



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

LUCAS RAMALHO DE LIMA

**METODOLOGIA PROBABILÍSTICA PARA  
CLASSIFICAÇÃO DE SUBESTAÇÕES CONSIDERANDO OS  
DESEMPENHOS ESTÁTICO E DINÂMICO DA REDE**

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

Área de Concentração: Sistemas Elétricos de Potência

Orientador: Prof. Dr. Armando Martins Leite da Silva  
Coorientador: Prof. Dr. Zulmar Soares Machado Júnior

**Março 2014**  
**Itajubá – MG – Brasil**



Ministério da Educação  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
Criada pela Lei nº 10.435, de 24 de abril de 2002

## **A N E X O II**

### **FOLHA DE JULGAMENTO DA BANCA EXAMINADORA**

Título da Dissertação: **“Metodologia Probabilística para Classificação de Subestações considerando os Desempenhos Estático e Dinâmico da Rede”**

Autor: **Lucas Ramalho de Lima**

#### **JULGAMENTO**

<b>Examinadores</b>	<b>Conceito</b>	<b>Rubrica</b>
	A = Aprovado - R = Reprovado - I = Insuficiente	
1º	A	
2º	A	
3º	A	
4º	A	

#### **Observações:**

- (1) O Trabalho será considerado Aprovado se todos os Examinadores atribuírem conceito A.
- (2) O Trabalho será considerado Reprovado se forem atribuídos pelos menos 2 conceitos R.
- (3) O Trabalho será considerado Insuficiente (I) se for atribuído pelo menos um conceito R. Neste caso o candidato deverá apresentar novo trabalho. A banca deve definir como avaliar a nova versão da Dissertação.

Este documento terá a validade de **60 (sessenta) dias a contar da data da defesa da Dissertação.**

Resultado Final: Conceito: A, ou seja, Aprovado

Observações: \_\_\_\_\_

Itajubá, 14 de Março de 2014.

Dr. Jorge Luiz de Araujo Jardim  
1º Examinador - HPPA Consultoria

Prof. Dr. João Guilherme de Carvalho Costa  
2º Examinador - UNIFEI

Prof. Dr. Zulmar Soares Machado Júnior  
3º Examinador (Co-Orientador)- UNIFEI

Prof. Dr. Armando Martins Leite da Silva  
4º Examinador (Orientador) - UNIFEI

# AGRADECIMENTOS

- Ao Professor Armando pela orientação neste trabalho, ensinamentos e convívio em todo o período da pós-graduação, incentivando para que eu pudesse prosseguir, com tranquilidade, os estudos para elaboração desta dissertação.
- Ao Professor Zulmar pelo apoio, coorientação e ajuda na realização deste trabalho.
- Ao Dr. Jorge Luiz de Araújo Jardim da HPPA (High Performance Power Applications) pela utilização do material por ele desenvolvido relacionado às simulações de estabilidade transitória e pela disponibilização do programa ORGANON.
- Aos meus pais Lázaro Borges de Lima e Lúcia Ramalho de Lima por toda a amizade, amor, educação e grande apoio nas decisões mais difíceis.
- Às minhas irmãs Fernanda Borges de Lima e Luana Ramalho de Lima pela amizade, apoio e amor em todos os momentos da minha vida.
- À minha namorada Tatiani ofereço um agradecimento mais do que especial, por ter vivenciado comigo mais um passo importante em minha vida. Por ter me dado todo o apoio que necessitava nos momentos difíceis e por tornar meus dias mais felizes.
- A todos os amigos do grupo GESis, em especial ao Silvan, pelo convívio, apoio e suporte neste trabalho, contribuindo com enriquecedoras sugestões.
- Aos meus amigos que se fizeram presentes em todos os momentos desta jornada, contribuindo para que eu tivesse forças para concluir este trabalho.
- A todos os Professores do programa de pós-graduação pelo apoio prestado.
- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

*A todos aqueles que contribuíram,  
de alguma forma, para a conclusão  
deste trabalho.*

# RESUMO

Esta dissertação apresenta uma nova metodologia probabilística para classificar subestações em sistemas elétricos de potência. A abordagem proposta é capaz de oferecer um *ranking* de subestações (i.e., barras ou nós), pelo qual os planejadores do sistema podem facilmente identificar as instalações com necessidades mais urgentes de investimento. O novo processo de classificação inclui ambas as análises de desempenho estático e dinâmico (estabilidade transitória).

Do ponto de vista estático, a classificação de desempenho de subestações é baseada na análise de todas as contingências “N-1” e “N-2”, considerando apenas equipamentos diretamente conectados à barra correspondente do sistema. Este processo é repetido para toda subestação/barra. Um algoritmo de fluxo de potência ótimo é executado para cada evento de contingência, e a quantidade total de corte de carga é usada como base para a construção de um índice de desempenho estático para cada subestação do sistema.

Do ponto de vista dinâmico (i.e., estabilidade transitória), a classificação de desempenho da subestação é baseada em índices de estabilidade, que medem o impacto de certos eventos envolvendo contingências simples de equipamentos conectados à uma barra correspondente do sistema. Este processo de classificação calcula a margem de estabilidade transitória, focando em uma abordagem que melhora a consistência e a precisão do método SIME (*Single Machine Equivalent*).

É proposta também, uma classificação probabilística de subestações baseada em índices de risco avaliados através de Simulação Monte Carlo, considerando vários cenários de carga modelados através de incertezas e os correspondentes despachos de geração. Deste modo, novas listas de classificação são obtidas.

As metodologias determinísticas (estática e dinâmica) são testadas utilizando diferentes sistemas: 9-Barras e *Brazilian Birds*. Para a metodologia probabilística, é utilizado o sistema *Brazilian Birds* e também uma versão alternativa incluindo fontes eólicas de energia. Os resultados obtidos são amplamente discutidos de modo a assegurar a consistência dos métodos propostos.

# ABSTRACT

This dissertation presents a new probabilistic methodology for ranking substations in bulk power systems. The proposed approach is able to offer a substation ranking (i.e., buses or nodes), from which system planners can easily identify those facilities with more urgent investment needs. The new ranking process includes both static and dynamic (transient stability) performance analyses.

From the static point of view, the ranking of the substation performance is based on the analysis of all “N-1” and “N-2” contingencies, considering only equipment directly connected to the corresponding system bus. This process is repeated for every substation/bus. An optimal power flow algorithm is run for each contingency event and the total amount of load shedding is used as a basis for constructing a substation static performance index of each system bus.

From the dynamic (i.e., transient stability) point of view, the ranking of the substation performance is based on stability indices, which measure the impact of certain events involving single contingencies of equipment connected to the corresponding system node. This ranking process calculates transient stability margin, focusing on an approach to improve the consistency and accuracy of the Single Machine Equivalent – SIME method.

It is also proposed, a probabilistic substation ranking based risk indices evaluated through a Monte Carlo Simulation (MCS), considering several load scenarios modeled through uncertainties and the corresponding generating dispatch. Thus, new ranking lists are obtained.

The proposed deterministic methodologies (static and dynamic) are tested using different systems: 9-Bus and Brazilian Birds systems. For the probabilistic methodology, the Brazilian Birds is used together with an alternative configuration including wind energy sources. The obtained results are deeply discussed to ensure the effectiveness of the proposed approaches.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....</b>	<b>xv</b>
<b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Considerações Iniciais .....	1
1.2. Desenvolvimento Histórico .....	3
1.3. Estrutura da Dissertação .....	6
<b>CAPÍTULO 2 CLASSIFICAÇÃO DE SUBESTAÇÕES BASEADA NO DESEMPENHO ESTÁTICO .....</b>	<b>7</b>
2.1. Introdução.....	7
2.2. Desenvolvimento Conceitual.....	8
2.3. Modelos de Fluxo de Potência Ótimo Linear DC .....	10
2.4. Índice de Avaliação do Desempenho Estático da Subestação - SPI.....	14
2.5. Problemas de Convergência e Ilhamento .....	18
2.5.1. Capacidade Insuficiente de Transmissão sob Contingências .....	19
2.5.2. Eventos de Ilhamento .....	21
2.6. Algoritmo Computacional .....	26
2.7. Aspectos Adicionais .....	28
2.7.1. Classificação de Subestações de acordo com sua Função.....	28
2.7.2. Probabilidade de Eventos de Contingência Individuais .....	28
2.7.3. Contingências de Ordem mais Elevada .....	29
2.7.4. Condições Preliminares .....	29
2.8. Exemplos Numéricos.....	30
2.8.1. Sistema 9-Barras.....	30
2.8.2. Sistema <i>Brazilian Birds</i> .....	34
2.9. Comentários Finais .....	40

<b>CAPÍTULO 3 CLASSIFICAÇÃO DE SUBESTAÇÕES BASEADA NO DESEMPENHO DINÂMICO .....</b>	<b>42</b>
3.1. Introdução .....	42
3.2. Desenvolvimento Conceitual .....	43
3.2.1. Método SIME Original .....	43
3.2.2. Proposta de Melhoria do Método SIME .....	47
3.2.3. Cálculo das Margens MW .....	52
3.2.4. Cenários de Contingência .....	52
3.3. Índices de Estabilidade .....	53
3.3.1. Índice de Margem Positiva .....	54
3.3.2. Índice de Margem Negativa .....	56
3.3.3. Índice de Estabilidade Combinado .....	57
3.3.4. Falta Monofásica .....	57
3.3.5. Considerações Finais .....	59
3.4. Algoritmo Computacional .....	59
3.5. ORGANON .....	61
3.6. Exemplos Numéricos .....	62
3.6.1. Sistema 9-Barras .....	62
3.6.2. Sistema <i>Brazilian Birds</i> .....	64
3.7. Comentários Finais .....	69
<b>CAPÍTULO 4 CLASSIFICAÇÃO DE SUBESTAÇÕES CONSIDERANDO INCERTEZAS NA CARGA .....</b>	<b>71</b>
4.1. Introdução .....	71
4.2. Metodologia Aplicada .....	71
4.2.1. Incertezas na Carga .....	71
4.2.2. Despacho Proporcional .....	73
4.2.3. Simulação Monte Carlo Não-Sequencial .....	77
4.3. Exemplos Numéricos .....	79
4.3.1. Sistema <i>Brazilian Birds</i> : Análise Estática .....	80
4.3.2. Sistema <i>Brazilian Birds</i> : Análise Dinâmica .....	85
4.3.3. Sistema <i>Brazilian Birds</i> considerando Participação de Renováveis .....	93
4.4. Comentários Finais .....	102
<b>CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>104</b>



<b>APÊNDICE A DADOS DE ENTRADA DA FERRAMENTA SRANK.....</b>	<b>108</b>
A.1 Sistema 9-Barras.....	108
A.2 Sistema <i>Brazilian Birds</i> – Caso 1.....	111
A.3 Sistema <i>Brazilian Birds</i> – Caso 2.....	119
A.4 Sistema <i>Brazilian Birds</i> – Caso Ren. ....	127
<b>APÊNDICE B RESULTADOS PARA O SISTEMA <i>BRAZILIAN BIRDS</i>.....</b>	<b>136</b>
B.1 Caso 1: Base .....	136
B.2 Caso 2: Base .....	146
<b>APÊNDICE C RESULTADOS DO SISTEMA <i>BRAZILIAN BIRDS</i> CONSIDERANDO INCERTEZAS NA CARGA.....</b>	<b>157</b>
C.1 Caso 1 .....	157
C.2 Caso 2.....	166
C.3 Caso Ren.....	173
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>182</b>

# LISTA DE FIGURAS

Fig. 2.1: Modelo computacional.....	14
Fig. 2.2: Representação de uma subestação do sistema. ....	15
Fig. 2.3: Contingência “N-1” na linha/transformador “A”.....	16
Fig. 2.4: Contingência “N-2” nas linhas/transformadores “A” e “B”. ....	16
Fig. 2.5: Capacidade insuficiente de transmissão.....	19
Fig. 2.6: Resíduos em outras barras do sistema.....	20
Fig. 2.7: Ilhamento de uma barra de geração. ....	22
Fig. 2.8: Ilhamento de uma barra de carga. ....	23
Fig. 2.9: Ilhamento de uma barra contendo geração e carga. ....	23
Fig. 2.10: Ilhamento de uma barra.....	24
Fig. 2.11: Ilhamento de um subsistema. ....	24
Fig. 2.12: Ilhamento de S1. ....	25
Fig. 2.13: Ilhamento de S1 e S2. ....	25
Fig. 2.14: Fluxograma simplificado da metodologia proposta de classificação de subestação. .....	27
Fig. 2.15: Diagrama unifilar do sistema 9-barras/3-geradores. ....	30
Fig. 2.16: Sistema <i>Brazilian Birds</i> . ....	36
Fig. 2.17: Sistema <i>Brazilian Birds</i> – barras mais bem classificadas para os casos 1 e 2 (análise estática).....	40
Fig. 3.1: Critério das áreas iguais. ....	45
Fig. 3.2: Critério das áreas iguais baseado no método SIME.....	55
Fig. 3.3: Condição instável – área de aceleração levemente maior do que a área de desaceleração. ....	56
Fig. 3.4: Caso instável – área de aceleração muito maior do que a área de desaceleração. ....	57
Fig. 3.5: Fluxograma simplificado da metodologia proposta de classificação dinâmica de subestação.....	60
Fig. 3.6: Diagrama unifilar do sistema 9-barras/3-geradores. ....	63
Fig. 3.7: Sistema <i>Brazilian Birds</i> . ....	65
Fig. 3.8: Sistema <i>Brazilian Birds</i> – barras mais bem classificadas para os casos 1 e 2 (análise dinâmica). ....	69

Fig. 4.1: Curva Gaussiana.....	72
Fig. 4.2: Despacho proporcional: barras 10 (Canário) e 20 (Tucano).....	75
Fig. 4.3: Fluxograma simplificado do Despacho Proporcional. ....	76
Fig. 4.4: Fluxograma simplificado da proposta de classificação probabilística de subestações. .....	78
Fig. 4.5: Densidade de probabilidade da Barra 200 considerando cargas independentes e $\sigma=5\%$ . ....	82
Fig. 4.6: Densidade de probabilidade da Barra 100 considerando cargas independentes e $\sigma=5\%$ . ....	82
Fig. 4.7: Densidade de probabilidade da Barra 200 considerando cargas independentes e $\sigma=10\%$ . ....	82
Fig. 4.8: Densidade de probabilidade da Barra 210 considerando cargas independentes e $\sigma=5\%$ . ....	84
Fig. 4.9: Densidade de probabilidade da Barra 200 considerando cargas independentes e $\sigma=5\%$ . ....	84
Fig. 4.10: Densidade de probabilidade da Barra 222 considerando cargas independentes e $\sigma=5\%$ . ....	86
Fig. 4.11: Densidade de probabilidade da Barra 100 considerando cargas independentes e $\sigma=5\%$ . ....	87
Fig. 4.12: Densidade de probabilidade da Barra 222 considerando cargas independentes e $\sigma=5\%$ . ....	91
Fig. 4.13: Densidade de probabilidade da Barra 221 considerando cargas independentes e $\sigma=5\%$ . ....	91
Fig. 4.14: Densidade de probabilidade da Barra 221 considerando cargas independentes e $\sigma=10\%$ . ....	92
Fig. 4.15: Sistema <i>Brazilian Birds</i> – barras mais bem classificadas (análises estática e dinâmica). ....	93
Fig. 4.16: Sistema <i>Brazilian Birds</i> com participação de renováveis nas barras 16 e 24. ....	94
Fig. 4.17: Densidade de probabilidade da Barra 200 considerando cargas independentes e $\sigma=5\%$ . ....	97
Fig. 4.18: Densidade de probabilidade da Barra 100 considerando cargas independentes e $\sigma=5\%$ . ....	97
Fig. 4.19: Densidade de probabilidade da Barra 200 considerando cargas independentes e $\sigma=10\%$ . ....	97
Fig. 4.20: Densidade de probabilidade da Barra 100 considerando cargas independentes e $\sigma=5\%$ . ....	100
Fig. 4.21: Densidade de probabilidade da Barra 100 considerando cargas independentes e $\sigma=10\%$ . ....	100

Fig. 4.22: Densidade de probabilidade da Barra 230 considerando cargas independentes e  $\sigma=10\%$ . ..... 100

# LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Tabela de Desempenho de Subestação para a Barra 1 .....	17
Tabela 2.2 – Tabela de Desempenho de Subestações para o Sistema 9-Barras – Análise Estática .....	31
Tabela 2.3 – Índices de Desempenho de Subestação para o Sistema 9-Barras .....	33
Tabela 2.4 – índices de Desempenho de Subestação para o Sistema 9-Barras – Apenas o Estágio 2 .....	34
Tabela 2.5 – Casos Analisados do Sistema <i>Brazilian Birds</i> .....	35
Tabela 2.6 – Índices de Desempenho de Subestação para o Sistema BB (Caso 1) – Análise Estática .....	35
Tabela 2.7 – Índices de Desempenho de Subestação para o Sistema BB (Caso 1) – Apenas Estágio 2 .....	37
Tabela 2.8 – Índices de Desempenho de Subestação para o Sistema BB (Caso 2) – Análise Estática .....	38
Tabela 2.9 – Índices de Desempenho de Subestação para o Sistema BB (Caso 2) – Apenas Estágio 2 .....	39
Tabela 3.1 – Índices de Desempenho de Subestação para o Sistema 9-Barras: Estabilidade Transitória.....	63
Tabela 3.2 – Índices de Desempenho de Subestação para o <i>Brazilian Birds</i> (Casos 1, 1.a e 1.b): Estabilidade Transitória .....	66
Tabela 3.3 – Índices de Desempenho de Subestação para o <i>Brazilian Birds</i> (Casos 2, 2.a): Estabilidade Transitória.....	68
Tabela 4.1 – Casos Analisados do Sistema <i>Brazilian Birds</i> .....	79
Tabela 4.2 – Índices de Desempenho Médio de Subestação para o Sistema BB (Caso 1): Análise Estática: $\sigma = 5\%$ .....	80
Tabela 4.3 – Índices de Desempenho Médio de Subestação para o Sistema BB (Caso 1): Análise Estática: $\sigma = 10\%$ .....	81
Tabela 4.4 – Índices de Desempenho Médio de Subestação para o Sistema BB (Caso 2): Análise Estática: $\sigma = 5\%$ .....	83
Tabela 4.5 – Índices de Desempenho Médio de Subestação para o Sistema BB (Caso 2): Análise Estática: $\sigma = 10\%$ .....	83
Tabela 4.6 – Índices de Desempenho Médio de Subestação para o <i>Brazilian Birds</i> (Caso 1: 100ms) - Estabilidade Transitória: $\sigma = 5\%$ .....	86

Tabela 4.7 – Índices de Desempenho Médio de Subestação para o <i>Brazilian Birds</i> (Caso 1.a: 200ms) - Estabilidade Transitória.....	88
Tabela 4.8 – Índices de Desempenho Médio de Subestação para o <i>Brazilian Birds</i> (Caso 1.b: 400ms) - Estabilidade Transitória: $\sigma = 5\%$ .....	88
Tabela 4.9 – Índices de Desempenho Médio de Subestação para o <i>Brazilian Birds</i> (Caso 2: 100ms) - Estabilidade Transitória: $\sigma = 5\%$ .....	89
Tabela 4.10 – Índices de Desempenho Médio de Subestação para o <i>Brazilian Birds</i> (Caso 2.a: 200ms) - Estabilidade Transitória.....	90
Tabela 4.11 – Índices de Desempenho Médio de Subestação para o Sistema BB (Caso Ren.): Análise Estática: $\sigma = 5\%$ .....	95
Tabela 4.12 – Índices de Desempenho Médio de Subestação para o Sistema BB (Caso Ren.): Análise Estática: $\sigma = 10\%$ .....	96
Tabela 4.13 – Índices de Desempenho Médio de Subestação para o <i>Brazilian Birds</i> (Caso Ren.: 100ms) - Estabilidade Transitória: $\sigma = 5\%$ .....	98
Tabela 4.14 – Índices de Desempenho Médio de Subestação para o <i>Brazilian Birds</i> - (Caso Ren.a: 200ms): Estabilidade Transitória .....	99
Tabela 4.15 – Índices de Desempenho Médio de Subestação para o <i>Brazilian Birds</i> - (Caso Ren.b: 400ms): Estabilidade Transitória: $\sigma = 5\%$ .....	101

# LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS \*

$A_{acc}$	Área de aceleração
ABM	<i>Adams-Bashforth-Moulton</i>
$A_{dec}$	Área de desaceleração
$A_{mar}$	Área de margem
ANU	<i>Average Number of Unstable events</i>
AS	<i>Average Stability</i>
$B$	Matriz de susceptância do sistema
BCU	<i>Boundary Controlling Unstable Equilibrium Point</i>
BDF	<i>Backward Differentiation Formulae</i>
$C$	Grupo de máquinas críticas
$c_G^j$	Custos operativos das unidades geradoras da barra $j$
$c_L^i$	Direção de minimização da carga
CCT	<i>Critical clearing time</i>
COA	<i>Center of Angle</i>
DSA	<i>Dynamic Security Assessment</i>
$E_\infty$	Tensão na barra infinita
EAC	<i>Equal Area Criterion</i>
$E_m$	Tensão em vazio da máquina
$F$	Vetor fluxo de potência em cada circuito do sistema
$f_i$	Fluxo na linha/transformador $i$
FACTS	<i>Flexible AC Transmission Systems</i>
$FC_i$	Fator de corte de carga na barra $i$
FPDC	Fluxo de potência linearizado
FPO	Fluxo de potência ótimo
FPO DC	Fluxo de potência ótimo linearizado

---

\* Várias siglas são mantidas na língua inglesa por serem mais conhecidas nesta forma.

