210#1	GAVIAO-230	2
110	SABIA-230	111#1	SABIA-138	1
110	SABIA-230	1110#1	SABIA-FIC	1
112	SABIA-440	1110#1	SABIA-FIC	1
113	SABIA—13	1110#1	SABIA-FIC	1
120	CARDEAL230	121#1	CARDEAL-88	1
130	CURIO-230	134#1	CURIO—69	1
130	CURIO-230	134#2	CURIO—69	1
130	CURIO-230	135#1	CURIO-138	1
130	CURIO-230	1130#1	CURIO-FIC	1
132	CURIO-440	1130#1	CURIO-FIC	1
133	CURIO—13	1130#1	CURIO-FIC	1
150	TIZIU-230	151#1	TIZIU-138	1
160	PARDAL-138	161#1	PARDAL-69	3
170	AZULAO-138	171#1	AZULAO-69	3
180	BICUDO-440	1180#1	BICUDO-FIC	1
181	BICUDO-69	1180#1	BICUDO-FIC	1
182	BICUDO-13	1180#1	BICUDO-FIC	1
190	CHOPIN-440	191#1	CHOPIN-138	1
220	ARARA-230	224#1	ARARA-138	2
220	ARARA-230	1220#1	ARARA-FIC	2
222	ARARA-440	1220#1	ARARA-FIC	2
223	ARARA—13	1220#1	ARARA-FIC	2
230	PELICAN230	1230#1	PELICANFIC	2
231	PELICAN440	1230#1	PELICANFIC	2
232	PELICANO13	1230#1	PELICANFIC	2
250	URUBU-230	251#1	URUBU-138	2
9150	UTETIZIU-1GR	151#1	TIZIU-138	3
9111	PCHSABIA1-G1R	111#1	SABIA-138	3
9112	PCHSABIA1-G2R	111#1	SABIA-138	3

161	PARDAL-69	9161#1	UTEPARDAL1-1GR	3
9162	UTEPARDAL1-2GR	161#1	PARDAL-69	3
9171	UTEAZULAO1-1GR	171#1	AZULAO-69	3
9172	UTEAZULAO1-2GR	171#1	AZULAO-69	3

Tabela 208 – Dados Elétricos de Transformadores do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Ramo	Área	Tipo	Resistência(pu)	Reatância(pu)
10 - 100#1	1	Trafo	0,0000	0,0213
11 - 110#1	1	Trafo	0,0000	0,0385
20 - 200#1	2	Trafo	0,0000	0,0273
21 - 210#1	2	Trafo	0,0000	0,0172
110 - 111#1	1	Trafo	0,0000	0,0917
110 - 1110#1	1	Trafo	0,0000	0,0492
112 - 1110#1	1	Trafo	0,0000	-0,0025
113 - 1110#1	1	Trafo	0,0000	0,0375
120 - 121#1	1	Trafo	0,0000	0,0591
130 - 134#1	1	Trafo	0,0000	0,2095
130 - 134#2	1	Trafo	0,0000	0,4283
130 - 135#1	1	Trafo	0,0000	0,1000
130 - 1130#1	1	Trafo	0,0000	0,0492
132 - 1130#1	1	Trafo	0,0000	-0,0025
133 - 1130#1	1	Trafo	0,0000	0,0375
150 - 151#1	1	Trafo	0,0000	0,0464
160 - 161#1	3	Trafo	0,0000	0,0392
170 - 171#1	3	Trafo	0,0000	0,0880
180 - 1180#1	1	Trafo	0,0000	0,0748
181 - 1180#1	1	Trafo	0,0000	0,0002
182 - 1180#1	1	Trafo	0,0000	0,0220
190 - 191#1	1	Trafo	0,0000	0,1327
220 - 224#1	2	Trafo	0,0000	0,0925
220 - 1220#1	2	Trafo	0,0000	0,0492
222 - 1220#1	2	Trafo	0,0000	-0,0025
223 - 1220#1	2	Trafo	0,0000	0,0375
230 - 1230#1	2	Trafo	0,0000	0,0492
231 - 1230#1	2	Trafo	0,0000	-0,0025
232 - 1230#1	2	Trafo	0,0000	0,0375
250 - 251#1	2	Trafo	0,0000	0,1292

9150 - 151#1	3	Trafo	0,0000	0,0385
9111 - 111#1	3	Trafo	0,0000	0,0925
9112 - 111#1	3	Trafo	0,0000	0,0925
161 - 9161	3	Trafo	0,0000	0,1750
9162 - 161#1	3	Trafo	0,0000	0,1750
9171 - 171#1	3	Trafo	0,0000	0,1750
9172 - 191#1	3	Trafo	0,0000	0,1750

Tabela 209 – Barras Controladas e Taps dos Transformadores do Sistema *Brazilian Birds* 2.

DePara#Circ	Area	NumBarra Control	Tap Min	Tap Max
10 - 100#1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
11 - 110#1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
20 - 200#1	2	-	1,000 pu	1,000 pu
21 - 210#1	2	-	1,000 pu	1,000 pu
110 - 111#1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
110 - 1110#1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
112 - 1110#1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
113 - 1110#1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
120 - 121#1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
130 - 134#1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
130 - 134#2	1	-	1,000 pu	1,000 pu
130 - 135#1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
130 - 1130#1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
132 - 1130#1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
133 - 1130#1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
150 - 151#1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
160 - 161#1	3	-	1,000 pu	1,000 pu
170 - 171#1	3	-	1,000 pu	1,000 pu
180 - 1180#1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
181 - 1180#1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
182 - 1180#1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
190 - 191#1	1	-	1,000 pu	1,000 pu
220 - 224#1	2	-	1,000 pu	1,000 pu
220 - 1220#1	2	-	1,000 pu	1,000 pu
222 - 1220#1	2	-	1,000 pu	1,000 pu
223 - 1220#1	2	-	1,000 pu	1,000 pu