$g_{ij}$	Condutância do circuito $i-j$
$I$	Vetor de injeção de corrente com “1” na linha da barra sob falta e “0” nas restantes
$\bar{I}_k$	Injeção de corrente da $k$ -ésima máquina
$I_n$	Índice de margem negativa
$I_p$	Índice de margem positiva
$J$	Matriz Jacobiana
kV	Quilovolt
LS	<i>Load Shedding</i>
$M$	Constante de Inércia OMIB
$M_C$	Constante de Inércia do grupo de geradores críticos
$M_N$	Constante de Inércia do grupo de geradores não-críticos
$M_T$	Constante de inércia total
MW	Megawatt
$N$	Grupo de máquinas não-críticas
$N_c$	Número de geradores no grupo crítico
OMIB	<i>One-Machine Infinite Bus</i>
$P_a$	Potência acelerante OMIB
$\bar{P}_{ac_i}$	Potência acelerante referida ao centro de inércia
$P_{COI}$	Potência acelerante do centro de inércia
$P_e$	Potência elétrica OMIB
$P_{e_0}$	Potência elétrica pré-falta
$P_{e_C}$	Potência elétrica do grupo de máquinas críticas
$P_{e_{df}}$	Potência elétrica durante a falta
$P_{e_N}$	Potência elétrica do grupo de máquinas não-críticas
$P_{e_{pf}}$	Potência elétrica pós-falta
$P_G^j$	Potência ativa gerada na barra $j$
$PI_i$	<i>Performance Index from contingency i</i>
$P^{loss}$	Vetor perdas do sistema
$P_m$	Potência mecânica OMIB
$P_{m_C}$	Potência mecânica do grupo de máquinas críticas
$P_{m_N}$	Potência mecânica do grupo de máquinas não-críticas



$P_{SW}^i$	Potência gerada na barra $i$ swing
pu	Por unidade (valor relativo)
RLS	<i>Redispatch and Load Shedding</i>
SIME	<i>Single Machine Equivalent</i>
SPI	<i>Substation Performance Index</i>
TEF	<i>Transient Energy Function</i>
UEP	<i>Unstable Equilibrium Point</i>
$V_f$	Tensão de sequência positiva nas barras sob falta
$V_{ke}$	Energia cinética da trajetória SIME pós-falta
$\bar{V}_{mk}$	Tensão terminal da $k$ -ésima máquina
VSA	<i>Voltage Stability Assessment</i>
$w_i$	Probabilidade associada à ocorrência de qualquer contingência $i$
$x'_{dk}$	Reatância transitória da máquina $k$
$X_e$	Impedância equivalente
$x_{ek}$	Impedância externa vista pelo gerador $k$
$x_f$	Reatância de falta
$Z$	Vetor impedância vista da barra de falta
$Z_{th}$	Impedância de Thévenin
$\in$	Símbolo de <i>pertence</i>
$\delta$	Ângulo do rotor OMIB
$\delta_0$	Ângulo do rotor pré-falta (ponto de operação inicial)
$\delta_C$	Ângulo do rotor do grupo de geradores críticos
$\delta_{ch}$	Ângulo do rotor pós-falta, em que a potência acelerante muda de positiva para negativa
$\delta_{clr}$	Ângulo do rotor na eliminação da falta
$\delta_{COA}$	Ângulo do centro de inércia
$\bar{\delta}_i$	Ângulo do rotor referido ao centro de inércia
$\delta_N$	Ângulo do rotor do grupo de geradores não-críticos
$\Delta P_m$	Margem MW
$\delta_r$	Ângulo de retorno OMIB
$\delta_s$	Ângulo do rotor no ponto de equilíbrio pós-falta

$\delta_u$	Ângulo de equilíbrio instável OMIB
$\eta_u$	Margem de energia negativa
$\theta$	Vetor ângulos das barras do sistema
$\omega$	Velocidade angular do rotor OMIB
$\Omega_c$	Conjunto de barras com abordagem de mínimo corte de carga
$\omega_C$	Velocidade angular do rotor do grupo de geradores críticos
$\omega_{ch}$	Velocidade angular OMIB pós-falta
$\omega_{COA}$	Velocidade angular do centro de inércia
$\Omega_G$	Conjunto de barras de geração
$\bar{\omega}_i$	Velocidade angular referida ao centro de inércia
$\omega_N$	Velocidade angular do rotor do grupo de geradores não-críticos
$\omega_u$	Velocidade angular OMIB no ponto de equilíbrio instável
$\mu$	Média de uma curva Gaussiana
$\sigma$	Desvio padrão da curva Gaussiana

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O desenvolvimento de ferramentas para a análise e identificação de infraestruturas críticas em sistemas elétricos de potência tem sido um assunto de grande interesse entre pesquisadores e empresas do setor elétrico. Várias técnicas têm sido propostas para analisar a vulnerabilidade e segurança de sistemas de potência. No entanto, a classificação de subestações críticas é um novo tópico de grande interesse dos planejadores e operadores de sistemas elétricos de potência. Assim, a meta deste trabalho é o desenvolvimento de ferramentas e técnicas para a identificação de subestações críticas, i.e., barras ou nós importantes do sistema.

A proposta de classificação de subestações, do ponto de vista estático, consiste em uma análise, em vários estágios, do sistema de transmissão. Basicamente, contingências “N-1” e “N-2” são analisadas considerando todos os equipamentos diretamente conectados a uma dada subestação. Um algoritmo de fluxo de potência ótimo é executado após cada contingência e o valor de corte de carga resultante servirá como base para obter uma lista de classificação de subestações do sistema.

Uma das principais preocupações dos planejadores e operadores da rede elétrica é assegurar estabilidade transitória quando o sistema está sujeito a severas perturbações. Tradicionalmente, a estabilidade do sistema é avaliada através da análise de uma lista de contingências considerando diversos cenários operativos. Esta avaliação é um processo muito árduo, devido à complexidade e dimensão dos modelos simulados, consumindo um tempo computacional significativo. Além disso, a análise de cada simulação requer inspeção visual de várias trajetórias no tempo. Este processo lento impede uma verificação minuciosa e abrangente, principalmente quando não se tem uma quantidade significativa de tempo disponível. Por exemplo, é quase impossível com este procedimento realizar análises de estabilidade transitória em ambientes de tempo real ou próximo deste, em conjunto com análises de contingência de forma automatizada. Dadas estas restrições, decisões operativas

quase frequentemente tendem a ser excessivamente conservativas, e conseqüentemente, não econômicas. Ainda que esta decisão seja conservadora, é possível enfrentar condições operativas inseguras em tempo real em decorrência de eventos imprevisíveis, ou seja, não previstos nos estudos de planejamento.

É desejável, portanto, para uma operação econômica e segura da rede elétrica, ser capaz de avaliar a estabilidade transitória em um modo automatizado e, de preferência, bem rápido. Comparando com a abordagem tradicional, a avaliação de estabilidade transitória por processamento paralelo, algoritmos de integração numérica rápida e estimação de margens de energia aumentam significativamente seu desempenho computacional [LJML13]. Processamento paralelo pode fornecer significativa melhoria de desempenho, pois contingências e cenários podem ser analisadas simultaneamente. Métodos de integração numérica com passo de tempo variável e solução simultânea de equações algébricas e diferenciais têm melhor desempenho do que passo fixo, com iteração de ponto fixo utilizada na maioria dos programas comerciais de simulação no domínio do tempo. A principal razão para isto é que o passo variável com abordagem de resolução simultânea é muito mais estável, permitindo maiores intervalos de tempo que podem, tipicamente, levar a várias ordens de melhoria de desempenho [LJML13].

O cálculo automático da margem de estabilidade é o fator chave em automatizar a avaliação da estabilidade, pois remove a necessidade de inspeção visual de trajetórias no tempo. Na prática, pode haver vários critérios de segurança a serem observados como amortecimento de oscilações eletromecânicas e comportamento transitório das tensões, mas margem de estabilidade transitória é de longe a mais difícil de estimar devido à complexidade da dinâmica do sistema elétrico de potência. Contudo, a técnica usada para simulação é baseada numa abordagem de passo de tempo variável [LJML13].

O método SIME (*Single Machine Equivalent*) original pode detectar instabilidade, mas para o cálculo de margens positivas, quando o sistema é estável para uma dada perturbação, pode gerar grandes erros devido a dificuldades em extrapolar a curva da trajetória de potência acelerante para grandes excursões do ângulo do rotor (uma condição mais estressada). Logo, a proposta de classificação de subestações, do ponto de vista dinâmico, é baseada em um aperfeiçoamento deste modelo, como proposto em [LJML13]. Se este método puder detectar rapidamente e corretamente instabilidade, por exemplo, em poucos milissegundos após a

simulação da falta, e melhorar razoavelmente a precisão das estimativas para margem de estabilidade, então esta ferramenta será útil para muitas aplicações tais como cenários de contingência, avaliação da segurança em tempo real. O principal aspecto foi encontrar a melhor maneira de extrapolar a curva da potência elétrica dos geradores síncronos. Mais especificamente, é proposta uma nova abordagem em que a extrapolação é baseada em um valor estimado de impedância externa, conectando o equivalente da máquina a um barramento infinito.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é desenvolver metodologias determinísticas e probabilísticas para identificar subestações críticas em sistemas elétricos de potência, considerando ambas as análises estática e dinâmica (estabilidade transitória) bem como os programas computacionais correspondentes. Após as análises, as subestações do sistema são organizadas em duas listas de classificação (estática e dinâmica), que poderão ajudar os planejadores da rede elétrica em muitos processos de decisões a elaborar estratégias eficientes de investimento. Logo, dois novos índices determinísticos de desempenho, estático e dinâmico (estabilidade transitória), são propostos neste trabalho. Ademais, reinterpretações destes índices em termos de riscos serão feitas a partir de simulações Monte Carlo utilizadas quando se considera incertezas nas cargas do sistema. Note que todo este processo de análise pode conduzir a melhores estratégias de investimento, desde que cortes de carga sejam traduzidos em custos de interrupção.

As metodologias determinísticas (estática e dinâmica) são testadas utilizando diferentes sistemas: 9-Barras e *Brazilian Birds*. Para a metodologia probabilística, são utilizados o sistema *Brazilian Birds* e também uma versão alternativa incluindo fontes eólicas de energia. Os resultados obtidos são amplamente discutidos de modo a assegurar a consistência dos métodos propostos.

## **1.2. DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO**

Várias técnicas têm sido propostas para analisar a vulnerabilidade e a segurança de sistemas de potência sob eventos catastróficos. Ilhamento controlado ou intencional [DC06], teoria algébrica de rede [PBB11], dinâmicas poliédricas [SS08] e inteligência artificial baseada em métodos de busca [R05] têm sido propostas para encontrar equipamentos críticos e índices de vulnerabilidade em redes elétricas. A identificação de elementos de transmissão críticos tem

sido discutida na literatura, como por exemplo, [SAA85, AFPB03, SFCM05, LR08]. A classificação de subestações críticas, entretanto, é um novo tópico de interesse dos planejadores e operadores de sistemas de potência.

Em [ATL10], duas metodologias são propostas para classificar subestações. O primeiro método pode ser classificado como determinístico e é baseado em “*Graph Centrality*”, que usa diferentes índices para classificar subestações de acordo com sua “importância estratégica”. Uma subestação é chamada de “estratégica” quando esta tem uma maior importância em termos de conectividade da rede em condições normais de operação. Isto significa que a importância da subestação depende da sua localização dentro da rede e como esta é relacionada ao resto do sistema. Este método, entretanto, é puramente topológico e não leva em conta todas as características elétricas e de confiabilidade da subestação/barra. O segundo método é classificado como probabilístico sendo baseado na “Importância Crítica”, i.e., classifica as subestações baseada em seu desempenho histórico. Este método considera que a importância de uma subestação dentro da rede é determinada pelos seus níveis de confiabilidade. Esta análise requer, entretanto, informações como estatísticas de interrupção detalhadas, que nem sempre estão disponíveis ou são difíceis de obter. Além disso, se a abordagem de menor custo é considerada, subestações com baixo nível de confiabilidade não receberão investimentos se seus respectivos custos de corte/interrupção da carga não serão significativos.

Desde o final da década de 60, um esforço significativo tem sido dedicado para elaborar métodos rápidos para análise de estabilidade transitória. O foco inicial foi na aplicação do método de Lyapunov [P89], mas as simplificações necessárias eram muito severas e os resultados não foram precisos o suficiente. É importante notar que todos os chamados “métodos rápidos” dependem da simulação no domínio do tempo. O principal objetivo desses métodos não tem sido eliminar completamente a simulação no domínio do tempo, mas limitar sua simulação para um curto período, por exemplo menos de um segundo, e em seguida obter estimativas de margem de estabilidade baseadas em informações, como as energias potencial e cinética. A margem de estabilidade é uma informação importante, pois fornece a “distância” do ponto operativo ao limite de estabilidade. Sem esta informação, o cálculo da margem exigiria a busca do limite de estabilidade através de sucessivos redespachos de geração e análise de contingência. Portanto, a capacidade de estimar a margem de estabilidade para uma

dada contingência usando apenas uma simulação no domínio do tempo é um poderoso recurso que acelera significativamente a avaliação de segurança [LJML13].

Atualmente, duas metodologias têm obtido relativo sucesso. Uma abordagem é baseada em Função de Energia Transitória (*Transient Energy Function* - TEF) [P89, J94, C10], e exigem o cálculo de pontos de equilíbrio instáveis (*Unstable Equilibrium Point* - UEP), para determinação da energia crítica associada a uma dada contingência, como por exemplo, o método Ponto Limite de Equilíbrio Instável de Controle (*Boundary Controlling Unstable Equilibrium Point* - BCU) [C10]. O outro é baseado no mapeamento de todo o sistema em um modelo equivalente reduzido constituído por uma única máquina e um barramento infinito equivalente, denominado método SIME [PER00]. A principal desvantagem do método TEF é a dificuldade de utilizar modelos detalhados do sistema, i.e., com representação detalhada do sistema de excitação, reguladores e FACTS, por exemplo. Além disso, o cálculo das UEP's consome muito tempo computacional. Por outro lado, o método SIME além de admitir modelos detalhados, é mais rápido do que o método BCU e sua implementação é muito mais simples.

No que diz respeito à utilização de métodos probabilísticos para a avaliação da *criticidade* de subestações nas redes, pode-se identificar dois grupos de pesquisa. No primeiro, as subestações são analisadas inteiramente separadas da rede e, conseqüentemente, das condições operativas [BA96, L05]. No segundo grupo, o impacto da análise de falhas nas subestações nos sistemas elétricos é feito através de um programa de confiabilidade composta – geração e transmissão, que é adaptado para avaliar os índices tradicionais de confiabilidade operativas [BL93, BV87, L05, N03, RLJM00]. Recentemente, a *criticidade* das subestações vem sendo avaliada considerando as indisponibilidades dos seus equipamentos pelos impactos estáticos e dinâmicos na rede elétrica [VLFM13, VLFM12].

Nesta dissertação, a *criticidade* de equipamentos de transmissão em relação às subestações será também avaliada probabilisticamente, não considerando diretamente as falhas específicas de equipamentos das subestações, mas as conseqüências em conjunto com falhas externas avaliadas, estática e dinamicamente, através de contingências. Portanto, no caso do tratamento probabilístico a ser considerado nesta dissertação, pode-se afirmar que não existe trabalho similar na literatura.

### 1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho apresenta novas metodologias para classificar as subestações quanto ao seu desempenho estático e dinâmico em sistemas elétricos de potência. A abordagem proposta é capaz de oferecer um *ranking* de subestações (i.e., barras ou nós), pela qual os planejadores do sistema podem facilmente identificar as instalações com necessidades mais urgentes de investimento. A dissertação está dividida em cinco capítulos, brevemente descritos a seguir.

Neste capítulo, o problema e os principais objetivos desta dissertação são definidos. Uma descrição geral da abordagem proposta e uma breve pesquisa literária sobre o assunto também são apresentadas.

No Capítulo 2, uma metodologia determinística de classificação de subestações baseada no desempenho estático é discutida em detalhes, incluindo principais conceitos, características, vantagens, limitações e algoritmo computacional. Visando facilitar o entendimento do método proposto, são ilustrados resultados de dois sistemas acadêmicos: Sistemas 9-Barras e *Brazilian Birds*.

No Capítulo 3, uma metodologia determinística de classificação de subestações baseada no desempenho dinâmico é proposta e discutida em detalhes, incluindo principais conceitos, características, vantagens, limitações e algoritmo computacional. Com o objetivo de ilustrar o processo de classificação dinâmico de subestações (análise de estabilidade transitória) são testados usando os mesmos dois sistemas acadêmicos utilizados no capítulo anterior: Sistemas 9-Barras e *Brazilian Birds*.

O Capítulo 4 é dedicado à apresentação e discussão de resultados dos índices estáticos e dinâmicos, discutidos anteriormente, considerando incertezas na carga, de modo a obter listas de classificação de barramentos. Tais listas são definidas a partir de vários cenários de carga e, conseqüentemente, de despachos na geração, fornecendo uma classificação média das subestações do sistema. Esta análise é realizada via Simulação Monte Carlo (SMC) não-sequencial. São utilizados o sistema *Brazilian Birds* e uma versão alternativa com fontes eólicas.

Finalmente, o Capítulo 5 apresenta as principais conclusões deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros.



# CAPÍTULO 2

## CLASSIFICAÇÃO DE SUBESTAÇÕES BASEADA NO DESEMPENHO ESTÁTICO

### 2.1. INTRODUÇÃO

NESTE capítulo, a metodologia determinística proposta para classificar subestações baseado no desempenho estático é apresentada e testada, incluindo as principais características, conceitos, hipóteses e resultados utilizando alguns sistemas testes. A ideia básica do método é classificar as subestações de acordo com seus respectivos valores de Índice de Desempenho (estático) da Subestação (*Substation Performance Index - SPI*), i.e., um índice que mede o quão crítica uma subestação é considerando um conjunto específico de regras ou critérios. O valor SPI de uma dada subestação é obtido utilizando um algoritmo de fluxo de potência ótimo (FPO), que estima a quantidade total de corte de carga sob uma lista específica de cenários de contingências. Esta quantidade de corte de carga, avaliada pelo FPO, é utilizada como base para o cálculo deste índice de desempenho. Esses cenários incluem todas as contingências “N-1” e “N-2”, considerando apenas as linhas de transmissão e transformadores diretamente conectados a subestação. Aquelas instalações com os maiores valores de SPI são consideradas as mais críticas e, portanto, aparecem no topo da lista de classificação.

Por fim, a metodologia de classificação baseada no desempenho estático é testada e validada usando alguns sistemas acadêmicos. O principal objetivo é ilustrar o processo de avaliação do índice SPI, que é descrito detalhadamente a seguir. Para esta finalidade, dois sistemas acadêmicos são utilizados como exemplos: (i) o sistema 9-Barras; e (ii) o sistema *Brazilian Birds*. Em cada caso, os resultados obtidos são discutidos em detalhes e alguns eventos de contingência, incluindo “N-1” e “N-2”, são selecionados e usados como exemplos explicativos para fornecer uma visão mais clara e aprofundada da metodologia proposta.

## 2.2. DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL

Como mencionado no capítulo anterior, metodologias para classificar subestações têm recebido pouca atenção na literatura até o momento. Inicialmente, uma das alternativas mais promissoras foi desenvolver uma nova metodologia de classificação de subestações baseadas nos conceitos propostos em [N03]. Esta referência apresenta uma nova abordagem para incorporar interrupções ligadas a subestações na avaliação de confiabilidade em um sistema composto. Uma metodologia adequada para classificar subestações não é discutida nesta referência. Entretanto, se as contribuições individuais das instalações para os índices de confiabilidade do sistema pudessem ser medidos, um método probabilístico para fins de classificação poderia ser desenvolvido. Mas esse tipo de abordagem, i.e., ferramenta baseada em confiabilidade, não é aplicada neste trabalho. Portanto, outras alternativas começaram a ser discutidas.

Uma nova abordagem é então proposta. A ideia é realizar uma análise “multiestágio” da rede de transmissão envolvendo a remoção de todas as linhas e transformadores conectados a um barramento, uma por vez, executando um FPO após cada contingência, supondo uma condição em regime permanente. O processo de classificação de subestações é baseado na quantidade de corte de carga, obtido após a execução do FPO, considerando todos os cenários de contingência. O método é razoavelmente simples e também tem a vantagem de que cortes de carga podem ser facilmente convertidos em custos associados de interrupção.

Uma vez que a ideia geral foi definida, os detalhes da metodologia e vários outros aspectos precisaram ser definidos. Por exemplo, o impacto da saída de uma linha no sistema pode ser avaliado usando um algoritmo de fluxo de potência AC ou DC. Ainda, ações corretivas devem ser representadas a fim de mensurar a quantidade de corte de carga, conseqüentemente, de se ter um “valor” que poderia medir as conseqüências das interrupções no sistema. Portanto, a formulação do FPO (independentemente de ser AC ou DC) é necessária para representar os limites de fluxo nos circuitos, caso contrário, nenhuma (ou pequena) quantidade de carga seria cortada, i.e., não haveria índices calculados para a maioria dos cenários de contingência.

Um modelo AC foi a primeira escolha para o algoritmo do fluxo de potência. Neste caso, o fluxo de potência (para as contingências “N-1” e “N-2”) e as ações corretivas seriam ambas

representadas por modelos AC. Também, para as falhas “N-2”, suspeitou-se de que a sequência dos eventos de contingência poderia ser relevante, i.e., falha da linha L1 seguida por uma falha na linha L2 ou falha na linha L2 seguida por uma falha na linha L1 levaria o sistema a diferentes condições operativas (incluindo quantidades diferentes de corte de carga). Neste caso, a possibilidade de uma falha simultânea em L1 e L2 deverá também ser analisada. A ideia inicial é ponderar cada caso de acordo com suas respectivas probabilidades de ocorrência. Testes iniciais foram executados usando sistemas acadêmicos, e, por causa de problemas críticos relacionados à convergência (especialmente para contingências “N-2”), a formulação AC do fluxo de potência foi finalmente descartada [LJML13].

Uma formulação linear do problema é então analisada, logo, três melhorias em comparação à abordagem AC foram imediatamente obtidas. A implementação computacional foi visivelmente simplificada, os problemas de convergência foram reduzidos consideravelmente e a sequência dos eventos de contingência agora era irrelevante, além de aumentar significativamente a eficiência computacional.

Nesta nova abordagem, os impactos iniciais das contingências “N-1” e “N-2” são analisados usando um algoritmo de fluxo de potência linear DC. Se violações no sistema não são detectadas (i.e., sobrecarga nos circuitos), o cenário de contingência é considerado seguro e índices não são computados para a respectiva subestação. Em casos de sobrecarga, entretanto, um algoritmo de fluxo de potência ótimo linearizado (FPO DC) é executado para efetuar ações corretivas, que neste caso são basicamente redespacho de geração e corte de carga. O redespacho de geração poderia seguir também estratégias diferentes incluindo: (i) Redespacho visando um desvio mínimo a partir de uma determinada condição operativa; (ii) Redespacho de acordo com certas prioridades ou ordem de mérito; (iii) Redespacho visando o mínimo corte de carga possível. Logo, o critério de redespacho definido é uma combinação das estratégias (ii) e (iii).

A quantidade de corte de carga é calculada em dois estágios separados. No primeiro estágio, sobrecargas nos circuitos são eliminadas usando apenas corte de carga (*Load Shedding* – LS), i.e., redespacho de geração é proibido (exceto para a barra *swing*). No segundo estágio, sobrecargas podem ser eliminadas usando tanto corte de carga quanto redespacho de geração (*Redispatch and Load Shedding* – RLS). Note que, o corte de carga obtido para o segundo estágio é sempre menor ou igual ao corte de carga no primeiro estágio e também pode ser

zero. Portanto, este procedimento também fornece uma maneira de mensurar a eficácia do redespacho de geração, que é a habilidade de resolver problemas de sobrecargas no sistema devido a contingências.

A fim de estimar o índice SPI de uma dada subestação, as contribuições de todos os cenários de contingências associados àquela subestação devem ser consideradas. Também, cada cenário de contingência analisado tem duas contribuições parciais (dos Estágios 1 e 2 descritos anteriormente). Os modelos de FPO DC utilizados nos Estágios 1 e 2 são devidamente discutidos na seção a seguir.

### 2.3. MODELOS DE FLUXO DE POTÊNCIA ÓTIMO LINEAR DC

Como mencionado anteriormente, a quantidade total de corte de carga em cada cenário de contingência é avaliada usando algoritmos de FPO DC. No Estágio 1, todas as sobrecargas podem apenas ser eliminadas via corte de carga. Esta condição representa, de certa maneira, a situação “mais pessimista”, desde que outras opções não existam além de corte de carga. Observe que, ao menos um gerador deve ser redespachado a fim de respeitar as restrições do problema. A barra *swing* do problema desempenhará esta regra. No Estágio 2, sobrecargas podem ser eliminadas usando tanto redespacho de geração quanto corte de carga. Contrariamente ao Estágio 1, o Estágio 2 representa a situação “mais otimista” onde o corte de carga é reduzido para um valor mínimo. O corte de carga real deve necessariamente estar entre essas duas situações extremas.

O fluxo de potência ótimo DC é formulado como um problema de otimização linear, e esta é resolvida pelo método Simplex [L73]:

$$\begin{array}{ll} \min & cx \\ \text{s.t.} & \end{array} \quad (2.1)$$

$$Ax = b \quad (2.2)$$

$$l \leq dx \leq u \quad (2.3)$$

A Equação (2.1) representa a função objetivo, onde  $c$  é o vetor  $n \times 1$  contendo os coeficientes da função e  $x$  é o vetor de variáveis do problema. Equação (2.2) representa um grupo de restrições de igualdade onde  $A$  é uma matriz  $m \times n$  e  $b$  é um vetor  $m \times 1$  independente.

Finalmente, a Equação (2.3) representa as restrições de desigualdade, onde  $d$  é um vetor  $q \times 1$  contendo os coeficientes de restrições e  $l, u$  são vetores limites inferior e superior, respectivamente. As restrições de desigualdade do problema de otimização podem ser reescritas como:

$$\begin{aligned} \min \quad & cx \\ \text{s.t.} \quad & \end{aligned} \tag{2.4}$$

$$Ax = b \tag{2.5}$$

$$dx \leq u \tag{2.6}$$

$$dx \geq l \tag{2.7}$$

Como mencionado anteriormente, as quantidades de corte de carga após cada contingência (“N-1” ou “N-2”) são avaliadas em dois estágios. Durante o Estágio 1, sobrecargas são eliminadas usando uma abordagem de mínimo corte de carga. Por outro lado, no Estágio 2, sobrecargas no sistema são eliminadas usando uma abordagem de redespacho de geração com o mínimo corte de carga.

A função objetivo do FPO DC para o Estágio 1 pode ser formulada como:

$$\min \sum_{i \in \Omega_c} c_L^i \times FC_i \tag{2.8}$$

em que  $c_L^i$  representa a direção de minimização de carga,  $FC_i$  é o fator de corte de carga na Barra  $i$  e  $\Omega_c$  é o grupo de barras que são considerados na abordagem de mínimo corte de carga. É importante destacar que, durante a solução do problema (2.8), uma restrição adicional é adotada para limitar a potência gerada na barra *swing*, i.e.,  $P_{SW}^{min} \leq P_{SW}^i \leq P_{SW}^{max}$ . Esta restrição, quando necessário, pode causar divergência no Estágio 1 em certas ocasiões. Esta possibilidade é discutida na Seção 2.5.

E para o segundo estágio, um termo adicional é incluído na função objetivo em (2.8). Este termo representa o redespacho de geração e pode ser formulado como:

$$\min \sum_{j \in \Omega_G} c_G^j \times P_G^j + \min \sum_{i \in \Omega_C} c_L^i \times FC_i \quad (2.9)$$

em que  $c_G^j$  representa os custos operativos das unidades geradoras,  $P_G^j$  é a potência ativa gerada na Barra  $j$  e  $\Omega_G$  é o conjunto de barras de geração a serem considerados no problema de despacho.

As restrições de igualdade em (2.2) são representadas por equações de fluxo de potência linearizadas, considerando perdas no sistema, i.e.,

$$P - P^{loss} = B\theta \quad (2.10)$$

onde  $B$  é a matriz de susceptância do sistema,  $\theta$  são as variáveis de estado (ângulos das barras do sistema),  $P$  representa as injeções de potência líquida e  $P^{loss}$  é o vetor perdas do sistema, que são modeladas como cargas fictícias.

As restrições de desigualdade em (2.3) são representadas pelos limites de fluxo de potência das linhas de transmissão. Considerando o modelo de fluxo de potência DC, essas restrições são dadas por:

$$|F| \leq F^{max} \quad (2.11)$$

onde  $F$  é um vetor contendo o fluxo de potência em cada circuito do sistema e  $F^{max}$  é um vetor contendo as máximas capacidades dos circuitos; estas restrições de desigualdade também são representadas pelas máximas injeções de potência das unidades geradoras, i.e.,

$$P_G^{min} \leq P_G^i \leq P_G^{max} \quad (2.12)$$

em que  $P_G^i$  é a potência gerada na Barra  $i$ ,  $P_G^{min}$  e  $P_G^{max}$  são, respectivamente, os limites inferior e superior de potência gerada na Barra  $i$ .

Uma vez que a formulação do fluxo de potência ótimo DC foi discutida, a implementação para ambos os estágios 1 e 2 pode ser introduzida. As equações (2.13) à (2.16) representam a formulação do FPO DC para o Estágio 1:

$$\min \sum_{i \in \Omega_C} c_L^i \times FC_i \quad (2.13)$$

$$P - P^{loss} = B\theta \quad (2.14)$$

$$|F| \leq F^{max} \quad (2.15)$$

$$P_{SW}^{min} \leq P_{SW}^i \leq P_{SW}^{max} \quad (2.16)$$

Da mesma forma, a formulação do FPO DC para o Estágio 2 é representada pelas equações (2.17) à (2.20):

$$\min \sum_{j \in \Omega_G} c_G^j \times P_G^j + \min \sum_{i \in \Omega_C} c_L^i \times FC_i \quad (2.17)$$

$$P - P^{loss} = B\theta \quad (2.18)$$

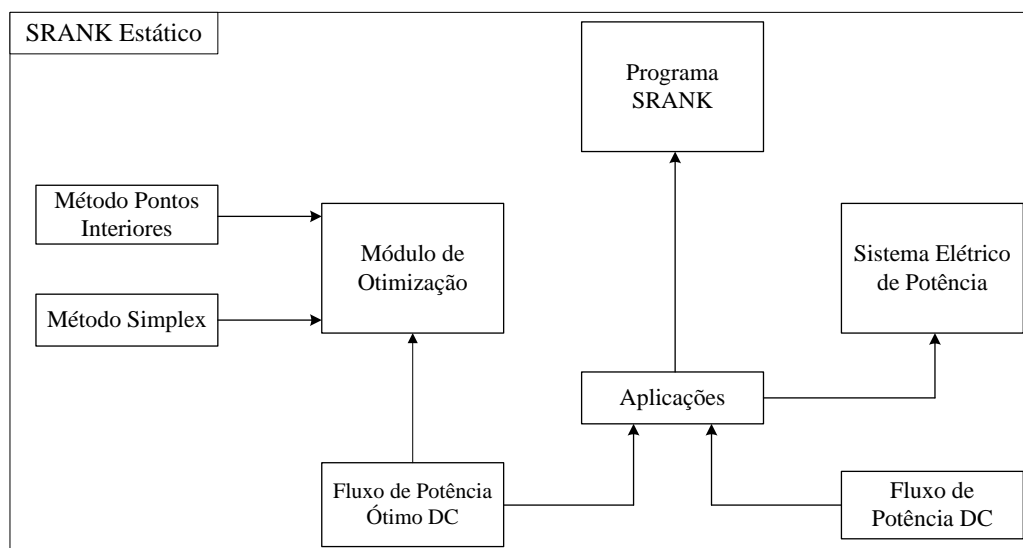
$$|F| \leq F^{max} \quad (2.19)$$

$$P_G^{min} \leq P_G^i \leq P_G^{max} \quad (2.20)$$

O modelo computacional implementado classifica as subestações de um sistema elétrico de potência usando um fluxo de potência linearizado (FPDC), bem como um fluxo de potência ótimo DC (FPO DC).

O programa computacional de FPO DC obtém a solução ótima do sistema de potência através de um módulo de otimização. Este módulo pode tratar o problema de programação linear (PPL) através de duas metodologias: Pontos Interiores primal-dual [G94] ou Simplex. Como mencionado anteriormente, o método Simplex é utilizado pela ferramenta de otimização, e, portanto, melhorias em esforço computacional por redução do tempo de processamento são obtidas em relação à metodologia Pontos Interiores.

A Fig. 2.1 mostra o módulo computacional construído para gerar uma classificação de barramentos baseada no desempenho estático de subestações.



**Fig. 2.1: Modelo computacional.**

Como os módulos computacionais são tratados separadamente, isto permite ao desenvolvedor incorporar novas funcionalidades sem grandes esforços na elaboração de algoritmos de cálculo. Note que o “Programa SRANK” representa o módulo principal e, acoplado com ele, o módulo “Aplicações” que gerencia todo o processo de cálculo. O módulo “Sistema Elétrico de Potência” realiza o tratamento da topologia da rede elétrica, que permite que elementos conectados à subestação possam ser ligados e desligados, possibilitando assim a análise de classificação estática. O módulo “Otimização” é utilizado pelo FPO DC para determinar a solução linear ótima do problema, como mencionado anteriormente. Observe na Fig. 2.1 que os métodos Simplex e Pontos Interiores estão incorporados externamente a este módulo, mantendo a flexibilidade do processo de desenvolvimento e a utilização de várias ferramentas disponíveis ao usuário.

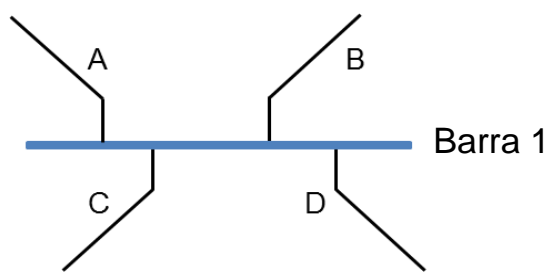
## 2.4. ÍNDICE DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ESTÁTICO DA SUBESTAÇÃO - SPI

O índice de desempenho estático da subestação (SPI – *Static Performance Index*) é um número que mede o quão crítica uma subestação é considerando um conjunto específico de regras ou critérios. Aquelas subestações com valores mais elevados de SPI são consideradas deficientes e com necessidades mais urgentes de investimento. Portanto, os índices de desempenho podem ser usados como um caminho fácil e eficaz para classificar subestações



dentro da rede elétrica. Um índice de desempenho pode ser construído de várias maneiras. Basicamente, este processo envolve a atribuição de “notas” a cada subestação de acordo com, por exemplo, seu desempenho, confiabilidade, demanda de carga, localização dentro da rede, etc.

Nesta dissertação, o índice SPI de uma dada subestação é calculado de acordo com a quantidade total de corte de carga decorrente de um conjunto específico de cenários de contingências. Este conjunto abrange todas as contingências possíveis “N-1” e “N-2”, considerando apenas transformadores e linhas de transmissão diretamente conectadas a cada subestação. A fim de ilustrar este processo, considere a subestação “Barra 1” mostrada na Fig. 2.2.