230 - 1230#1	2	-	1,000 pu	1,000 pu
231 - 1230#1	2	-	1,000 pu	1,000 pu
232 - 1230#1	2	-	1,000 pu	1,000 pu
250 - 251#1	2	-	1,000 pu	1,000 pu
9150 - 151#1	3	-	1,000 pu	1,000 pu
9111 - 111#1	3	-	1,000 pu	1,000 pu
9112 - 111#1	3	-	1,000 pu	1,000 pu
161 - 9161	3	-	1,000 pu	1,000 pu
9162 - 161#1	3	-	1,000 pu	1,000 pu
9171 - 171#1	3	-	1,000 pu	1,000 pu
9172 - 191#1	3	-	1,000 pu	1,000 pu

Tabela 210 – Limites de Carregamentos dos Transformadores do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Ramo	Área	Normal(MVA)	Máx(MVA)	Emerg(MVA)
10 - 100#1	1	525,0	525,0	525,0
11 - 110#1	1	295,0	295,0	295,0
20 - 200#1	2	585,0	585,0	585,0
21 - 210#1	2	510,0	510,0	510,0
110 - 111#1	1	169,0	169,0	169,0
110 - 1110#1	1	325,0	325,0	325,0
112 - 1110#1	1	280,0	280,0	280,0
113 - 1110#1	1	100,0	100,0	100,0
120 - 121#1	1	189,0	189,0	189,0
130 - 134#1	1	228,0	228,0	228,0
130 - 134#2	1	175,0	175,0	175,0
130 - 135#1	1	372,0	372,0	372,0
130 - 1130#1	1	751,0	751,0	751,0
132 - 1130#1	1	228,0	228,0	228,0
133 - 1130#1	1	165,0	165,0	165,0
150 - 151#1	1	290,0	290,0	290,0
160 - 161#1	3	611,0	611,0	611,0
170 - 171#1	3	626,0	626,0	626,0
180 - 1180#1	1	189,0	189,0	189,0
181 - 1180#1	1	193,0	193,0	193,0
182 - 1180#1	1	161,0	161,0	161,0
190 - 191#1	1	130,0	130,0	130,0

220 - 224#1	2	245,0	245,0	245,0
220 - 1220#1	2	245,0	245,0	245,0
222 - 1220#1	2	245,0	245,0	245,0
223 - 1220#1	2	100,0	100,0	100,0
230 - 1230#1	2	235,0	235,0	235,0
231 - 1230#1	2	235,0	235,0	235,0
232 - 1230#1	2	100,0	100,0	100,0
250 - 251#1	2	120,0	120,0	120,0
9150 - 151#1	3	100,0	100,0	100,0
9111 - 111#1	3	40,0	40,0	40,0
9112 - 111#1	3	40,0	40,0	40,0
161 - 9161	3	40,0	40,0	40,0
9162 - 161#1	3	40,0	40,0	40,0
9171 - 171#1	3	40,0	40,0	40,0
9172 - 191#1	3	40,0	40,0	40,0

Tabela 211 – Dados de Compensação Reativa do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra	Nome da Barra	Área	BSht (Mvar)
131	CURIO-CS5	1	-80,0
180	BICUDO-440	1	-40,0
182	BICUDO-13	1	10,0
190	CHOPIN-440	1	-80,0
221	ARARA-CS5	2	-80,0
260	GARCA-230	2	50,0

Tabela 212 – Limites de Tensão do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Nível Tensão	Vminn	Vmaxn	Vmine	Vmaxe
1,0 kV	0,90 pu	1,10 pu	0,90 pu	1,10 pu
69,0 kV	0,90 pu	1,10 pu	0,90 pu	1,10 pu
88,0 kV	0,90 pu	1,10 pu	0,90 pu	1,10 pu
138,0 kV	0,90 pu	1,10 pu	0,90 pu	1,10 pu
230,0 kV	0,90 pu	1,10 pu	0,90 pu	1,10 pu
440,0 kV	0,90 pu	1,10 pu	0,90 pu	1,10 pu

# ANEXO G – Dados para o Fluxo de Potência do Sistema *Brazilian Birds 2* Operando de Forma Interligada.

Este anexo mostra os resultados do fluxo de potência para o sistema *Brazilian Birds 2*. Este anexo mostra as classificações das barras quanto aos seus tipos, os dados elétricos e seus limites para linhas de transmissão e transformadores. Os dados deste anexo foram obtidos (e adaptados) do site disponibilizado por Junior (JUNIOR, 2016) e do trabalho de Oliveira (OLIVEIRA, 2014).

## G.1 Fluxo de Potência - Carga Elevada

Tabela 213 – Barras de Geração e Barra *Swing* do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra	Nome da Barra	Área	Tipo	Volt (pu)
10	CANARIO-18	1	SW	1,030
11	SABIA—13	1	PV	1,030
20	TUCANO—13	2	PV	1,030
21	GAVIAO—13	2	PV	1,030
9150	UTE TIZIU-1GR	3	PV	1,040
9111	PCH SABIA 1-G1R	3	PV	1,029
9112	PCH SABIA 1-G2R	3	PV	1,029
9161	UTE PARDAL 1-1GR	3	PV	1,030
9162	UTE PARDAL 1-2GR	3	PV	1,030
9171	UTE AZULAO 1-1GR	3	PV	1,050
9172	UTE AZULAO 1-2GR	3	PV	1,050

Tabela 214 – Gerações e seus Limites para o Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra-Nome	P <sub>g</sub> (MW)*	Q <sub>g</sub> (MVar)*	P <sub>m</sub> (MW)'	PM(MW)'
10 - CANARIO-18	91,2	-5,6	0,0	100,0
11 - SABIA—13	50,0	1,4	0,0	75,0
20 - TUCANO—13	52,0	-11,7	0,0	115,0
21 - GAVIAO—13	65,0	-10,8	0,0	158,0
9150 - UTE TIZIU	50,0	9,6	0,0	75,0