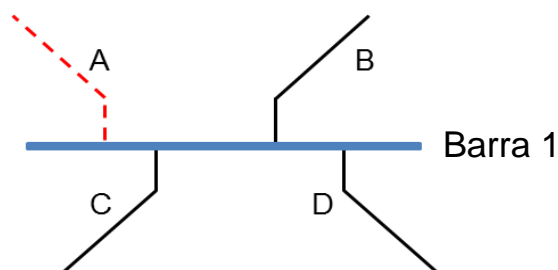


**Fig. 2.2: Representação de uma subestação do sistema.**

Considere que a Barra 1 representa uma subestação dentro da rede. Esta subestação tem quatro linhas/transformadores diretamente conectadas a ela. A fim de se estimar o índice SPI desta subestação, todas as contingências “N-1” e “N-2” são analisadas. Portanto, considere a contingência “N-1” onde a linha “A” falha. Esta situação é ilustrada na Fig. 2.3.

Primeiramente, o cenário de contingência é analisado usando um algoritmo de fluxo de potência DC padrão. O principal objetivo é determinar se este cenário de contingência causa sobrecargas em qualquer circuito; se sobrecargas não são detectadas, esta contingência é considerada segura e não contribui para o valor do índice SPI da Barra 1. Caso contrário, um algoritmo de FPO DC é executado, onde todas as sobrecargas são eliminadas usando corte de carga como única opção. Este processo representa o Estágio 1 (descrito na seção anterior) e o montante total de corte de carga em todo o sistema é salvo. Agora, um segundo FPO DC é executado para eliminar sobrecargas utilizando tanto redespacho de geração quanto corte de

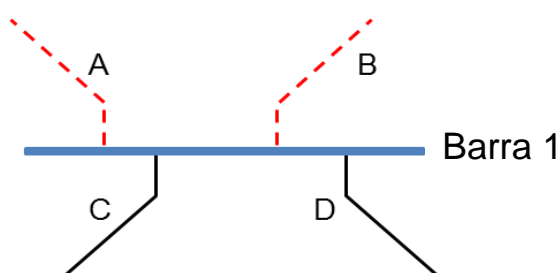
carga. Este processo representa o Estágio 2 (também descrito na seção anterior) e, mais uma vez, o montante total de corte de carga é salvo.



**Fig. 2.3: Contingência “N-1” na linha/transformador “A”.**

Note que o corte de carga obtido no Estágio 2 será sempre menor ou igual ao corte de carga no Estágio 1. Este procedimento fornece uma maneira de medir a eficácia do redespacho de geração e também auxilia no processo de classificação, já que duas subestações podem ter valores similares de corte de carga no Estágio 1, mas valores muito diferentes no Estágio 2.

O mesmo procedimento descrito acima (para a contingência “N-1”, “A”), é repetido para as contingências “N-1” remanescentes, i.e., equipamentos “B”, “C” e “D”. Os valores correspondentes de corte de carga (para os Estágios 1 e 2) são salvos para todos os casos; uma vez que todas as contingências “N-1” têm sido analisadas, a metodologia proposta começa a verificar as contingências “N-2”. Portanto, considere a contingência “N-2” “A” e “B” ilustrada na Fig. 2.4.



**Fig. 2.4: Contingência “N-2” nas linhas/transformadores “A” e “B”.**

Uma vez que modelos lineares DC são empregados, a falha de “A” seguida por uma falha em “B”, a falha de “B” seguida por uma falha em “A” ou falha simultânea de “A” e “B” levam a mesma condição operativa do sistema. Portanto, ambas as linhas/transformadores “A” e “B” são removidas do sistema e uma nova condição operativa é obtida via fluxo de potência DC. Se quaisquer sobrecargas são detectadas, ações corretivas são aplicadas executando um fluxo

de potência ótimo DC. Mais uma vez, o montante de corte de carga no Estágio 1 (apenas corte de carga) e Estágio 2 (redespacho de geração e corte de carga) são avaliados e salvos. O mesmo processo descrito para a contingência “N-2” “A-B” (i.e., “A” e “B”) é então repetida para as contingências “N-2” remanescentes, que são “A-C”, “A-D”, “B-C”, “B-D” e “C-D”. Os valores correspondentes de corte de carga (para os estágios 1 e 2) são armazenados em todos os casos.

Uma vez analisadas todas as contingências “N-1” e “N-2” (considerando a Barra 1), uma tabela de desempenho da subestação é construída, contendo as quantidades de corte de carga considerando cada cenário de contingência. A Tabela 2.1 apresenta o desempenho estático para a Barra 1.

TABELA 2.1 - TABELA DE DESEMPENHO DE SUBESTAÇÃO PARA A BARRA 1

“N-1”	Cenário de Contingência	Estágio 1 Apenas Corte de Carga (não há redespacho)	Estágio 2 Redespacho e Corte de Carga
	A	$LS_A$	$RLS_A$
	B	$LS_B$	$RLS_B$
	C	$LS_C$	$RLS_C$
	D	$LS_D$	$RLS_D$
“N-2”	Cenário de Contingência	Estágio 1 Apenas Corte de Carga (não há Redespacho)	Estágio 2 Redespacho e Corte de Carga
	A-B	$LS_{A-B}$	$RLS_{A-B}$
	A-C	$LS_{A-C}$	$RLS_{A-C}$
	A-D	$LS_{A-D}$	$RLS_{A-D}$
	B-C	$LS_{B-C}$	$RLS_{B-C}$
	B-D	$LS_{B-D}$	$RLS_{B-D}$
	C-D	$LS_{C-D}$	$RLS_{C-D}$

O índice SPI proposto para a Barra 1 é obtido considerando dois termos. O primeiro termo ( $PI_{N-1}$ ) representa as contribuições de todas as contingências “N-1” sendo calculada por:

$$PI_{N-1} = \sum_{i=1}^I LS_i + \sum_{i=1}^I RLS_i \quad (2.21)$$

onde  $I$  é o número de contingências “N-1” para a Barra 1. Para o exemplo apresentado na Tabela 2.1,  $PI_{N-1} = (LS_A + LS_B + LS_C + LS_D) + (RLS_A + RLS_B + RLS_C + RLS_D)$ .

O segundo termo ( $PI_{N-2}$ ) representa as contribuições de todas as contingências “N-2”, portanto:

$$PI_{N-2} = \sum_{j=1}^J LS_j + \sum_{j=1}^J RLS_j \quad (2.22)$$

onde  $J$  é o número de contingências “N-2” para a Barra 1. Considerando o exemplo da Tabela 2.1,  $PI_{N-2} = (LS_{A-B} + LS_{A-C} + LS_{A-D} + LS_{B-C} + LS_{B-D} + LS_{C-D}) + (RLS_{A-B} + RLS_{A-C} + RLS_{A-D} + RLS_{B-C} + RLS_{B-D} + RLS_{C-D})$ . Finalmente, o índice SPI para a Barra 1 é calculado:

$$SPI_{Barra\ 1} = w_{N-1} \times PI_{N-1} + w_{N-2} \times PI_{N-2} \quad (2.23)$$

em que  $w_{N-1}$  e  $w_{N-2}$  são pesos aplicados a  $PI_{N-1}$  e  $PI_{N-2}$ , respectivamente. Desta forma, é admitido que  $w_{N-1}$  é o peso associado à ocorrência de qualquer contingência “N-1”. Analogamente,  $w_{N-2}$  representa o peso de ocorrência de qualquer contingência “N-2”. Portanto, valores sugeridos e aplicados nos exemplos numéricos da Seção 2.8 para  $w_{N-1}$  e  $w_{N-2}$  são:  $0,001 < w_{N-1} < 0,1$  e  $w_{N-2} = (w_{N-1})^2$ .

O mesmo procedimento descrito para a construção da tabela de desempenho estático da Barra 1 é repetido para todas as barras do sistema. O índice SPI é calculado para todas as barras e seus correspondentes valores são usados como critério de classificação. Finalmente, uma lista de classificação de subestações de todo o sistema elétrico pode agora ser obtida.

## 2.5. PROBLEMAS DE CONVERGÊNCIA E ILHAMENTO

Durante a análise de contingências “N-1” e/ou “N-2”, algumas falhas em linha/transformador podem causar ilhamento no sistema, i.e., o isolamento de uma barra ou um conjunto de barras, que em alguns casos podem formar subsistemas separados. Para obter uma solução para esses eventos, redespacho de geração é necessário. Assim, a formulação FPO DC usada no Estágio 2 (redespacho de geração e corte de carga) deverá sempre convergir. Por outro lado, o FPO DC utilizado no Estágio 1 (que usa apenas corte de carga) pode nem sempre convergir. A

metodologia proposta e o programa computacional devem ser capazes de identificar tais condições e lidar com eles corretamente.

Problemas de convergência no Estágio 1 podem também ocorrer por causa de capacidades insuficientes de transmissão após as contingências. Isto acontece em certos eventos de contingência, onde a rede de transmissão remanescente não é capaz de transportar o montante total de potência gerada e, como o redespacho é “proibido”, as restrições do fluxo devem ser violadas. Qualquer solução com sobrecargas é inviável e, portanto, o FPO DC usado no Estágio 1 não convergirá.

Finalmente, também é possível que uma combinação dos problemas descritos acima (i.e., ilhamento e problemas de capacidade de transmissão) aconteça em certos cenários de contingência. Se isto ocorrer, será considerado que o evento de ilhamento é o mais severo e, portanto, a contribuição do evento capacidade insuficiente de transmissão para o índice SPI é desprezada. Em sistemas de potência reais, entretanto, esta situação não deverá ser comum. A seguir, são descritos, em detalhes, os tratamentos dos problemas citados acima.

### 2.5.1. Capacidade Insuficiente de Transmissão sob Contingências

Este problema ocorre quando o FPO, usado no Estágio 1, não pode encontrar uma solução que satisfaça a todas as restrições de limite de fluxo. Logo, considere a situação ilustrada na Fig. 2.5.

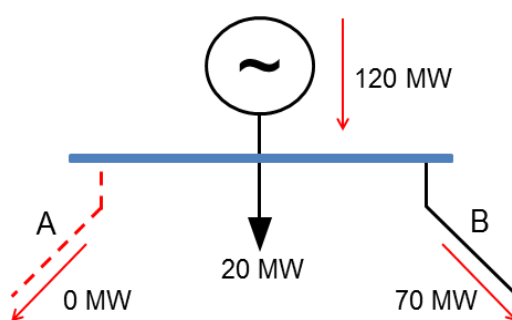


Fig. 2.5: Capacidade insuficiente de transmissão.

Neste exemplo, o limite de fluxo considerado para ambos os circuitos “A” e “B” é de 70 MW. Quando “A” falha, o fluxo de potência naquela linha/transformador vai a zero. Uma vez que o redespacho de geração é proibido, a linha/transformador “B” é requerida a transportar 100

MW, mas sua capacidade máxima é 70 MW. Portanto,  $-120 \text{ MW} + 70 \text{ MW} + 20 \text{ MW} = -30 \text{ MW}$ ; ou seja, um resíduo que não pode ser eliminado.

Resíduos podem também ocorrer em outras barras, incluindo aquelas que não têm uma conexão direta com as linhas/transformadores em falha. A fim de ilustrar esta situação, considere parte de um sistema mostrado na Fig. 2.6.

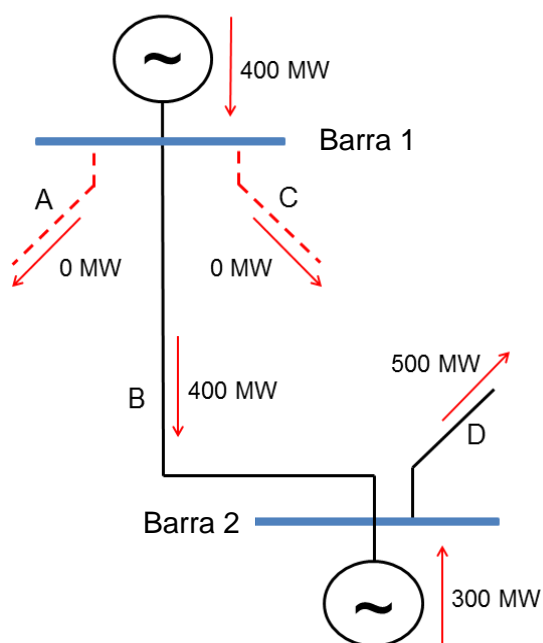


Fig. 2.6: Resíduos em outras barras do sistema.

Neste exemplo, o índice SPI está sendo avaliado para a Barra 1. Considere que as linhas “A”, “B”, “C” e “D” têm um limite máximo de fluxo igual a 500 MW. Quando a contingência “A-C” é avaliada para a Barra 1, a linha/transformador “B” é requerida a transportar 400 MW por si só. Uma vez que o limite de fluxo em “B” é 500 MW, não há problema, e resíduos não ocorrem para a Barra 1 ( $-400 \text{ MW} + 400 \text{ MW} = 0 \text{ MW}$ ). Entretanto, a linha/transformador “D” (que não está diretamente ligada à Barra 1) agora é requerida a transportar 700 MW, quando sua capacidade total é de apenas 500 MW. Isto causa um resíduo na Barra 2 [ $-300 \text{ MW} + (-400 \text{ MW}) + 500 \text{ MW} = -200 \text{ MW}$ ], mas a origem do problema está localizada em outro lugar do sistema (neste caso, a contingência “N-2” “A-C” na Barra 1). Resíduos podem também ocorrer em outras barras do sistema, incluindo aquelas que são relativamente distantes da Barra 1 e também aparecer em mais de uma barra por vez.

É importante destacar que os limites adotados (inferior e superior) para a potência gerada na barra *swing* também podem causar divergência no Estágio 1. Neste caso, porque a geração na barra *swing* é a única que pode ser alterada e todos os cortes de carga devem ser absorvidos por ela. Em outras palavras, a quantidade máxima de corte de carga no Estágio 1 é igual à diferença entre a potência gerada na barra *swing* e seu limite inferior específico (geralmente igual a 0 MW). Se reduzir esta geração ao seu limite inferior (que resulta no maior corte de carga possível) e esta não for suficiente para eliminar todas as sobrecargas nos circuitos, então o Estágio 1 divergirá. Esta situação, entretanto, não deverá ser muito comum em aplicações reais.

Ao analisar um cenário de contingência, se o FPO DC usado no Estágio 1 não converge, a quantidade total de corte de carga sob aquele cenário não pode ser avaliado. Portanto, é necessário encontrar um “valor” que possa substituir a quantidade total de corte de carga na Tabela de Desempenho Estático da Subestação.

Se o FPO DC usado no Estágio 1 não converge por motivo de capacidade insuficiente de transmissão (para certa contingência “N-1” e/ou “N-2”), o valor LS que é usado na tabela de desempenho da subestação é calculado como:

$$LS = |mm_1| + |mm_2| \quad (2.24)$$

onde  $mm_1$  e  $mm_2$  são, respectivamente, o primeiro e segundo maior resíduos, considerando todas as barras do sistema. Para os exemplos ilustrados nas figuras 2.5 e 2.6, os valores de  $LS_A$  e  $LS_{A-C}$  são 30 MW e 200 MW, respectivamente (considerando que não ocorram outros resíduos).

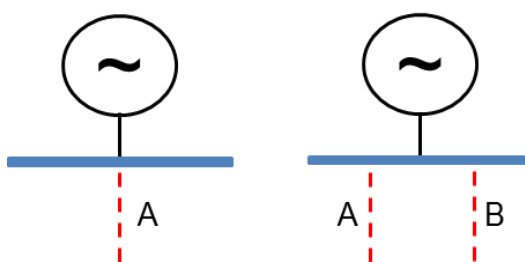
### 2.5.2. Eventos de Ilhamento

Um segundo tipo de evento que pode causar problemas de convergência no Estágio 1 é o ilhamento do sistema. Isto acontece quando contingências “N-1” e/ou “N-2” isolam um componente ou um grupo de componentes do resto do sistema. Essas contingências simplesmente não podem ser descartadas, uma vez que elas indicam condições severas da rede, cuja solução geralmente envolve procedimentos de corte de carga.

Na metodologia proposta (e o respectivo programa computacional), um evento de ilhamento é detectado usando um *algoritmo de configuração do sistema*, que basicamente verifica a configuração topológica da rede considerando um evento de contingência específico. Quando a conexão entre dois nós/barras do sistema é interrompido (em decorrência da contingência), esta rotina tenta achar um caminho alternativo. Se caminhos alternativos não são encontrados, uma situação de ilhamento ocorreu. Esta parte do programa, i.e., a configuração da rede tem um alto custo computacional e, portanto, apenas é executado quando o fluxo de potência DC não converge (para uma determinada contingência “N-1” ou “N-2”).

Quando um evento de ilhamento é detectado, os valores reais de LS e RLS não são facilmente obtidos. Nesses casos, o Estágio 1 não converge e, portanto, a quantidade total de corte de carga deve ser substituída por outro tipo de medida. Os valores reais de RLS (para o Estágio 2) podem, na teoria, ser avaliados, mas, de modo a fazê-lo, procedimentos complexos devem ser implementados (por exemplo, executar um FPO DC para todo subsistema, reatribuir uma barra *swing*, etc.). A fim de evitá-los, na metodologia proposta, os valores LS e RLS são avaliados usando heurísticas simples, que dependem do tipo de ilhamento. Considerando o(s) componente(s) que está(estão) sendo isolado(s), os eventos de ilhamento podem ser classificados como:

Geração Isolada: Isto ocorre quando o cenário de contingência analisado (“N-1” e/ou “N-2”) isola uma barra de geração. Esta situação é ilustrada na Fig. 2.7.



**Fig. 2.7: Ilhamento de uma barra de geração.**

Quando o evento de ilhamento é devido a uma contingência “N-1”, a heurística torna-se muito simples. Neste caso, o valor  $LS_A$  (ou  $RLS_A$ ) é igual à potência gerada total da(s) unidade(s) geradora(s) isolada(s), i.e.,  $LS_A = RLS_A = G$ . Quando o ilhamento ocorre devido a uma contingência “N-2”, entretanto, esta avaliação não é tão simples. Neste caso, deve ser considerado que a barra de geração isolada pode ser uma barra de interconexão (i.e.,



conectando duas partes do mesmo sistema ou conectando dois subsistemas separados). Portanto, as direções dos fluxos de potência devem ser checadas. Se ambos os fluxos estão saindo da barra, então  $LS_{A-B} = RLS_{A-B} = G$ ; caso contrário,  $LS_{A-B} = RLS_{A-B} = \max(|f_A|, |f_B|)$ , onde  $f_A$  e  $f_B$  são, respectivamente, os fluxos nas linhas/transformadores “A” e “B” antes do evento de contingência.

Carga Isolada: Isto acontece quando o cenário de contingência analisado (“N-1” e/ou “N-2”) isola uma barra de carga. A Fig. 2.8 ilustra esta condição. Note que este caso é semelhante ao anterior. Quando o evento de ilhamento ocorre devido a uma contingência “N-1”, o valor  $LS_A$  (ou  $RLS_A$ ) é igual ao corte de carga total, i.e.,  $LS_A = RLS_A = L$ . Quando o ilhamento é devido a uma contingência “N-2”, as direções dos fluxos devem ser checadas (como no caso de geração isolada). Portanto, se ambos os fluxos estão entrando na barra, então  $LS_{A-B} = RLS_{A-B} = L$ ; caso contrário,  $LS_{A-B} = RLS_{A-B} = \max(|f_A|, |f_B|)$ .