9111 - PCH SABIA 1	24,0	12,0	0,0	26,5
9112 - PCH SABIA 1	24,0	12,0	0,0	26,5
9161 - UTE PARDAL 1	20,0	0,3	0,0	24,9
9162 - UTE PARDAL 1	20,0	0,3	0,0	24,9
9171 - UTE AZULAO 1	22,0	8,8	0,0	24,9
9172 - UTE AZULAO 1	22,0	8,8	0,0	24,9

Tabela 215 – Continuação da Tabela 214 - Gerações e seus Limites para o Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra-Nome da Barra	Qmin(MVAr)'	Qmax(MVAr)'	VSpec (pu)
10 - CANARIO-18	-35,0	35,0	1,030
11 - SABIA—13	-25,0	25,0	1,030
20 - TUCANO—13	-50,0	50,0	1,030
21 - GAVIAO—13	-45,0	45,0	1,030
9150 - UTE TIZIU	-25,0	25,0	1,040
9111 - PCH SABIA 1	-12,0	12,0	1,029
9112 - PCH SABIA 1	-12,0	12,0	1,029
9161 - UTE PARDAL 1	-18,6	18,6	1,030
9162 - UTE PARDAL 1	-18,6	18,6	1,030
9171 - UTE AZULAO 1	-18,6	18,6	1,050
9172 - UTE AZULAO 1	-18,6	18,6	1,050

\* Estes valores devem ser multiplicados pelo número de máquinas da Tabela 203.

' Estes valores de limites são referentes a uma unidade geradora.

Tabela 216 – Dados de Compensação Reativa do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra	Nome da Barra	Área	BSht (Mvar)
131	CURIO—CS5	1	-80,0
180	BICUDO-440	1	-40,0
182	BICUDO—13	1	10,0
190	CHOPIN-440	1	-80,0
221	ARARA—CS5	2	-80,0
260	GARCA—230	2	50,0

Tabela 217 – Carga das Barras do Sistema *Brazilian Birds 2*.

<b>Barra</b>	<b>Nome da Barra</b>	<b>MW PConst</b>	<b>Mvar QConst</b>
111	SABIA-138	28,8	7,2
121	CARDEAL-88	144,0	48,0
135	CURIO-138	132,0	48,0
140	SANHACO-69	84,0	24,0
151	TIZIU-138	57,6	21,6
161	PARDAL-69	28,8	7,2
171	AZULAO-69	28,8	7,2
181	BICUDO-69	156,0	48,0
191	CHOPIN-138	108,0	24,0
224	ARARA-138	132,0	30,0
240	CORUJA-230	108,0	12,0
251	URUBU-138	96,0	12,0
260	GARCA-230	134,0	60,0
300	GAIVOTA-138	57,6	21,6

## G.2 Fluxo de Potência - Carga Moderada

Tabela 218 – Barras de Geração e Barra *Swing* do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra	Nome da Barra	Área	Tipo	Volt (pu)
10	CANARIO-18	1	SW	1,030
11	SABIA—13	1	PV	1,030
20	TUCANO—13	2	PV	1,030
21	GAVIAO—13	2	PV	1,030
9150	UTE TIZIU-1GR	3	PV	1,040
9111	PCH SABIA 1-G1R	3	PV	1,050
9112	PCH SABIA 1-G2R	3	PV	1,050
9161	UTE PARDAL 1-1GR	3	PV	1,030
9162	UTE PARDAL 1-2GR	3	PV	1,030
9171	UTE AZULAO 1-1GR	3	PV	1,050
9172	UTE AZULAO 1-2GR	3	PV	1,050

Tabela 219 – Gerações e seus Limites para o Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra-Nome	Pg(MW)*	Qg(MVAr)*	Pm(MW)'	PM(MW)'
10 - CANARIO-18	74,5	-15,8	0,0	100,0
11 - SABIA—13	50,0	-16,1	0,0	75,0
20 - TUCANO—13	40,0	-20,1	0,0	115,0
21 - GAVIAO—13	50,0	-23,3	0,0	158,0
9150 - UTE TIZIU	50,0	-15,2	0,0	75,0
9111 - PCH SABIA 1	18,0	11,7	0,0	26,5
9112 - PCH SABIA 1	18,0	11,7	0,0	26,5
9161 - UTE PARDAL 1	18,0	-3,9	0,0	24,9
9162 - UTE PARDAL 1	18,0	-3,9	0,0	24,9
9171 - UTE AZULAO 1	18,0	4,1	0,0	24,9
9172 - UTE AZULAO 1	18,0	4,1	0,0	24,9

Tabela 220 – Continuação da Tabela 219 - Gerações e seus Limites para o Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra-Nome da Barra	Qmin(MVAr)'	Qmax(MVAr)'	VSpec (pu)
10 - CANARIO-18	-35,0	35,0	1,030
11 - SABIA—13	-25,0	25,0	1,030
20 - TUCANO—13	-50,0	50,0	1,030

21 - GAVIAO-13	-45,0	45,0	1,030
9150 - UTE TIZIU	-25,0	25,0	1,040
9111 - PCH SABIA 1	-12,0	12,0	1,050
9112 - PCH SABIA 1	-12,0	12,0	1,050
9161 - UTE PARDAL 1	-18,6	18,6	1,030
9162 - UTE PARDAL 1	-18,6	18,6	1,030
9171 - UTE AZULAO 1	-18,6	18,6	1,050
9172 - UTE AZULAO 1	-18,6	18,6	1,050

\* Estes valores devem ser multiplicados pelo número de máquinas da tabela 203.

' Estes valores de limites são referentes a uma unidade geradora.

Tabela 221 – Carga das Barras do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra	Nome da Barra	Área	BSht (Mvar)
131	CURIO-CS5	1	-80,0
180	BICUDO-440	1	-40,0
182	BICUDO-13	1	10,0
190	CHOPIN-440	1	-80,0
221	ARARA-CS5	2	-80,0
260	GARCA-230	2	50,0

Tabela 222 – Carga das Barras do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra	Nome da Barra	MW PConst	Mvar QConst
111	SABIA-138	24,0	6,0
121	CARDEAL-88	120,0	40,0
135	CURIO-138	110,0	40,0
140	SANHACO-69	70,0	20,0
151	TIZIU-138	48,0	18,0
161	PARDAL-69	24,0	6,0
171	AZULAO-69	24,0	6,0
181	BICUDO-69	130,0	40,0
191	CHOPIN-138	90,0	20,0
224	ARARA-138	110,0	30,0
240	CORUJA-230	90,0	10,0
251	URUBU-138	80,0	10,0
260	GARCA-230	120,0	50,0
300	GAIVOTA-138	48,0	18,0

### G.3 Fluxo de Potência - Carga Reduzida

Tabela 223 – Barras de Geração e Barra *Swing* do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra	Nome da Barra	Área	Tipo	Volt (pu)
10	CANARIO-18	1	SW	1,030
11	SABIA—13	1	PV	1,030
20	TUCANO—13	2	PV	1,030
21	GAVIAO—13	2	PV	1,030
9150	UTE TIZIU-1GR	3	PV	1,040
9111	PCH SABIA 1-G1R	3	PV	1,029
9112	PCH SABIA 1-G2R	3	PV	1,029
9161	UTE PARDAL 1-1GR	3	PV	1,030
9162	UTE PARDAL 1-2GR	3	PV	1,030
9171	UTE AZULAO 1-1GR	3	PV	1,050
9172	UTE AZULAO 1-2GR	3	PV	1,050

Tabela 224 – Gerações e seus Limites para o Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra-Nome	Pg(MW)*	Qg(MVAr)*	Pm(MW)'	PM(MW)'
10 - CANARIO-18	91,2	-5,6	0,0	100,0
11 - SABIA—13	50,0	1,4	0,0	75,0
20 - TUCANO—13	52,0	-11,7	0,0	115,0
21 - GAVIAO—13	65,0	-10,8	0,0	158,0
9150 - UTE TIZIU	50,0	9,6	0,0	75,0
9111 - PCH SABIA 1	24,0	12,0	0,0	26,5
9112 - PCH SABIA 1	24,0	12,0	0,0	26,5
9161 - UTE PARDAL 1	20,0	0,3	0,0	24,9
9162 - UTE PARDAL 1	20,0	0,3	0,0	24,9
9171 - UTE AZULAO 1	22,0	8,8	0,0	24,9
9172 - UTE AZULAO 1	22,0	8,8	0,0	24,9

Tabela 225 – Continuação da Tabela 224 - Gerações e seus Limites para o Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra-Nome da Barra	Qmin(MVAr)'	Qmax(MVAr)'	VSpec (pu)
10 - CANARIO-18	-35,0	35,0	1,030
11 - SABIA—13	-25,0	25,0	1,030
20 - TUCANO—13	-50,0	50,0	1,030

21 - GAVIAO-13	-45,0	45,0	1,030
9150 - UTE TIZIU	-25,0	25,0	1,040
9111 - PCH SABIA 1	-12,0	12,0	1,029
9112 - PCH SABIA 1	-12,0	12,0	1,029
9161 - UTE PARDAL 1	-18,6	18,6	1,030
9162 - UTE PARDAL 1	-18,6	18,6	1,030
9171 - UTE AZULAO 1	-18,6	18,6	1,050
9172 - UTE AZULAO 1	-18,6	18,6	1,050

\* Estes valores devem ser multiplicados pelo número de máquinas da tabela 203.

' Estes valores de limites são referentes a uma unidade geradora.

Tabela 226 – Carga das Barras do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra	Nome da Barra	Área	BSht (Mvar)
131	CURIO-CS5	1	-80,0
180	BICUDO-440	1	-40,0
182	BICUDO-13	1	10,0
190	CHOPIN-440	1	-80,0
221	ARARA-CS5	2	-80,0
260	GARCA-230	2	50,0

Tabela 227 – Carga das Barras do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra	Nome da Barra	MW PConst	Mvar QConst
111	SABIA-138	28,8	7,2
121	CARDEAL-88	144,0	48,0
135	CURIO-138	132,0	48,0
140	SANHACO-69	84,0	24,0
151	TIZIU-138	57,6	21,6
161	PARDAL-69	28,8	7,2
171	AZULAO-69	28,8	7,2
181	BICUDO-69	156,0	48,0
191	CHOPIN-138	108,0	24,0
224	ARARA-138	132,0	30,0
240	CORUJA-230	108,0	12,0
251	URUBU-138	96,0	12,0
260	GARCA-230	134,0	60,0
300	GAIVOTA-138	57,6	21,6

# ANEXO H – Dados para o Fluxo de Potência do Sistema *Brazilian Birds 2* Operando de Forma Ilhada - Área 3

Este anexo mostra os resultados do fluxo de potência para o sistema *Brazilian Birds 2* operando de forma ilhada. Os dados deste anexo foram obtidos (e adaptados) do site disponibilizado por Junior ([JUNIOR, 2016](#)) e do trabalho de Oliveira ([OLIVEIRA, 2014](#)).

## H.1 Fluxo de Potência - Carga Elevada - Área 3 - Ilha

Tabela 228 – Barras de Geração e Barra *Swing* do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra	Nome da Barra	Área	Tipo	Volt (pu)
9150	UTE TIZIU-1GR	3	SW	1,040
9111	PCH SABIA 1-G1R	3	PV	1,023
9112	PCH SABIA 1-G2R	3	PV	1,023
9161	UTE PARDAL 1-1GR	3	PV	1,030
9162	UTE PARDAL 1-2GR	3	PV	1,030
9171	UTE AZULAO 1-1GR	3	PV	1,050
9172	UTE AZULAO 1-2GR	3	PV	1,050

Tabela 229 – Carga das Barras do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra	Nome da Barra	MW PConst	Mvar QConst
111	SABIA-138	28,8	7,2
151	TIZIU-138	57,6	21,6
161	PARDAL-69	28,8	7,2
171	AZULAO-69	28,8	7,2
300	GAIVOTA-138	57,6	21,6