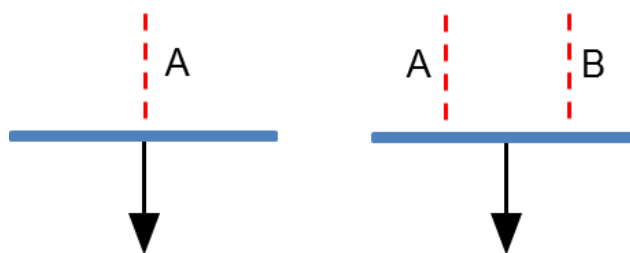


Fig. 2.8: Ilhamento de uma barra de carga.

Geração e Carga Isolada: Este evento ocorre quando o cenário de contingência analisado (“N-1” e/ou “N-2”) isola uma barra contendo geração e carga. Esta condição está ilustrada na Fig. 2.9.

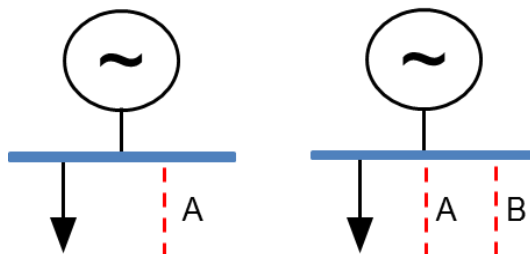
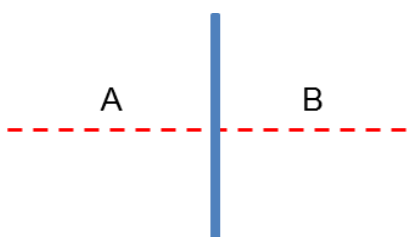


Fig. 2.9: Ilhamento de uma barra contendo geração e carga.

Este evento é uma combinação dos dois casos anteriores. Quando uma contingência “N-1” é responsável pelo ilhamento, o valor  $LS_A$  (ou  $RLS_A$ ) é igual ao valor absoluto da diferença

entre a potência total de geração e carga, i.e.,  $LS_A = RLS_A = |G - L|$ . Quando uma contingência “N-2” é a causa do ilhamento, as direções dos fluxos de potência devem ser checadas novamente. Se ambos os fluxos estão na mesma direção (i.e., ambos saindo ou entrando na barra), então  $LS_{A-B} = RLS_{A-B} = |G - L|$ ; caso contrário,  $LS_{A-B} = RLS_{A-B} = \max(|f_A|, |f_B|)$ .

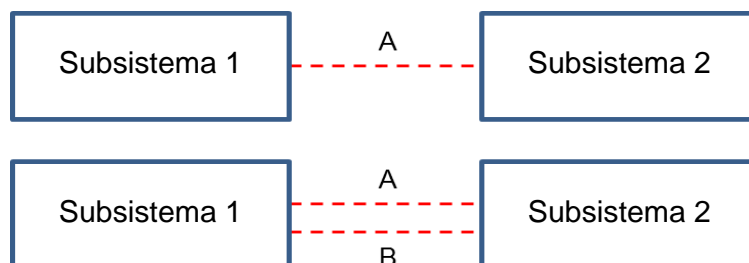
**Barra Isolada:** Esta situação pode ocorrer apenas em contingências “N-2” e é ilustrada na Fig. 2.10. Note que este evento pode isolar duas partes do mesmo sistema ou mesmo criar dois subsistemas separados.



**Fig. 2.10: Ilhamento de uma barra.**

Em ambos os casos, o valor  $LS_{A-B}$  (ou  $RLS_{A-B}$ ) é igual ao fluxo de potência total na linha/transformador “A” (ou “B”) antes da ocorrência do evento de contingência, i.e.,  $LS_{A-B} = RLS_{A-B} = |f_A| = |f_B|$ . É importante observar que, quando perdas no sistema são consideradas, os fluxos  $f_A$  e  $f_B$  serão ligeiramente diferentes. Nesses casos,  $LS_{A-B} = RLS_{A-B} = \max(|f_A|, |f_B|)$ .

**Subsistema Isolado:** Isto ocorre quando o cenário de contingência analisado (“N-1” e/ou “N-2”) divide o sistema em dois subsistemas, ambas com duas ou mais barras e, possivelmente, com geração e carga. Este caso é ilustrado na Fig. 2.11.



**Fig. 2.11: Ilhamento de um subsistema.**

Sob este cenário, os valores  $LS_A$  e  $RLS_A$  (ou  $LS_{A-B}$  e  $RLS_{A-B}$ ) são iguais à potência total de intercâmbio entre os subsistemas antes do evento de contingência. Em outras palavras,  $LS_A = RLS_A = |f_A|$  e  $LS_{A-B} = RLS_{A-B} = |f_A + f_B|$ , onde  $f_A$  e  $f_B$  são os fluxos de potência antes da contingência nas linhas/transformadores “A” e “B”, respectivamente.

Outros Tipos de Eventos de Ilhamento: Dois casos especiais de ilhamento no sistema podem ocorrer quando se está analisando contingências “N-2”. Esses casos estão ilustrados nas figuras 2.12 e 2.13, onde “S1” e “S2” representam uma das seguintes opções: (i) uma barra de geração isolada; (ii) uma barra de carga isolada; (iii) uma barra com geração e carga isolada; ou (iv) um subsistema isolado.

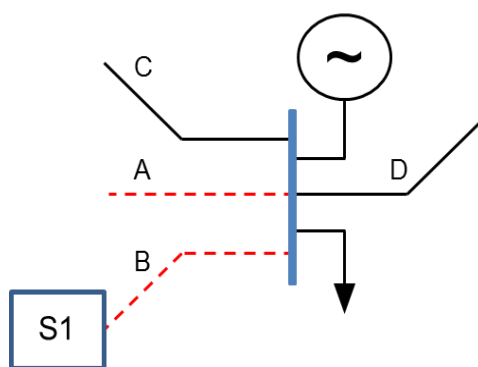


Fig. 2.12: Ilhamento de S1.

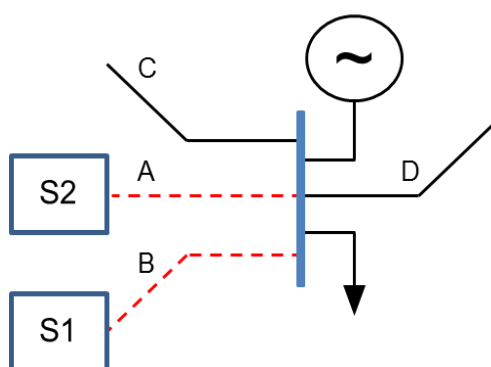


Fig. 2.13: Ilhamento de S1 e S2.

No primeiro caso, note que a subestação analisada (cujo índice SPI está sendo avaliado no momento) não faz parte de “S1”. Nesses casos, os valores  $LS_{A-B}$  e  $RLS_{A-B}$  são avaliados do seguinte modo: se ambos os fluxos estão na mesma direção (i.e., ambos saindo ou entrando na barra),  $LS_{A-B} = RLS_{A-B} = |f_A + f_B|$ ; caso contrário,  $LS_{A-B} = RLS_{A-B} = \max(|f_A|, |f_B|)$ . Um

segundo caso pode ser classificado como uma combinação de duas situações de ilhamento descritas anteriormente. Nesses casos, é considerado que  $LS_{A-B} = RLS_{A-B} = H_{S1} + H_{S2}$ , onde  $H_{S1}$  e  $H_{S2}$  representam as heurísticas correspondentes que caracterizam o isolamento de “S1” e “S2”, respectivamente.

## 2.6. ALGORITMO COMPUTACIONAL

Os conceitos apresentados nas seções anteriores são utilizados para elaborar o algoritmo computacional para a metodologia proposta de classificação estática de subestações, e está ilustrada na Fig. 2.14. Primeiro, a base de dados contendo as informações elétricas da rede é carregada usando um arquivo de entrada (.raw). Em seguida, uma solução do caso base é obtida utilizando um programa de fluxo de potência DC considerando perdas no sistema. A ocorrência de sobrecargas nos circuitos é verificada para o caso base. Se qualquer sobrecarga for detectada, então o caso base deve ser ajustado, a fim de prosseguir com a análise. Observe que não tem sentido em continuar com a metodologia de classificação de subestações, se o caso base apresenta sobrecargas. Se sobrecargas não forem detectadas para o caso base, então todas as contingências “N-1” e “N-2” são enumeradas considerando cada subestação do sistema. A análise de contingência começa neste ponto.

O programa inicia verificando os eventos de contingência enumerados e os índices resultantes (i.e., LS e RLS) são avaliados para cada um deles. Um evento de contingência “N-1” ou “N-2” é analisado primeiramente usando outro programa de fluxo de potência DC, que considera perdas no sistema. O objetivo é verificar se qualquer sobrecarga no circuito aparece considerando a contingência atual. Se a solução é convergente e sobrecargas são detectadas, o programa parte para as avaliações dos Estágios 1 e 2. Se sobrecargas não são detectadas, a atual contingência analisada é considerada segura e o programa continua a verificar as demais.

Quando sobrecargas ocorrem, o Estágio 1 representa a abordagem de mínimo corte de carga, como descrito em (2.13). Se o Estágio 1 converge, os valores LS são salvos e o programa prossegue para o Estágio 2. Caso contrário, a ocorrência do evento capacidade insuficiente de transmissão é verificada. Neste caso, os valores LS são obtidos usando as heurísticas descritas na Seção 2.5.1. O Estágio 2 representa a abordagem de mínimo corte de carga com redespacho de geração, como descrito em (2.17). Note que cortes de carga também podem

ocorrer neste estágio. Entretanto, o corte de carga total deverá ser sempre menor ou igual à obtida para o Estágio 1. Os valores LS e RLS são salvos para a atual contingência analisada e o programa prossegue para a próxima contingência.

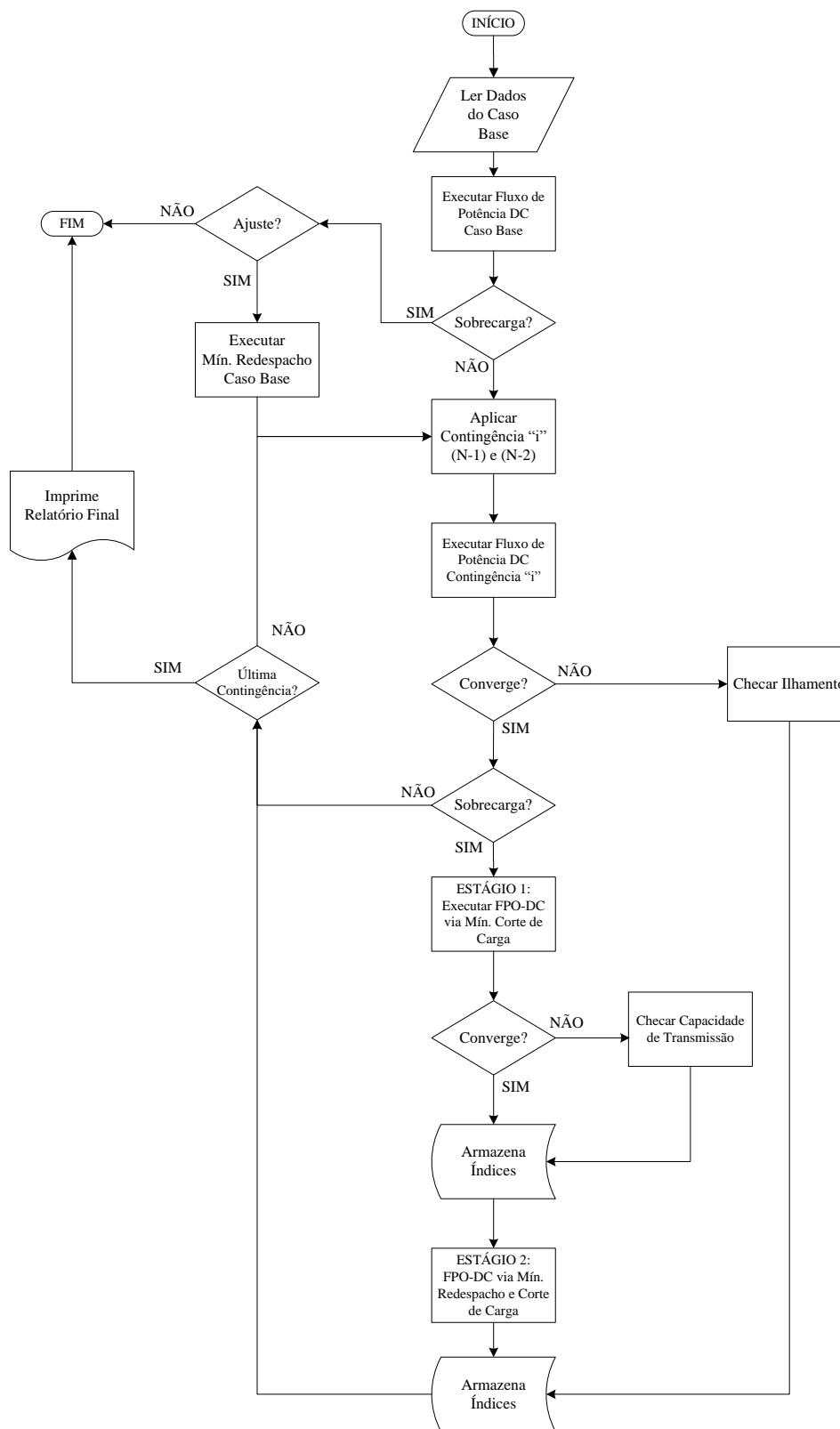


Fig. 2.14: Fluxograma simplificado da metodologia proposta de classificação de subestação.

Se o fluxo de potência DC *não convergir* para uma dada contingência “N-1” ou “N-2”, então é verificada se o evento de contingência analisado criou algum tipo de ilhamento no sistema. Eventos de ilhamento são detectados (e identificados) usando o *algoritmo de configuração do sistema*. Dependendo do tipo de ilhamento, os valores LS e RLS são avaliados usando as heurísticas apresentadas na Seção 2.5.2. O programa então segue para a próxima contingência. Se não há contingências remanescentes a serem analisadas, relatórios finais são mostrados e o programa termina.

## 2.7. ASPECTOS ADICIONAIS

### 2.7.1. Classificação de Subestações de acordo com sua Função

Outra ideia interessante, que pode ser facilmente implementada dentro da metodologia proposta, é classificar barras no sistema de acordo com sua função e classificá-las em listas separadas. Por exemplo, as subestações poderiam ser classificadas como: (i) Geração; (ii) Carga; e (iii) Subestações de Interligação. Classificação de subestações com características similares (por exemplo, considerando apenas o carregamento nas subestações) podem ajudar os planejadores do sistema em muitas decisões, uma vez que diferentes tipos de subestações exigiriam soluções diferentes (e investimentos) a fim de melhorar seu desempenho.

### 2.7.2. Probabilidade de Eventos de Contingência Individuais

Na metodologia proposta de classificação, pressupõe-se que todas as contingências “N-1” têm a mesma probabilidade de ocorrência. Analogamente, todas as contingências “N-2” são equiprováveis. Contingências “N-2” têm geralmente maiores quantidades de corte de carga (em comparação às contingências “N-1”), mas baixas probabilidades de ocorrência. Uma maneira simples para considerar este fato durante a avaliação do índice SPI é usar fatores de ponderação, tais como  $w_{N-1}$  e  $w_{N-2}$ .

Entretanto, se dados suficientes estiverem disponíveis (configuração interna da subestação, dados de confiabilidade dos componentes, etc.), as probabilidades individuais de cada cenário de contingência poderá ser devidamente avaliada. Então, a probabilidade de ocorrência de cada contingência poderá ser utilizada como um fator de ponderação no cálculo dos índices SPI's. Esta abordagem deve levar a resultados mais realísticos e práticos para as listas de classificação, uma vez que alguns eventos de contingência têm valores altos de corte de carga,

mas probabilidades de ocorrência extremamente baixas. Desta forma, os investimentos poderão ser bem alocados para melhorar o desempenho daquelas instalações que são mais propensas a contingências.

### 2.7.3. Contingências de Ordem mais Elevada

Neste trabalho é considerado que um evento de contingência (por exemplo, na linha/transformador “A”) possa ser causado por fatores internos e/ou externos. Entretanto, há também a possibilidade que a falha de um simples equipamento afete dois ou mais componentes (por exemplo, circuitos em torres comuns). Em outras palavras, cada cenário de contingência, mesmo aqueles de ordem superior, tem uma probabilidade associada de ocorrência. Durante a metodologia proposta de classificação de subestação, apenas contingências “N-1” e “N-2” são diretamente consideradas. Entretanto, na versão final do programa, o usuário é capaz de especificar certas contingências de ordem superior, que, por experiência, ele sabe que são possíveis. Este procedimento permitirá considerar contingências de ordem superior sem comprometer o custo computacional. Nesses casos, o usuário terá apenas que informar uma lista de eventos de contingência de ordem superior e seus respectivos fatores de ponderação.

### 2.7.4. Condições Preliminares

Na metodologia proposta de classificação estática de subestações, perdas no sistema são calculadas usando o vetor ângulo da tensão obtido na solução do fluxo de potência DC de uma dada configuração. Essas perdas são então modeladas como cargas fictícias, que são alocadas na extremidade oposta de cada ramo. Portanto, o total das perdas ( $P_{ij}^{loss}$ ) associadas ao circuito entre as barras  $i$  e  $j$  (em pu) pode ser calculado através da seguinte equação:

$$P_{ij}^{loss} = (g_{ij} \times \theta_{ij}^2) \quad (2.25)$$

onde  $g_{ij}$  é a condutância do circuito em pu e  $\theta_{ij}$  é a diferença angular entre as barras  $i$  e  $j$  em radianos.

Uma vez que um fluxo de potência DC é primeiramente usado para estimar perdas no sistema, uma comparação entre os fluxos AC e DC é realizada. Em caso de diferença, as perdas

encontradas no fluxo DC são proporcionalmente aumentadas ou diminuídas em cada barra a fim de manter o mesmo balanço de fluxo de potência como no caso base AC.

## 2.8. EXEMPLOS NUMÉRICOS

Nesta seção, a metodologia proposta de classificação estática de subestações é testada utilizando alguns sistemas acadêmicos. O principal objetivo é ilustrar o processo de avaliação do índice SPI, que está descrito nas seções anteriores. Para este fim, dois sistemas são utilizados: (i) o sistema teste 9-Barras; e (ii) o sistema *Brazilian Birds*. Em cada caso, os resultados obtidos são discutidos em detalhes e alguns eventos de contingência, incluindo “N-1” e “N-2”, são selecionados e usados como exemplos explicativos para proporcionar uma visão mais aprofundada da metodologia proposta.

### 2.8.1. Sistema 9-Barras

Esta rede de “9 barras, 6 ramos e 3 unidades geradoras” é baseada no sistema teste apresentado em [AF03]. A Fig. 2.15 mostra o diagrama unifilar deste sistema. As principais mudanças em relação ao sistema original proposto são o aumento das impedâncias nas linhas de transmissão, posição e aumento das cargas e o conseqüente aumento no despacho da geração. O Apêndice A.1 mostra os dados do sistema no formato da versão PSS/E31, utilizadas no programa da PTI (Siemens).