Tabela 230 – Gerações e seus Limites para o Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra-Nome	Pg(MW)*	Qg(MVAr)*	Pm(MW)'	PM(MW)'
9150-UTETIZIU1GR	71,5	19,4	0,0	75,0
9111-PCHSABIA1G1R	24,0	11,9	0,0	26,5
9112-PCHSABIA1G2R	24,0	11,9	0,0	26,5

9161-UTPARDAL1G1R	20,0	1,3	0,0	24,9
9162-UTEPARDAL1G2R	20,0	1,3	0,0	24,9
9171-UTEAZULAO1G1R	22,0	9,8	0,0	24,9
9172-UTEAZULAO1G2R	22,0	9,8	0,0	24,9

Tabela 231 – Continuação da Tabela 230 - Gerações e seus Limites para o Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra-Nome da Barra	Qmin(MVAr)'	Qmax(MVAr)'	VSpec (pu)
9150 - UTE TIZIU-1GR	-25,0	25,0	1,040
9111 - PCH SABIA 1-G1R	-12,0	12,0	1,023
9112 - PCH SABIA 1-G2R	-12,0	12,0	1,023
9161 - UTE PARDAL 1-1GR	-18,6	18,6	1,030
9162 - UTE PARDAL 1-2GR	-18,6	18,6	1,030
9171 - UTE AZULAO 1-1GR	-18,6	18,6	1,050
9172 - UTE AZULAO 1-2GR	-18,6	18,6	1,050

\* Estes valores devem ser multiplicados pelo número de máquinas da tabela 203.

' Estes valores de limites são referentes a uma unidade geradora.

## H.2 Fluxo de Potência - Carga Moderada - Área 3 - Ilha

Tabela 232 – Barras de Geração e Barra *Swing* do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra	Nome da Barra	Área	Tipo	Volt (pu)
9150	UTE TIZIU-1GR	3	SW	1,040
9111	PCH SABIA 1-G1R	3	PV	1,033
9112	PCH SABIA 1-G2R	3	PV	1,033
9161	UTE PARDAL 1-1GR	3	PV	1,030
9162	UTE PARDAL 1-2GR	3	PV	1,030
9171	UTE AZULAO 1-1GR	3	PV	1,050
9172	UTE AZULAO 1-2GR	3	PV	1,050

Tabela 233 – Carga das Barras do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra	Nome da Barra	MW PConst	Mvar QConst
111	SABIA-138	24,00	6,00
151	TIZIU-138	48,00	18,00
161	PARDAL-69	24,00	6,00
171	AZULAO-69	24,00	6,00
300	GAIVOTA-138	48,00	18,00

Tabela 234 – Gerações e seus Limites para o Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra-Nome	Pg(MW)*	Qg(MVAr)*	Pm(MW)'	PM(MW)'
9150-UTETIZIU-1GR	61,4	13,3	0,0	75,0
9111-PCHSABIA1-G1R	18,0	12,0	0,0	26,5
9112-PCHSABIA1-G2R	18,0	12,0	0,0	26,5
9161-UTEPARDAL1-G1R	18,0	-0,3	0,0	24,9
9162-UTEPARDAL1-G2R	18,0	-0,3	0,0	24,9
9171-UTEAZULAO1-G1R	18,0	7,6	0,0	24,9
9172-UTEAZULAO1-G2R	18,0	7,6	0,0	24,9

Tabela 235 – Continuação da Tabela 234 - Gerações e seus Limites para o Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra-Nome da Barra	Qmin(MVAr)+	Qmax(MVAr)+	VSpec (pu)
9150 - UTE TIZIU-1GR	-25,0	25,0	1,040
9150 - UTE TIZIU-1GR	-25,0	25,0	1,040
9111 - PCH SABIA 1-G1R	-12,0	12,0	1,033
9112 - PCH SABIA 1-G2R	-12,0	12,0	1,033

9161 - UTE PARDAL 1-1GR	-18,6	18,6	1,030
9162 - UTE PARDAL 1-2GR	-18,6	18,6	1,030
9171 - UTE AZULAO 1-1GR	-18,6	18,6	1,050
9172 - UTE AZULAO 1-2GR	-18,6	18,6	1,050

\* Estes valores devem ser multiplicados pelo número de máquinas da tabela [203](#).

' Estes valores de limites são referentes a uma unidade geradora.

### H.3 Fluxo de Potência - Carga Reduzida - Área 3 - Ilha

Tabela 236 – Barras de Geração e Barra *Swing* do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra	Nome da Barra	Área	Tipo	Volt (pu)
9150	UTE TIZIU-1GR	3	SW	1,040
9111	PCH SABIA 1-G1R	3	PV	1,049
9112	PCH SABIA 1-G2R	3	PV	1,049
9161	UTE PARDAL 1-1GR	3	PV	1,030
9162	UTE PARDAL 1-2GR	3	PV	1,030
9171	UTE AZULAO 1-1GR	3	PV	1,050
9172	UTE AZULAO 1-2GR	3	PV	1,050

Tabela 237 – Carga das Barras do Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra	Nome da Barra	MW PConst	Mvar QConst
111	SABIA-138	19,2	4,8
151	TIZIU-138	38,4	14,4
161	PARDAL-69	19,2	4,8
171	AZULAO-69	19,2	4,8
300	GAIVOTA-138	38,4	14,4

Tabela 238 – Gerações e seus Limites para o Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra-Nome	Pg(MW)*	Qg(MVAr)*	Pm(MW)'	PM(MW)'
9150-UTETIZIU-1GR	27,1	11,8	0,0	75,0
9111-PCHSABIA1-G1R	18,0	11,6	0,0	26,5
9112-PCHSABIA1-G2R	18,0	11,6	0,0	26,5
9161-UTEPARDAL1-G1R	18,0	-2,4	0,0	24,9
9162-UTEPARDAL1-G2R	18,0	-2,4	0,0	24,9
9171-UTEAZULAO1-G1R	18,0	4,0	0,0	24,9
9172-UTEAZULAO1-G2R	18,0	4,0	0,0	24,9

Tabela 239 – Continuação da Tabela 238 - Gerações e seus Limites para o Sistema *Brazilian Birds 2*.

Barra-Nome da Barra	Qmin(MVAr)'	Qmax(MVAr)'	VSpec (pu)
9150 - UTE TIZIU-1GR	-25,0	25,0	1,040
9111 - PCH SABIA 1-G1R	-12,0	12,0	1,049
9112 - PCH SABIA 1-G2R	-12,0	12,0	1,049
9161 - UTE PARDAL 1-1GR	-18,6	18,6	1,030

9162 - UTE PARDAL 1-2GR	-18,6	18,6	1,030
9171 - UTE AZULAO 1-1GR	-18,6	18,6	1,050
9172 - UTE AZULAO 1-2GR	-18,6	18,6	1,050

\* Estes valores devem ser multiplicados pelo número de máquinas da tabela 203.

' Estes valores de limites são referentes a uma unidade geradora.

# ANEXO I – Dados Dinâmicos Sistema

## *Brazilian Birds 2*

### I.1 Dados Dinâmicos da Usina Canário

Este anexo mostra os dados dinâmicos dos geradores do sistema *Brazilian Birds 2*. Os dados deste anexo foram obtidos do site disponibilizado por Junior (JUNIOR, 2016) e do trabalho de Oliveira (OLIVEIRA, 2014).

Tabela 240 – Dados de Classificação - Canário.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	10
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	2
PSS	Número do modelo do PSS	1
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	3
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0

Tabela 241 – Dados do Gerador Síncrono - Canário.

Parâmetro	Descrição	Valores
X <sub>d</sub>	Reatância de Eixo Direto (pu)	1,014
X' <sub>d</sub>	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,314
X'' <sub>d</sub>	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,280
X <sub>q</sub>	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	0,770
X' <sub>q</sub>	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,000
X'' <sub>q</sub>	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,280
R <sub>a</sub>	Resistência de Estator (pu)	0,0050
Base	MVA Base	100,000
X <sub>l</sub>	Reatância de Dispersão (pu)	0,163
X <sub>t</sub>	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,000
T' <sub>d</sub>	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	6,550
T'' <sub>d</sub>	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,039
T' <sub>q</sub>	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	0,000
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	3,120
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	2,000
T'' <sub>q</sub>	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,071
A <sub>g</sub>	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,000
B <sub>g</sub>	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,000

Tabela 242 – Dados dos Reguladores do Gerador - Canário.

AVR02		PSS01		GOV03	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
Ka	15,0	T1	0,2	At	1,200
Ta>0	0,020	T2	0,150	Tg	0,500
Kf	0,010	T3	0,030	Tw	1,500
Tf	1,060	T4	0,030	Rt>0	0,050
Lmin	-999,000	T5	0,0001	Tr>0	7,000
Lmax	999,000	T6	0,0001	Rp	0,380
Vmin	-6,730	Tw	1,500	Tf	0,050
Vmax	6,730	K1	1,000	Lmin	-2,000
Efdmin	-6,730	Vpssmin	-0,100	Lmax	0,980
Efdmax	6,730	Vpssmax	0,100	Vmin	-2,000
Kc	0,000			Vmax	2,000
				qnl	0,150
				Kd	0,000
				Td	1,000
				Dt	0,500
				D	1,000
Limit Mode	0,000	Tipo	1,000		

## I.2 Dados Dinâmicos da Usina Sabiá

Tabela 243 – Dados de Classificação - Sabiá.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	11
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	2
PSS	Número do modelo do PSS	0
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	9
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0,01
UEL	Número do modelo do limitador de subexcitação	0
OEL	Número do modelo do limitador de sobreexcitação	0
GID	Identificação do Grupo Gerador	10

Tabela 244 – Dados do Gerador Síncrono - Sabiá.

Parâmetro	Descrição	Valores
Xd	Reatância de Eixo Direto (pu)	1,050
X'd	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,185
X''d	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,130
Xq	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	0,980
X'q	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,360
X''q	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,130
Ra	Resistência de Estator (pu)	0,0031
Base	MVA Base	75,000
Xl	Reatância de Dispersão (pu)	0,070
Xt	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,000
T'd	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	6,100
T''d	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,038
T'q	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	0,300
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	6,187
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	2,000
T''q	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,990
Ag	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,000
Bg	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,000

Tabela 245 – Dados Dos Reguladores Do Gerador - Sabiá.

AVR02		GOV09	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
Ka	15,0	R>0	0,050
Ta>0	0,020	T1>0	0,200
Kf	0,010	Pmax	1,200
Tf	1,060	Pmin	0,000
Lmin	-999,000	T2	0,000
Lmax	999,000	T3>0	0,300
Vmin	-6,730		
Vmax	6,730		
Efdmin	-6,730		
Efdmax	6,730		
Kc	0,000		
Limit Mode	1,000		

### I.3 Dados Dinâmicos da Usina Tucano

Tabela 246 – Dados de Classificação - Tucano.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	20
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	2
PSS	Número do modelo do PSS	1
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	3
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0
UEL	Número do modelo do limitador de subexcitação	0
OEL	Número do modelo do limitador de sobreexcitação	0
GID	Identificação do Grupo Gerador	10

Tabela 247 – Dados do Gerador Síncrono - Tucano.

Parâmetro	Descrição	Valores
$X_d$	Reatância de Eixo Direto (pu)	1,060
$X'_d$	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,315
$X''_d$	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,250
$X_q$	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	0,610
$X'_q$	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,000
$X''_q$	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,250
$R_a$	Resistência de Estator (pu)	0,0024
Base	MVA Base	115,000
$X_l$	Reatância de Dispersão (pu)	0,147
$X_t$	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,000
$T'_d$	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	8,680
$T''_d$	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,040
$T'_q$	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	0,000
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	3,817
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	2,000
$T''_q$	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,080
$A_g$	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,000
$B_g$	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,000

Tabela 248 – Dados dos Reguladores do Gerador - Tucano.