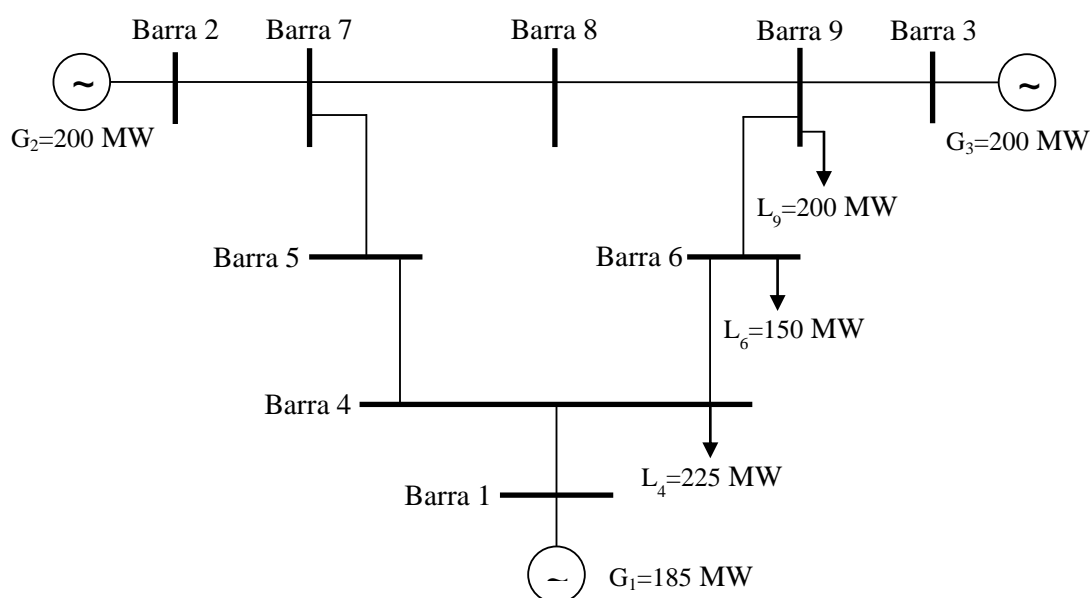


Fig. 2.15: Diagrama unifilar do sistema 9-barras/3-geradores.



A Tabela 2.2 mostra os valores LS e RLS para cada barra do sistema considerando todas as contingências “N-1” e “N-2” para o sistema 9-Barras. Note que, a fim de reduzir o tamanho da tabela, apenas aquelas contingências com valores de LS e RLS diferentes de zero são apresentadas. Também, quando eventos de ilhamento ocorrem, o tipo de ilhamento está identificado na última coluna da tabela. Logo, é possível concluir que a ferramenta proposta obteve um bom desempenho com o Sistema 9-Barras. Alguns eventos são discutidos a seguir.

TABELA 2.2 – TABELA DE DESEMPENHO DE SUBESTAÇÕES PARA O SISTEMA 9-BARRAS – ANÁLISE ESTÁTICA

Contingências “N-1”							
Barra	Evento 1 <sup>†</sup>	Estágio 1	Status <sup>‡</sup>	Estágio 2	Status	Ilhamento	
1	TRNOR:1-4-1	185,01	I	185,01	I	Barra Ger.	
4	TLINE:4-5-1	91,67	D	28,63	C	-	
4	TLINE:4-6-1	50,00	C	50,00	C	-	
4	TRNOR:1-4-1	185,01	I	185,01	I	Barra Ger.	
5	TLINE:4-5-1	91,67	D	28,63	C	-	
5	TLINE:7-5-1	95,15	D	29,69	C	-	
2	TRNOR:2-7-1	200,00	I	200,00	I	Barra Ger.	
7	TLINE:7-8-1	54,77	C	26,77	C	-	
7	TLINE:7-5-1	95,15	D	29,69	C	-	
7	TRNOR:2-7-1	200,00	I	200,00	I	Barra Ger.	
8	TLINE:8-9-1	53,77	C	25,77	C	-	
8	TLINE:7-8-1	54,77	C	26,77	C	-	
3	TRNOR:3-9-1	200,00	I	200,00	I	Barra Ger.	
6	TLINE:4-6-1	50,00	C	50,00	C	-	
6	TLINE:6-9-1	50,63	C	50,63	C	-	
9	TLINE:6-9-1	50,63	C	50,63	C	-	
9	TLINE:8-9-1	53,77	C	25,77	C	-	
9	TRNOR:3-9-1	200,00	I	200,00	I	Barra Ger.	
Contingências “N-2”							
Barra	Evento 1	Evento 2	Estágio 1	Status	Estágio 2	Status	Ilhamento
4	TLINE:4-5-1	TLINE:4-6-1	39,99	I	39,99	I	Subsistema
4	TLINE:4-5-1	TRNOR:1-4-1	287,20	I	287,20	I	Barra Ger.
4	TLINE:4-6-1	TRNOR:1-4-1	185,01	I	185,01	I	Barra Ger.
5	TLINE:4-5-1	TLINE:7-5-1	103,24	I	103,24	I	Barra Isolada
7	TLINE:7-8-1	TLINE:7-5-1	200,00	I	200,00	I	Subsistema
7	TLINE:7-8-1	TRNOR:2-7-1	200,00	I	200,00	I	Barra Ger.
7	TLINE:7-5-1	TRNOR:2-7-1	200,00	I	200,00	I	Barra Ger.
8	TLINE:8-9-1	TLINE:7-8-1	92,57	I	92,57	I	Barra Isolada
6	TLINE:4-6-1	TLINE:6-9-1	150,00	I	150,00	I	Barra Carga
9	TLINE:6-9-1	TRNOR:3-9-1	200,00	I	200,00	I	Barra Ger.
9	TLINE:8-9-1	TRNOR:3-9-1	291,58	I	291,58	I	Barra Ger.

<sup>†</sup> TLINE (Linha de Transmissão) / TRNOR (Transformador): Barra; - Barra<sub>k</sub> – Número do Circuito

<sup>‡</sup> I = Ilhamento; C = Convergente; D = Divergente

Considerando os eventos “N-1”, a contingência que remove a linha “TLINE:4-5-1” no Estágio 1, o fluxo de potência ótimo diverge porque na Barra 2, o gerador está despachando 200 MW e o limite transmissão na linha “TLINE:9-6-1” é de 100 MW. Isto causa cortes de carga nas barras 6 e 4 e o valor resultante LS é igual a 91,6 MW. No Estágio 2, o FPO converge, e como esperado, resultou em um corte de carga (RLS) de 28,6 MW, visto que o procedimento de redespacho obteve sucesso, minimizando a maioria dos problemas da rede.

Ainda considerando os eventos “N-1”, vale a pena observar que a remoção da linha de transmissão “TLINE:4-6-1” causa um corte de carga de 50 MW em ambos os estágios. A justificativa deste corte de carga está relacionada ao fato de que a Barra 6 está conectada apenas ao circuito “TLINE:6-9-1”, que tem uma capacidade de 100 MW. Uma vez que a carga conectada à barra é de 150 MW, o corte é de 50 MW, determinada pela capacidade de transmissão da linha.

Ao analisar os eventos “N-2”, as contingências sempre causam o isolamento de algum tipo de equipamento do sistema devido às características da própria rede. Assim, haverá sempre carga, geração, barra ou subsistema isolado, causando corte de carga, cujo valor é obtido através da análise heurística da topologia do sistema descritas na Seção 2.5.2.

Uma vez que todas as contingências têm sido analisadas, é possível calcular os índices SPI utilizando as expressões (2.21), (2.22) e (2.23). A Tabela 2.3 apresenta os índices SPI e a correspondente lista de classificação para o sistema 9-Barras, considerando os fatores de ponderação das contingências iguais a  $w_{N-1} = 0,1$  e  $w_{N-2} = 0,01$ . É possível observar que as barras 7, 4 e 9 estão classificadas como os nós mais críticos do sistema, do ponto de vista estático.

Este resultado já era esperado, visto que, observando a Subestação/Barra 7, a remoção do transformador isola o gerador na Barra 2, que significa uma perda de 200 MW de capacidade de geração. Em relação à subestação 4, o gerador na Barra 1 está isolado e a perda da linha de transmissão “TLINE:4-5-1” causa um corte de carga de 91,6 MW, devido à capacidade de transmissão da linha “TLINE:4-6-1”, que é de 100 MW. Em relação à subestação na Barra 9, a perda do transformador “TRNOR:3-9-1” causa o isolamento do gerador 3 de 200 MW.

TABELA 2.3 – ÍNDICES DE DESEMPENHO DE SUBESTAÇÃO PARA O SISTEMA 9-BARRAS

Barra	Contingência	Estágio 1	Estágio 2	Total	Pesos	SPI
7	(N-1)	349,92	256,46	606,37	0,10	72,64
	(N-2)	600,00	600,00	1200,00	0,01	
4	(N-1)	326,69	263,64	590,33	0,10	69,28
	(N-2)	512,20	512,20	1024,39	0,01	
9	(N-1)	304,40	276,40	580,80	0,10	67,91
	(N-2)	491,58	491,58	983,15	0,01	
3	(N-1)	200,00	200,00	400,00	0,10	40,00
	(N-2)	-	-	-	0,01	
2	(N-1)	200,00	200,00	400,00	0,10	40,00
	(N-2)	-	-	-	0,01	
1	(N-1)	185,01	185,01	370,03	0,10	37,00
	(N-2)	-	-	-	0,01	
5	(N-1)	186,82	58,31	245,13	0,10	26,58
	(N-2)	103,24	103,24	206,48	0,01	
6	(N-1)	100,63	100,63	201,26	0,10	23,13
	(N-2)	150,00	150,00	300,00	0,01	
8	(N-1)	108,54	52,54	161,09	0,10	17,96
	(N-2)	92,57	92,57	185,15	0,01	

Usando a Tabela 2.3, os planejadores do sistema podem facilmente identificar os nós críticos na rede, e assim, elaborar soluções apropriadas (priorização de investimentos). Também, é importante salientar que os fatores de ponderação  $w_{N-1}$  e  $w_{N-2}$  podem modificar a lista final de classificação de subestações. Na metodologia proposta,  $w_{N-1} = 0,10$  e  $w_{N-2} = 0,01$  são usados como valores padrões nas simulações dos sistemas teste. Finalmente, a classificação pode também ser alterada se apenas um dos estágios (i.e., Estágio 1 ou Estágio 2) for considerado. Por exemplo, a Tabela 2.4 apresenta um novo resultado de classificação para o Sistema 9-Barras, se apenas as contribuições do Estágio 2 são consideradas. Como esperado, os índices SPI foram reduzidos para todas as barras do sistema. Note que há uma mudança na ordem das barras 7, 4 e 9 para 9, 7 e 4. Entretanto, este resultado pode ser considerado o mesmo que o anterior, uma vez que os valores numéricos para o índice SPI são os mesmos.

TABELA 2.4 – ÍNDICES DE DESEMPENHO DE SUBESTAÇÃO PARA O SISTEMA 9-BARRAS – APENAS O ESTÁGIO 2

Barra	Contingência	Estágio 2	Pesos	SPI
9	(N-1)	276,40	0,10	32,56
	(N-2)	491,58	0,01	
7	(N-1)	256,46	0,10	31,65
	(N-2)	600,00	0,01	
4	(N-1)	263,64	0,10	31,49
	(N-2)	512,20	0,01	
2	(N-1)	200,00	0,10	20,00
	(N-2)	-	0,01	
3	(N-1)	200,00	0,10	20,00
	(N-2)	-	0,01	
1	(N-1)	185,01	0,10	18,50
	(N-2)	-	0,01	
6	(N-1)	100,63	0,10	11,56
	(N-2)	150,00	0,01	
5	(N-1)	58,31	0,10	6,86
	(N-2)	103,24	0,01	
8	(N-1)	52,54	0,10	6,18
	(N-2)	92,57	0,01	

### 2.8.2. Sistema *Brazilian Birds*

O sistema *Brazilian Birds* (BB) consiste de duas áreas de 230 kV interconectadas por linhas de transmissão de 440 kV. O sistema tem 43 barras, 21 linhas e 19 transformadores. Além disso, o sistema tem unidades geradoras em quatro barramentos: 5 unidades de 100 MW na barra Canário, 4 unidades de 75 MW na barra Sabiá, 5 unidades de 115 MW na barra Tucano e 4 unidades de 158 MW na barra Gavião. A carga total do sistema BB é de 1200 MW.

A fim de analisar este sistema, dois casos de despacho de geração são explorados:

- Caso 1: Caso Base, em que a classificação de subestação será realizada;
- Caso 2: Caso Redespachado, em que as unidades geradoras de Gavião têm sua potência despachada aumentada em 200 MW, enquanto as unidades nas barras Canário e Sabiá compensam esta alteração reduzindo sua geração.

A Tabela 2.5 mostra os despachos de geração das máquinas para ambos os casos.

TABELA 2.5 – CASOS ANALISADOS DO SISTEMA *BRAZILIAN BIRDS*

Barra	Nome	Despacho de Geração [MW]	
		Caso 1	Caso 2
10	Canário	357,2	281,9
11	Sabiá	200,0	100,0
20	Tucano	400,0	400,0
21	Gavião	300,0	500,0

A Fig. 2.16 mostra o diagrama unifilar do sistema cujos dados do sistema e eventos dinâmicos estão descritos nos Apêndices A.2 (Caso 1) e A.3 (Caso 2) no formato da versão PSS/E31, utilizadas no programa da PTI (Siemens).

A Tabela 2.6 apresenta os índices SPI e os correspondentes resultados de classificação para o Caso 1 do sistema *Brazilian Birds*, considerando os fatores de ponderação das contingências iguais a  $w_{N-1} = 0,10$  e  $w_{N-2} = 0,01$ . A fim de reduzir o tamanho da tabela, apenas as dez barras mais críticas do sistema são mostradas. A lista de classificação estática completa deste sistema é apresentada no Apêndice B.1.

TABELA 2.6 – ÍNDICES DE DESEMPENHO DE SUBESTAÇÃO PARA O SISTEMA BB (CASO 1) – ANÁLISE ESTÁTICA

Barra	Contingência	Estágio 1	Estágio 2	Total	Pesos	SPI
200	(N-1)	400,00	400,00	800,00	0,10	106,84
	(N-2)	1483,79	1200,00	2683,79	0,01	
100	(N-1)	357,21	357,21	714,43	0,10	94,27
	(N-2)	1210,82	1071,64	2282,46	0,01	
20	(N-1)	400,00	400,00	800,00	0,10	80,00
	(N-2)	-	-	-	0,01	
210	(N-1)	300,00	300,00	600,00	0,10	79,95
	(N-2)	1067,47	927,82	1995,29	0,01	
10	(N-1)	357,21	357,21	714,43	0,10	71,44
	(N-2)	-	-	-	0,01	
21	(N-1)	300,00	300,00	600,00	0,10	60,00
	(N-2)	-	-	-	0,01	
1180	(N-1)	260,00	260,00	520,00	0,10	57,20
	(N-2)	260,00	260,00	520,00	0,01	
110	(N-1)	200,00	200,00	400,00	0,10	56,00
	(N-2)	800,00	800,00	1600,00	0,01	
220	(N-1)	110,00	110,00	220,00	0,10	40,86
	(N-2)	1063,78	822,14	1885,92	0,01	
11	(N-1)	200,00	200,00	400,00	0,10	40,00
	(N-2)	-	-	-	0,01	

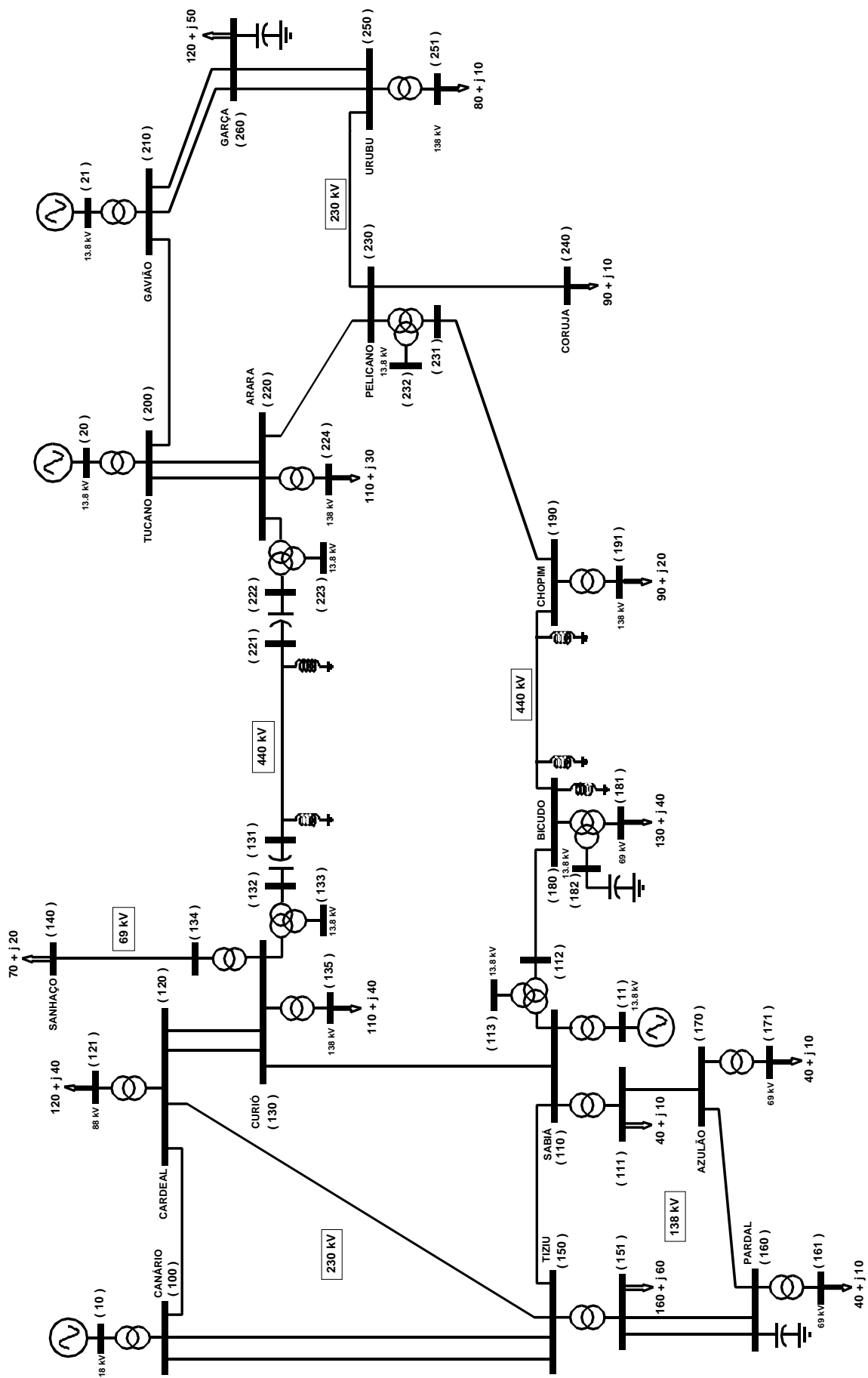


Fig. 2.16: Sistema *Brazilian Birds*.