AVR02		PSS01		GOV03	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
Ka	15,0	T1	0,150	At	1,200
Ta>0	0,020	T2	0,150	Tg	0,500
Kf	0,010	T3	0,030	Tw	1,500
Tf	1,060	T4	0,030	Rt>0	0,050
Lmin	-999,000	T5	0,0001	Tr>0	7,000
Lmax	999,000	T6	0,0001	Rp	0,380
Vmin	-6,730	Tw	1,500	Tf	0,050
Vmax	6,730	K1	1,000	Lmin	-2,000
Efdmin	-6,730	Vpssmin	-0,100	Lmax	0,980
Efdmax	6,730	Vpssmax	0,100	Vmin	-2,000
Kc	0,000			Vmax	2,000
				qnl	0,150
				Kd	0,000
				Td	1,000
Limit Mode	0,000	Tipo	1,000	Dt	0,500
				D	1,000

## I.4 Dados Dinâmicos da Usina Gavião

Tabela 249 – Dados de Classificação - Gavião.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	21
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	4
PSS	Número do modelo do PSS	1
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	3
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0
UEL	Número do modelo do limitador de subexcitação	0
OEL	Número do modelo do limitador de sobreexcitação	0
GID	Identificação do Grupo Gerador	10

Tabela 250 – Dados do Gerador Síncrono - Gavião.

Parâmetro	Descrição	Valores
$X_d$	Reatância de Eixo Direto (pu)	0,920
$X'_d$	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,300
$X''_d$	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,220
$X_q$	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	0,510
$X'_q$	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,000
$X''_q$	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,220
$R_a$	Resistência de Estator (pu)	0,0020
Base	MVA Base	158,000
$X_l$	Reatância de Dispersão (pu)	0,130
$X_t$	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,000
$T'_d$	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	5,200
$T''_d$	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,029
$T'_q$	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	0,000
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	3,177
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	2,000
$T''_q$	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,034
$A_g$	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,000
$B_g$	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,000

Tabela 251 – Dados dos Reguladores do Gerador - Gavião.

AVR02		PSS01		GOV03	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
Ka	187,0	T1	0,150	At	1,200
Ta>0	0,890	T2	0,150	Tg	0,500
Ke	1,000	T3	0,030	Tw	1,500
Te	1,150	T4	0,030	Rt>0	0,050
Tc	1,000	T5	0,0001	Tr>0	7,000
Tb>0	1,000	T6	0,0001	Rp	0,380
Kf	0,058	Tw	1,500	Tf	0,050
Tf	0,620	K1	1,000	Lmin	-2,000
Vmin	-1,700	Vpssmin	-0,100	Lmax	0,980
Vmax	1,700	Vpssmax	0,100	Vmin	-2,000
E1	1,000	Tipo	1,000	Vmax	2,000
S(E1)	0,000			qnl	0,150
E2	1,200			Kd	0,000
S(E2)	0,000			Td	1,000
Tc1	1,000			Dt	0,500
Tb1	1,000			D	1,000

## I.5 Dados Dinâmicos da Usina UTE Tiziu

Tabela 252 – Dados de Classificação - UTE Tiziu.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	9150
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	2
PSS	Número do modelo do PSS	0
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	9
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0,01
UEL	Número do modelo do limitador de subexcitação	0
OEL	Número do modelo do limitador de sobreexcitação	0
GID	Identificação do Grupo Gerador	10

Tabela 253 – Dados do Gerador Síncrono - UTE Tiziu.

Parâmetro	Descrição	Valores
$X_d$	Reatância de Eixo Direto (pu)	1,050
$X'_d$	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,185
$X''_d$	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,130
$X_q$	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	0,980
$X'_q$	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,360
$X''_q$	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,130
$R_a$	Resistência de Estator (pu)	0,0031
Base	MVA Base	75,000
$X_l$	Reatância de Dispersão (pu)	0,070
$X_t$	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,000
$T'_d$	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	6,100
$T''_d$	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,038
$T'_q$	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	0,300
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	6,187
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	2,000
$T''_q$	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,990
$A_g$	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,000
$B_g$	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,000

Tabela 254 – Dados dos Reguladores do Gerador - UTE Tiziu.

AVR02		GOV09	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
Ka	15,0	R>0	0,050
Ta>0	0,020	T1>0	0,200
Kf	0,010	Pmax	1,200
Tf	1,060	Pmin	0,000
Lmin	-999,000	T2	0,000
Lmax	999,000	T3>0	0,300
Vmin	-6,730		
Vmax	6,730		
Efdmin	-6,730		
Efdmax	6,730		
Kc	0,000		
Limit Mode	1,000		

## I.6 Dados Dinâmicos das Usinas PCH's Sabiá 1 e Sabiá 2

Tabela 255 – Dados de Classificação - PCH's Sabiá 1 e Sabiá 2.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	9111-9112
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	16
PSS	Número do modelo do PSS	6
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	6
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0
UEL	Número do modelo do limitador de subexcitação	0
OEL	Número do modelo do limitador de sobreexcitação	0
GID	Identificação do Grupo Gerador	10

Tabela 256 – Dados do Gerador Síncrono - PCH's Sabiá 1 e Sabiá 2.

Parâmetro	Descrição	Valores
Xd	Reatância de Eixo Direto (pu)	1,190
X'd	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,290
X''d	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,250
Xq	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	0,820
X'q	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,000
X''q	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,250
Ra	Resistência de Estator (pu)	0,0000
Base	MVA Base	27,800
Xl	Reatância de Dispersão (pu)	0,092
Xt	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,000
T'd	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	5,690
T''d	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,023
T'q	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	0,000
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	3,030
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	0,000
T''q	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,040
Ag	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,028
Bg	Coefficiente Proporcional de Saturação	9,211

Tabela 257 – Dados dos Reguladores do Gerador - PCH's Sabiá 1 e Sabiá 2.