Note que as barras 200 e 100 estão classificadas como os nós mais críticos do sistema. Esses nós representam importantes nós do sistema, uma vez que eles transportam toda a geração de Tucano e Canário, totalizando 757 MW. Assim, a saída de qualquer uma dessas barras resulta na perda de uma quantidade considerável de geração.

O terceiro nó mais crítico é a Barra 20, que é uma barra de geração onde estão as unidades geradoras de Tucano com 400 MW, significando perda total desta geração.

A Barra 210 é o quarto nó mais crítico e este representa a conexão de transmissão para toda a geração em Gavião, que também significa uma grande quantidade de perda na geração.

A Tabela 2.7 apresenta novos resultados de classificação para o sistema *Brazilian Birds* (Caso 1), se apenas as contribuições do Estágio 2 são consideradas. Como esperado, os índices SPI foram reduzidos para todas as barras.

TABELA 2.7 – ÍNDICES DE DESEMPENHO DE SUBESTAÇÃO PARA O SISTEMA BB (CASO 1) – APENAS ESTÁGIO 2

Barra	Contingência	Estágio 2	Pesos	SPI
200	(N-1)	400,00	0,10	52,00
	(N-2)	1200,00	0,01	
100	(N-1)	357,21	0,10	46,44
	(N-2)	1071,64	0,01	
20	(N-1)	400,00	0,10	40,00
	(N-2)	-	0,01	
210	(N-1)	300,00	0,10	39,28
	(N-2)	927,82	0,01	
10	(N-1)	357,21	0,10	35,72
	(N-2)	-	0,01	
21	(N-1)	300,00	0,10	30,00
	(N-2)	-	0,01	
1180	(N-1)	260,00	0,10	28,60
	(N-2)	260,00	0,01	
110	(N-1)	200,00	0,10	28,00
	(N-2)	800,00	0,01	
11	(N-1)	200,00	0,10	20,00
	(N-2)	-	0,01	
130	(N-1)	113,68	0,10	19,78
	(N-2)	841,08	0,01	

As barras mais críticas do sistema considerando o Estágio 2 são os nós 200, 100, 20 e 210, que são as mesmas barras encontradas quando o primeiro estágio é também considerado (Tabela 2.6).

A Tabela 2.8 apresenta os índices SPI e os correspondentes resultados de classificação para o Caso 2 do sistema *Brazilian Birds*, considerando os fatores de ponderação das contingências iguais a  $w_{N-1} = 0,10$  e  $w_{N-2} = 0,01$ . O principal objetivo é analisar a influência do despacho de geração inicial nos índices SPI. A fim de reduzir o tamanho da tabela, apenas as dez barras mais críticas do sistema são mostradas. A lista de classificação completa deste caso é apresentada no Apêndice B.2.

TABELA 2.8 – ÍNDICES DE DESEMPENHO DE SUBESTAÇÃO PARA O SISTEMA BB (CASO 2) – ANÁLISE ESTÁTICA

Barra	Contingência	Estágio 1	Estágio 2	Total	Pesos	SPI
210	(N-1)	648,46	500,00	1148,46	0,10	149,84
	(N-2)	1999,01	1500,00	3499,01	0,01	
200	(N-1)	590,89	400,00	990,89	0,10	129,09
	(N-2)	1733,19	1266,67	2999,87	0,01	
21	(N-1)	500,00	500,00	1000,00	0,10	100,00
	(N-2)	-	-	-	0,01	
20	(N-1)	400,00	400,00	800,00	0,10	80,00
	(N-2)	-	-	-	0,01	
220	(N-1)	377,54	110,00	487,54	0,10	76,69
	(N-2)	1801,42	992,04	2793,46	0,01	
100	(N-1)	281,94	281,94	563,88	0,10	73,30
	(N-2)	845,82	845,82	1691,65	0,01	
1180	(N-1)	260,00	260,00	520,00	0,10	57,20
	(N-2)	260,00	260,00	520,00	0,01	
10	(N-1)	281,94	281,94	563,88	0,10	56,39
	(N-2)	-	-	-	0,01	
130	(N-1)	187,58	113,85	301,44	0,10	52,97
	(N-2)	1323,91	958,98	2282,89	0,01	
230	(N-1)	166,65	90,00	256,65	0,10	41,41
	(N-2)	956,63	617,66	1574,29	0,01	

Observe que as barras 210, 200, 21 e 20 estão classificadas como os nós mais críticos do sistema. Esses nós representam a conexão de transmissão de toda a geração em Gavião e Tucano, respectivamente, totalizando 900 MW. Assim, a saída de qualquer um desses nós resulta em perdas consideráveis de geração.



Note que neste segundo caso, a Barra 100 apenas aparece como o sexto nó mais crítico do sistema, uma vez que o montante de potência na área em que se situam as barras Tucano e Gavião é muito maior comparado com o montante de perda de geração na barra Canário (100). Portanto, este fato aponta que o despacho de geração tem uma grande influência na classificação das subestações.

A Tabela 2.9 apresenta novos resultados de classificação para o sistema *Brazilian Birds* (Caso 2), se apenas as contribuições do Estágio 2 são consideradas. Como esperado, os índices SPI foram reduzidos para todas as barras.

TABELA 2.9 – ÍNDICES DE DESEMPENHO DE SUBESTAÇÃO PARA O SISTEMA BB (CASO 2) – APENAS ESTÁGIO 2

Barra	Contingência	Estágio 2	Pesos	SPI
210	(N-1)	500,00	0,10	65,00
	(N-2)	1500,00	0,01	
200	(N-1)	400,00	0,10	52,67
	(N-2)	1266,67	0,01	
21	(N-1)	500,00	0,10	50,00
	(N-2)	-	0,01	
20	(N-1)	400,00	0,10	40,00
	(N-2)	-	0,01	
100	(N-1)	281,94	0,10	36,65
	(N-2)	845,82	0,01	
1180	(N-1)	260,00	0,10	28,60
	(N-2)	260,00	0,01	
10	(N-1)	281,94	0,10	28,19
	(N-2)	-	0,01	
130	(N-1)	113,85	0,10	20,98
	(N-2)	958,98	0,01	
220	(N-1)	110,00	0,10	20,92
	(N-2)	992,04	0,01	
120	(N-1)	120,00	0,10	16,92
	(N-2)	492,27	0,01	

As barras mais críticas do sistema considerando apenas o segundo estágio são 210, 200, 21 e 20, exatamente as mesmas barras encontradas quando o primeiro estágio é também considerado (Tabela 2.8). Logo, este resultado intensifica a importância desta região para o sistema quando há perdas de circuitos ao redor destas subestações.

A Fig. 2.17 mostra as cinco barras/subestações mais bem classificadas para a rede *Brazilian Birds* avaliada pela ferramenta SRANK Estático. As barras representam em escala os índices SPI das tabelas 2.6 (Caso 1) e 2.8 (Caso 2). Do ponto de vista estático, está clara a relevância das barras 200 (Tucano) e 210 (Gavião), particularmente quando o despacho de geração nesta área é aumentado (i.e., Caso 2). Pode ser também visualizada a influência do despacho na *criticidade* das subestações do ponto de vista estático.

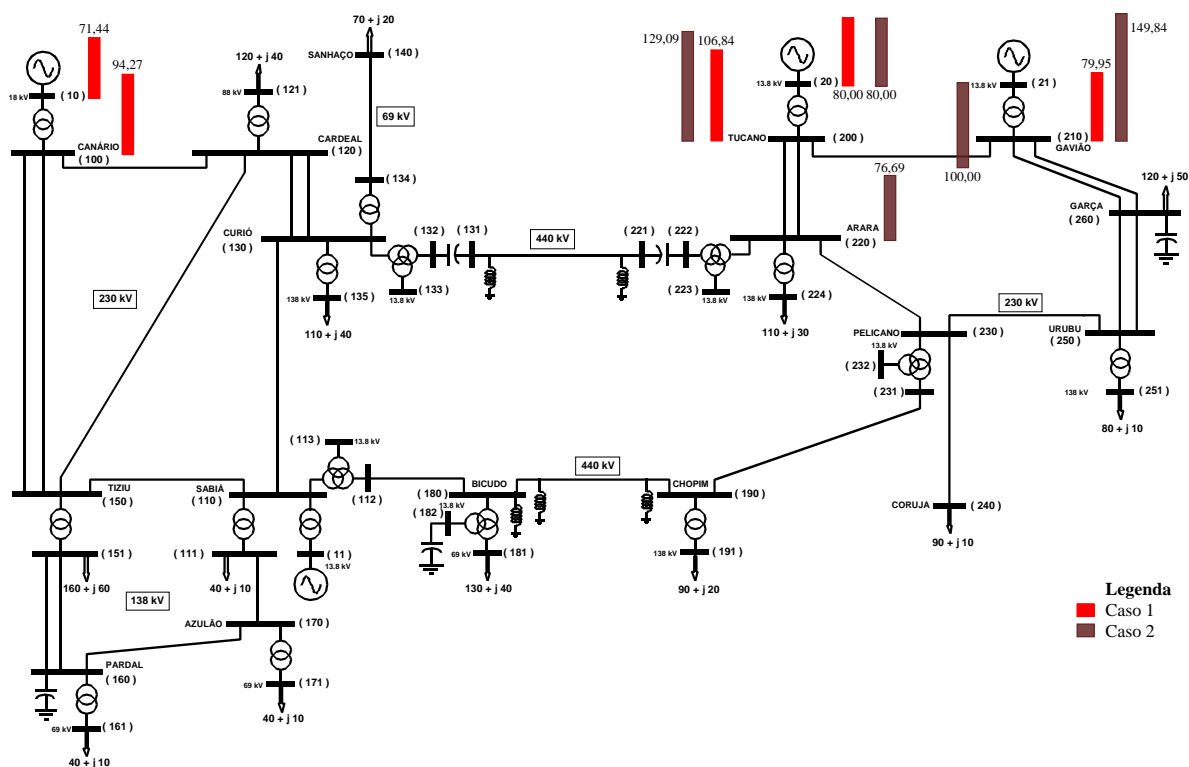


Fig. 2.17: Sistema *Brazilian Birds* – barras mais bem classificadas para os casos 1 e 2 (análise estática).

## 2.9. COMENTÁRIOS FINAIS

Neste capítulo foi apresentada uma nova metodologia determinística de classificação de subestações, do ponto de vista estático, oferecendo uma lista consistente de classificação de subestações, em que os planejadores do sistema podem facilmente identificar instalações críticas na rede elétrica. O processo de classificação estático é baseado na análise de todas as contingências “N-1” e “N-2”, considerando apenas equipamentos diretamente conectados a uma dada subestação. Programas de fluxo de potência ótimo são executados para cada evento de contingência e a quantidade total de corte de carga é usada como base para a construção de um índice de desempenho (estático) da subestação (SPI); um valor que mede o quão crítica

uma subestação é. O índice SPI de cada barra do sistema é avaliado e depois usado como critério final de classificação.

A abordagem proposta e o programa computacional associado foram testados usando dois sistemas acadêmicos: os sistemas de 9-Barras e *Brazilian Birds*. Em todos os casos, a metodologia proposta foi executada com sucesso e forneceu resultados de classificação consistentes. Para ilustrar o desempenho computacional, a ferramenta gastou aproximadamente 0,85 segundos (Intel Core 2 Quad Q8400, 2,66 GHz) para classificar o sistema BB (Caso 1).

Portanto, os resultados obtidos e o desempenho computacional do programa demonstram o potencial desta ferramenta em aplicações em redes elétricas reais. Uma avaliação utilizando esta ferramenta em sistemas reais foi realizada para um equivalente da rede da Hydro One, Ontario [LJML13].

# CAPÍTULO 3

## CLASSIFICAÇÃO DE SUBESTAÇÕES BASEADA NO DESEMPENHO DINÂMICO

### 3.1. INTRODUÇÃO

NESTE capítulo, a metodologia determinística para classificar subestações (análise dinâmica) é descrita e testada, incluindo suas principais características e modelos, hipóteses e resultados. Esta ferramenta calcula a margem de estabilidade transitória, ou seja, uma medida que informa o grau de estabilidade do sistema elétrico frente a uma perturbação.

Esta metodologia é focada em uma nova abordagem para melhorar a robustez e a precisão do método SIME (*Single Machine Equivalent*). O método SIME utiliza o princípio clássico do “Critério das Áreas Iguais” (*Equal Area Criterion – EAC*). A margem de energia é a diferença entre a máxima energia potencial pós-falta disponível e a energia cinética acrescentada ao sistema pela falta. Para estimar esta margem, é necessário conhecer as potências equivalentes elétrica e mecânica da máquina em função do deslocamento angular do seu rotor.

O método SIME, originalmente, baseia-se na técnica de mínimos quadrados ponderados para extrapolar a curva da potência elétrica da máquina em função do ângulo do rotor, como uma função polinomial de segunda ordem. Este ajuste usa três ou mais potências elétricas (ou acelerantes) e valores angulares tomados em passos sucessivos de tempo. Tem-se observado que esta aproximação pode fornecer resultados razoavelmente precisos apenas para condições em que a margem positiva é pequena, i.e., quando os deslocamentos do ângulo são suficientemente grandes, preferencialmente próximos à fronteira de instabilidade. A abordagem proposta é utilizar a equação de transferência de potência (função seno) de uma única máquina conectada a um barramento infinito através de uma impedância externa, como a característica potência-ângulo da máquina equivalente. Então, o aspecto fundamental é determinar o valor desta impedância externa vista pelo equivalente da máquina. Uma vez conhecidas estas características, a energia potencial máxima pode ser aproximada e,

teoricamente, a margem pode ser calculada bem como a energia cinética injetada no sistema por uma falta, alcança um valor máximo. Portanto, a margem é dada pela diferença entre as máximas energias potencial e cinética, esta última criada pela falta. Os detalhes serão explicados ao longo deste capítulo.

A metodologia de classificação baseada no desempenho dinâmico de subestações é inicialmente testada usando alguns sistemas acadêmicos. O principal objetivo é descrever e ilustrar o processo de classificação dinâmico (estabilidade transitória). Para esta finalidade, dois sistemas teste são avaliados: (i) o sistema 9-Barras; e (ii) o sistema *Brazilian Birds* (BB). As contingências utilizadas para o propósito desta avaliação consistem de um curto-circuito trifásico, admitância associada de 10.000 pu, tempo de exposição ao curto de 300 milissegundos para a rede de 9-Barras e entre 100 e 400 milissegundos para o sistema BB.

## **3.2. DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL**

### **3.2.1. Método SIME Original**

Uma breve revisão do método SIME [PER00] é apresentada a seguir.

A instabilidade angular transitória em sistemas elétricos de potência é causada inicialmente pela separação de apenas duas áreas de geração. Certamente, efeitos em cascata podem levar a mais separações, mas o interesse obviamente é evitar a primeira instabilidade. A separação é causada por um desequilíbrio de potência em que geradores de uma área aceleram (ou desaceleram) em relação às outras. Isto leva ao conceito de dois grupos coerentes de geradores, denominados grupos críticos e não-críticos. O grupo crítico são as máquinas com menor inércia. Se o grupo crítico acelera com relação ao grupo não-crítico, diz-se que este oscila para frente, se desacelera, então oscila para trás.

O grupo crítico é composto dos geradores com ângulo crescente (decrecente) em relação ao centro de ângulo (*Center of Angle* – COA) de uma ilha elétrica, se este oscila para frente (para trás).

Uma vez que os grupos críticos e não-críticos são determinados, as respectivas máquinas são agregadas em relação aos seus respectivos COA's. A partir daí, esses COA's são substituídos

por uma máquina-barra infinita (*One-Machine Infinite Bus* – OMIB), como mostram as expressões abaixo.

Expressões para o cálculo das quantidades de grupos agregados:

$$M_C = \sum_{k \in C} M_k \quad (3.1)$$

$$M_N = \sum_{k \in N} M_k \quad (3.2)$$

$$\delta_C(t) = \frac{1}{M_C} \sum_{k \in C} M_k \delta_k(t) \quad (3.3)$$

$$\delta_N(t) = \frac{1}{M_N} \sum_{j \in N} M_j \delta_j(t) \quad (3.4)$$

$$\omega_C(t) = \frac{1}{M_C} \sum_{k \in C} M_k \omega_k(t) \quad (3.5)$$

$$\omega_N(t) = \frac{1}{M_N} \sum_{j \in N} M_j \omega_j(t) \quad (3.6)$$

$$Pe_C(t) = \frac{1}{M_C} \sum_{k \in C} Pe_k(t) \quad (3.7)$$

$$Pm_C(t) = \frac{1}{M_C} \sum_{k \in C} Pm_k(t) \quad (3.8)$$

$$Pe_N(t) = \frac{1}{M_N} \sum_{j \in N} Pe_j(t) \quad (3.9)$$

$$Pm_N(t) = \frac{1}{M_N} \sum_{j \in N} Pm_j(t) \quad (3.10)$$

em que o subscrito  $C$  denota o grupo de máquinas críticas e  $N$  as máquinas não-críticas.

A seguir, são apresentadas as expressões para o cálculo do equivalente OMIB, ou seja, o sistema é reduzido a uma máquina equivalente:

$$\delta(t) = \delta_C(t) - \delta_N(t) \quad (3.11)$$

$$\omega(t) = \omega_C(t) - \omega_N(t) \quad (3.12)$$

$$M = \frac{M_C \times M_N}{M_C + M_N} \quad (3.13)$$

$$Pm(t) = M [Pm_C(t) - Pm_N(t)] \quad (3.14)$$

$$Pe(t) = M [Pe_C(t) - Pe_N(t)] \quad (3.15)$$

$$Pa(t) = Pm(t) - Pe(t) \quad (3.16)$$

As equações (3.1)–(3.16) representam o mapeamento de um sistema multimáquina em um sistema OMIB, que permite a aplicação do *Critério das Áreas Iguais*.

A Fig. 3.1 ilustra o conceito do EAC, onde  $Pe_0$ ,  $Pe_{df}$  e  $Pe_{pf}$  são as características potência-ângulo OMIB pré-falta, durante a falta e pós-falta, respectivamente,  $\delta_0$  é o ângulo do rotor pré-falta,  $\delta_{ch}$  é o ângulo do rotor pós-falta, em que a potência acelerante muda de positiva para negativa,  $\delta_r$  é o ângulo de retorno, i.e., a máxima excursão angular para um cenário estável,  $\delta_u$  é o ponto de equilíbrio instável,  $A_{acc}$  é a área de aceleração ( $Pm > Pe$ ),  $A_{dec}$  é a área de desaceleração ( $Pe > Pm$ ) e  $A_{mar}$  é a área da margem, i.e., a *margem de energia* do sistema para uma determinada falta. Para simplificar a análise, a potência mecânica ( $Pm$ ) é considerada constante. A soma ( $A_{dec} + A_{mar}$ ) é a energia potencial total disponível para absorver a energia cinética introduzida no sistema pela falta. O cálculo da  $A_{mar}$  requer que a função  $Pe_{pf}$  versus ângulo seja conhecida (ou estimada com boa precisão).