AVR16		PSS06		GOV06	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
Vimax	99,00	T1	0,150	Rp	0,050
Vimin	-99,00	T2	0,020	Te	0,050
Tc	1,000	T3	0,150	Kp	5,000
Tb	15,000	T4	0,020	Ki	0,666
Tc1	1,000	T5	0,100	Kd	0,000
Tb1	1,000	T6	0,000	Td	0,000
Ka	920,000	T7	3,000	Tp1	0,000
Ta>0	0,001	T8	0,400	Tp2>0	0,100
Vamax	21,160	Tw1	3,000	G1min	-1,000
Vamin	-14,820	Tw2	3,000	G1max	1,000
Vrmax	4,600	Tw3	3,000	Tv>0	0,150
Vrmin	-4,600	Tw4	99,000	G2min	-0,035
Kc	0,000	K1	15,000	G2max	0,021
Kf	0,000	K2	0,594	Tq>0	0,700
Tf	1,000	K3	1,000	G3min	0,010
LimitMode	1,000	Vmin	-0,100	G3max	1,000
		Vmax	0,100	Tw	1,190
		Tipo 1	1,000	At	1,667
		Tipo 2	3,000	qnl	0,200
				Dt	0,500

## I.7 Dados Dinâmicos das Usinas UTE's Pardal 1 e Pardal 2

Tabela 258 – Dados de Classificação - UTEs Pardal 1 e Pardal 2.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	9161-9162
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	25
PSS	Número do modelo do PSS	0
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	14
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0,020
UEL	Número do modelo do limitador de subexcitação	0
OEL	Número do modelo do limitador de sobreexcitação	0
GID	Identificação do Grupo Gerador	10

Tabela 259 – Dados do Gerador Síncrono - UTE's Pardal 1 e Pardal 2.

Parâmetro	Descrição	Valores
Xd	Reatância de Eixo Direto (pu)	3,1620
X'd	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,2215
X''d	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,1495
Xq	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	1,5640
X'q	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,3024
X''q	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,1495
Ra	Resistência de Estator (pu)	0,0000
Base	MVA Base	31,1400
Xl	Reatância de Dispersão (pu)	0,1280
Xt	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,0000
T'd	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	3,6860
T''d	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,0054
T'q	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	1,0000
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	6,9600
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	0,0000
T''q	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,0096
Ag	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,2298
Bg	Coefficiente Proporcional de Saturação	1,2124

Tabela 260 – Dados dos Reguladores do Gerador - UTE's Pardal 1 e Pardal 2.

AVR25		GOV14	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
Kd	9,091	K1	20,000
Td	0,033	R2	0,050
Tc	6,000	Tp	0,020
Ki	5,000	Kp	0,500
Kp	999,000	Ki	1,000
Vmax	-999,000	T1	0,100
Vmin	0,223	T2	0,0001
Te	0,000	Lmin	-99,000
Kc	0,000	Lmax	99,000
Kd	1,000	Pmin	-0,100
Ke	1,000	Pmax	0,900
E1	1,000		
S(E1)	0,000		
E2	1,200		
S(E2)	0,000		
Vrmax	999,000		
Vrmin	-999,000		

## 1.8 Dados Dinâmicos das Usinas UTE's Azulão 1 e Azulão 2

Tabela 261 – Dados de Classificação - UTE's Azulão 1 e Azulão 2.

Parâmetro	Descrição	Valores
Bus No.	Número da Barra Terminal	9171-9172
VR	Número do modelo do Regulador de Tensão	25
PSS	Número do modelo do PSS	0
GOV	Número do modelo do Regulador de Velocidade	14
RB	Número da Barra Controlada	0
RC	Resistência de Compensação (pu)	0
XC	Reatância de Compensação (pu)	0
TR	Constante do Tempo do transdutor (s)	0,020
UEL	Número do modelo do limitador de subexcitação	0
OEL	Número do modelo do limitador de sobreexcitação	0

Tabela 262 – Dados do Gerador Síncrono - UTE's Azulão 1 e Azulão 2.

Parâmetro	Descrição	Valores
Xd	Reatância de Eixo Direto (pu)	3,1620
X'd	Reatância Transitória de Eixo Direto (pu)	0,2215
X''d	Reatância Subtransitória de Eixo Direto (pu)	0,1495
Xq	Reatância de Eixo de Quadratura (pu)	1,5640
X'q	Reatância Transitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,3024
X''q	Reatância Subtransitória de Eixo de Quadratura (pu)	0,1495
Ra	Resistência de Estator (pu)	0,0000
Base	MVA Base	31,1400
Xl	Reatância de Dispersão (pu)	0,1280
Xt	Reatância do Transformador Elevador (pu)	0,0000
T'd	Constante de Tempo Transitória de Eixo Direto (s)	3,6860
T''d	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo Direto (s)	0,0054
T'q	Constante de Tempo Transitória de Eixo de Quadratura (s)	1,0000
H	Constante de Inércia (MW/MVA.s)	6,9600
D	Coefficiente de Amortecimento (pu/pu)	0,0000
T''q	Constante de Tempo Subtransitória de Eixo de Quadratura (s)	0,0096
Ag	Coefficiente Proporcional de Saturação	0,2298
Bg	Coefficiente Proporcional de Saturação	1,2124

Tabela 263 – Dados dos Reguladores do Gerador - UTE's Azulão 1 e Azulão 2.

AVR25		GOV14	
Parâmetro	Valores	Parâmetro	Valores
Kd	9,091	K1	20,000
Td	0,033	R2	0,050
Tc	6,000	Tp	0,020
Ki	5,000	Kp	0,500
Kp	999,000	Ki	1,000
Vmax	-999,000	T1	0,100
Vmin	0,223	T2	0,0001
Te	0,000	Lmin	-99,000
Kc	0,000	Lmax	99,000
Kd	1,000	Pmin	-0,100
Ke	1,000	Pmax	0,900
E1	1,000		
S(E1)	0,000		
E2	1,200		
S(E2)	0,000		
Vrmax	999,000		
Vrmin	-999,000		