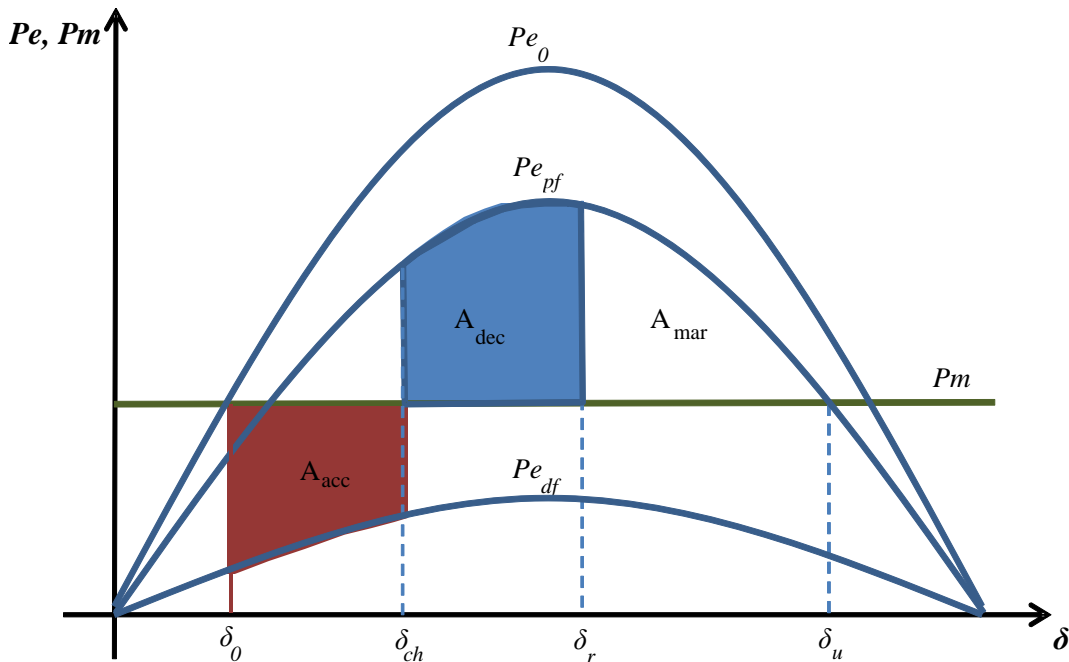


Fig. 3.1: Critério das áreas iguais.

Durante a falta, a máquina acelera, uma vez que a potência acelerante ( $P_a = P_m - P_e$ ) é positiva. No instante em que a potência acelerante torna-se negativa (na maioria das vezes é o tempo de eliminação da falta), a velocidade da máquina é máxima e esta começa a desacelerar. A energia total adquirida pelo sistema pode ser determinada como a energia cinética neste ponto, como segue:

$$A_{acc} = \frac{1}{2} M \omega_{ch}^2 \quad (3.17)$$

A condição para o sistema ser transitoriamente estável é que a área de desaceleração ( $A_{dec}$ ) deve ser maior ou igual à área de aceleração ( $A_{acc}$ ). Em outras palavras, o ângulo de retorno  $\delta_r$ , deve ser menor ou igual ao ângulo instável  $\delta_u$ .

A instabilidade é detectada pelo cruzamento do ponto de equilíbrio instável, que é caracterizada pela mudança da potência acelerante de negativa para positiva e pela derivada do ângulo ser positiva. Neste ponto, a energia remanescente no sistema, não dissipada na área de desaceleração, é a margem de energia negativa e pode ser calculada precisamente pela seguinte expressão:

$$\eta_u = \frac{1}{2} M \omega_u^2 \quad (3.18)$$

onde  $\omega_u$  é a velocidade do equivalente da máquina no ponto de cruzamento.

O ponto chave na precisão do método SIME é o cálculo da área de margem positiva ( $A_{mar}$ ) para casos estáveis. Em [PER00] dois métodos são propostos para estimar esta margem. O primeiro método é a aproximação *triangular*, segundo a expressão abaixo:

$$A_{mar} = \frac{1}{2} [P_{e_{pf}}(\delta_r) - P_m] (\delta_u - \delta_r) \quad (3.19)$$

Obviamente, este método requer o conhecimento do ângulo instável  $\delta_u$ , mas este ângulo não é conhecido se o sistema é estável. Na prática, repetidas simulações com aumento de estresse da máquina são necessários para encontrar este ângulo instável. Isto faz a aproximação triangular ineficiente e de pouco interesse.



O segundo método sugerido é aproximar a potência elétrica pós-falta ( $Pe_{pf}$ ), definido pela expressão (3.20):

$$Pe(\delta) = a\delta^2 + b\delta + c \quad (3.20)$$

onde  $a$ ,  $b$  e  $c$  são calculados através da aproximação de mínimos quadrados ponderados usando três ou mais passos sucessivos de tempo. Na prática, verificou-se que  $Pe_{pf}(\delta)$  não é tão bem comportado como ilustrado na Fig. 3.1 e, para cenários estáveis com grandes margens, os pontos podem não ser representativos da real característica. Além disso, se o caso é bastante estável, a excursão do ângulo é pequena e os pontos disponíveis para o ajuste da curva podem ser insuficientes. Conseqüentemente, grandes erros podem ocorrer. Novamente, para usar este método de forma eficaz, seria necessário executar sucessivas simulações com aumento do nível de estresse para conseguir uma boa aproximação, que é, outra vez, bastante ineficiente.

### 3.2.2. Proposta de Melhoria do Método SIME

Um método melhorado (i.e., mais rápido e preciso) para calcular margens positivas é crucial para a abordagem SIME, a fim de obter uma avaliação rápida e confiável da estabilidade de todo o sistema, como proposto em [LJML13]. O objetivo é ser capaz de estimar a margem de energia (positiva ou negativa) em poucos milissegundos após a eliminação da falta, por exemplo, 200 milissegundos.

A ideia central é aproximar a característica  $Pe_{pf}(\delta)$  pela função de transferência de potência do sistema OMIB.

$$Pe = \frac{E_m(\delta)E_\infty}{X_e} \text{sen}(\delta) + P_0 \quad (3.21)$$

onde  $E_m$  é a tensão equivalente da máquina atrás de sua reatância transitória, que é modelada em função do ângulo do rotor;  $E_\infty$  é a tensão na barra infinita, que é assumida como constante;  $\delta$  é o ângulo do rotor da máquina equivalente; e  $P_0$  representa uma potência local referida ao equivalente OMIB. Para usar esta aproximação,  $E_m$ ,  $E_\infty$ , e  $X_e$  precisam ser estimados. Se isto for possível,  $P_0$  pode ser calculado para ajustar a equação num ponto particular.

Nota: A aproximação  $Pe = P_{12} \text{sen}(\delta) + P_0$  foi também testada, onde  $P_{12}$  é uma constante e  $P_{12}$  e  $P_0$  são calculados usando valores em passos sucessivos de tempo. Mas isto leva aos mesmos problemas da aproximação por mínimos quadrados ponderados da Equação (3.20). Também, considerando que a constante  $P_{12}$  é uma fonte de erro, visto que a excitação do gerador pode mudar significativamente de cenários não estressados para cenários estressados.

$E_m(\delta)$  é estimada, na abordagem proposta em [LJML13], como a média das tensões do grupo crítico atrás da reatância transitória.

$$E_m(\delta) = \frac{1}{N_c} \sum_{k \in C} E_k(\delta) \quad (3.22)$$

onde  $N_c$  é o número de geradores no grupo crítico.  $E_\infty$  é estimado da mesma maneira para o grupo não-crítico, mas nos testes realizados, estimou-se o ângulo de retorno e o deixou constante, i.e., não é considerado como uma função do deslocamento do ângulo.

$X_e$  é estimado, na abordagem proposta, como a média ponderada da impedância externa vista por cada gerador mais sua própria reatância transitória.

$$X_e = \frac{1}{N_c} \sum_{k \in C} M_k(xe_k + x'_{dk}) \quad (3.23)$$

onde  $x'_{dk}$  e  $xe_k$  são a reatância transitória e a impedância externa vista pelo gerador  $k$ , respectivamente. Assim, a informação que falta para completar a aproximação proposta é a impedância externa vista por cada gerador. Uma maneira de encontrar esta informação está implícita no cálculo da impedância de Thévenin, vista por cada gerador do grupo, considerando os outros geradores do grupo como circuito aberto. Porém, dependendo do número de geradores no grupo crítico, este cálculo pode ser bastante caro computacionalmente. Então, é usada a seguinte abordagem alternativa.

Assumindo que a interconexão entre os grupos críticos e não-críticos é basicamente reativa e que as máquinas no grupo oscilam coerentemente, pode-se escrever:

$$\bar{V}_{mk}(t) = j(xe_k)\bar{I}_k(t) + \bar{E}_\infty \quad (3.24)$$

onde  $\bar{V}_{mk}$  e  $x_{e_k}$  são a tensão no terminal e a impedância externa vista pela máquina  $k$ , respectivamente. Considerando ainda que  $\bar{E}_\infty$  é constante (barra infinita), pode-se escrever:

$$|x_{e_k}| = \left| \frac{\frac{d\bar{V}_{mk}(t)}{dt}}{\frac{d\bar{I}_k(t)}{dt}} \right| \quad (3.25)$$

Nota: As aproximações deste modelo são bastantes razoáveis comparados com a aproximação global do modelo SIME. Em geral, não existe barra infinita, mas em um sistema multimáquina, para uma única máquina, o resto do sistema se comporta como um barramento infinito. Também, a interconexão entre os grupos críticos e não-críticos não é puramente reativa, mas tipicamente o componente resistivo é relativamente pequeno.

A impedância externa vista por cada máquina individual,  $x_{e_k}$ , pode ser calculada a qualquer passo de tempo pós-falta, mas na implementação atual, está sendo calculada como uma média durante um intervalo de tempo.

Observação Importante: Note que a impedância externa pode ser teoricamente estimada imediatamente após a eliminação da falta. Consequentemente, toda a área de desaceleração pode ser calculada. A área de aceleração é conhecida, como mencionado acima, tão logo as mudanças da potência acelerante de positiva para negativa. Para condições não muito estressadas, isto ocorre na eliminação da falta; para condições estressadas isto pode ocorrer alguns milissegundos após a eliminação da falta; e para condições muito estressadas pode nem sequer acontecer. Mas esta última situação pode ser sinalizada como uma condição severa sem a necessidade de simulação de períodos muito longos. Assim, para as outras duas condições, a margem de energia (área total de desaceleração menos a área de aceleração) pode ser estimada, em sua maioria, alguns milissegundos após a eliminação da falta, que resulta em uma abordagem muito rápida para classificação de contingência e término antecipado da simulação.

O modo de implementar o algoritmo SIME depende do objetivo de sua utilização. Por exemplo, para um cenário de contingência, é desejável estimar a margem de estabilidade apenas a alguns milissegundos após a eliminação da falta. No entanto, para o diagnóstico de

uma simulação no domínio completo de tempo, a urgência não é necessária e a estimativa pode ser mais convenientemente realizada em ângulos de retorno ou de detecção de instabilidade.

A seguinte estratégia de implementação é usada para todos os diagnósticos na simulação no domínio do tempo.

- i) Iniciar a simulação no domínio do tempo;
- ii) Para a condição pós-falta do sistema, verificar se há instabilidade ou o ângulo de retorno em cada intervalo de tempo;
- iii) Se instabilidade é detectada, determinar o grupo crítico, estimar a margem de energia negativa e parar a simulação;
- iv) Se um ponto de retorno é encontrado, determinar o grupo crítico e estimar a margem de energia positiva.

Nota: Se o sistema é instável, é possível determinar os circuitos que provavelmente serão abertos por ação da proteção devido à perda de sincronismo e então calcular o balanço de carga em cada uma das ilhas resultantes. Isto pode ser feito, como proposto em [RLJM00], usando o ponto de detecção de instabilidade para identificar o corte na linha (ramos tendo os ângulos terminais movendo-se em sentido oposto).

Para a classificação de contingências, a estratégia usada é a seguinte.

- i) Iniciar a simulação no domínio do tempo;
- ii) Se o sistema está em uma condição pós-falta e instabilidade é detectada, calcular a margem de energia negativa e parar a simulação;
- iii) Se o sistema foi simulado por um intervalo de tempo mínimo (alguns milissegundos) na condição pós-falta e a energia cinética atingiu um valor máximo, calcular a margem de energia positiva (ou negativa) e parar a simulação.

Para todo passo de tempo na condição pós-falta do sistema, o programa calcula os ângulos individuais da máquina em relação ao centro de inércia, a velocidade angular individual da

máquina em relação à velocidade no centro de inércia, a energia cinética e o produto interno (*dot product*) por ilha elétrica. Essas são as grandezas usadas no método TEF (*Transient Energy Function*), mas extremamente úteis como auxílio para o método SIME. As respectivas equações são triviais, como segue:

$$M_T = \sum_{i=1,n} M_i \quad (3.26)$$

$$\delta_{COA}(t) = \frac{1}{M_T} \sum_{i=1,n} M_i \delta_i(t) \quad (3.27)$$

$$\omega_{COA}(t) = \frac{1}{M_T} \sum_{i=1,n} M_i \omega_i(t) \quad (3.28)$$

$$\bar{\delta}_i = \delta_i - \delta_{COA} \quad (3.29)$$

$$\bar{\omega}_i = \omega_i - \omega_{COA} \quad (3.30)$$

$$Vke = \frac{1}{2} \sum_{i=1,n} M_i \bar{\omega}_i^2 \quad (3.31)$$

$$P_{COI} = \sum_{i=1,n} Pac_i \quad (3.32)$$

$$\bar{P}ac_i = Pac_i - \frac{M_i}{M_T} P_{COI} \quad (3.33)$$

$$dotproduct = \sum_{i=1,n} \bar{P}ac_i \times \bar{\omega}_i \quad (3.34)$$

O produto interno é útil para a confirmação de detecção de instabilidade e término antecipado. A energia cinética é útil para detecção rápida do final da área de aceleração (um valor máximo) e o ângulo de retorno (um valor mínimo). Os ângulos referidos ao COA (centro de inércia) são úteis para determinação dos grupos críticos e não-críticos. Os dois grupos são classificados de acordo com estes ângulos (positivos ou negativos). O grupo com menor inércia é o grupo crítico.

Se o grupo crítico desacelera em relação ao COA, diz-se que este oscila “para trás”. Caso contrário, este oscila “para frente”.

Note que embora o método utilizado seja essencialmente o método SIME, este leva as vantagens das propriedades do método TEF.

### 3.2.3. Cálculo das Margens MW

Em [PER00] (páginas 88-91), a metodologia proposta para traduzir a margem de energia em margem MW é baseada em um regime de compensação do critério das áreas iguais, visto que a potência mecânica é alterada. Tem-se observado através de cálculos, que a maioria dos termos da compensação são desprezíveis, pois elas são função do quadrado do tempo de eliminação da falta (tipicamente alguns milissegundos). Dado também que existem outras aproximações nos cálculos das margens, o seguinte componente do regime de compensação é usado.

$$A_{mar} = \Delta P_m (\delta_u - \delta_0) \quad (3.35)$$

onde  $A_{mar}$  é a margem de energia,  $\delta_u$  é o ponto de equilíbrio instável,  $\delta_0$  é o ponto de operação inicial e  $\Delta P_m$  é a margem MW. Para casos estáveis com oscilação para frente/trás,  $\Delta P_m$  é o montante de potência que pode ser aumentado/diminuído no grupo crítico de modo que o sistema torna-se criticamente estável. Para casos instáveis com oscilação para frente/trás,  $\Delta P_m$  é o montante de potência que precisa ser diminuído/aumentado no grupo crítico, de modo que o sistema torna-se criticamente estável.

### 3.2.4. Cenários de Contingência

Uma aplicação útil da abordagem proposta são os cenários de contingência. Isto fica bem simplificado pela aproximação da característica da potência elétrica pela Equação (3.21). Note que a estimativa das impedâncias externas vista por cada gerador pode ser calculada usando poucos passos de tempo após a eliminação da falta. As tensões atrás da reatância transitória também são avaliadas. Dado que o excesso de energia que precisa ser absorvido (energia cinética) é também conhecido, o balanço de energia pode ser estimado antes das máquinas críticas atingirem o ângulo de retorno. Em termos práticos, a estimativa pode ser feita em poucos milissegundos após a eliminação da falta, que acelera significativamente a avaliação da segurança do ponto de vista de estabilidade transitória.

O principal problema deste cálculo é que o grupo crítico não é precisamente conhecido antes do ângulo de retorno. Entretanto, este pode ser estimado, por exemplo, usando uma técnica de agrupamento baseada nos deslocamentos do ângulo. Isto não foi feito no escopo deste trabalho. A implementação atual utiliza o balanço de energia individual do gerador. Mais precisamente, o balanço de energia é calculado para cada gerador como se este fosse o grupo crítico. Se ao menos um gerador apresentar uma pequena margem positiva ou negativa, a contingência é classificada como crítica. Esta abordagem foi gerada de observações que sempre que um caso apresente um grupo crítico com pequena margem de energia positiva ou negativa, um ou mais geradores no grupo também apresentam pequena margem positiva ou negativa.

Algumas observações sobre margens individuais:

- A margem de energia individual do gerador é potencialmente útil para definição da maioria das estratégias eficientes de despacho (melhoria da margem / mudança MW), mas isto não tem sido examinado em detalhes ainda;
- A relação quantitativa entre as margens de energia individual e limite do grupo MW até agora não foi identificada.

A estimativa de margem de energia, quando feita em poucos passos após a eliminação da falta, tende a ser conservativa (margem estimada menor que a margem real), porque não leva em conta o aumento da excitação da máquina síncrona. Entretanto, é possível classificar erroneamente um caso (por exemplo, como instável, quando de fato é estável, e vice-versa) porque as condições para instabilidade não podem ser testadas se a simulação é terminada prematuramente. Mas quando filtrado, não deve ser um problema.

### **3.3. ÍNDICES DE ESTABILIDADE**

Índices de segurança são muito úteis para análises de sistema de potência que exigem cálculo de grandes quantidades de contingências. Esses índices fornecem meios de avaliar absoluta e relativamente a segurança do sistema (pontos fortes e fracos). Em particular, eles são essenciais na avaliação do risco de segurança.

Índices de adequação podem ser facilmente calculados por avaliação estática (tipo fluxo de potência), mas índices de segurança são mais desafiadores devido à avaliação de estabilidade transitória. Tipicamente, os índices de estabilidade utilizados para avaliações de segurança são o tempo crítico de eliminação da falta (*critical clearing time* – CCT) ou a Margem MW. O CCT é basicamente o tempo máximo em que uma falta pode ser mantida sem causar perda de estabilidade do sistema. A Margem MW fornece a quantidade máxima de fluxo de potência que pode ser alterada (aumentada ou diminuída) em um elemento de transmissão sem causar perda de estabilidade do sistema.

Ambos os índices são úteis para avaliações de segurança quando interpretados e comparados com outras métricas similares. Por exemplo, uma margem de transferência de potência pode ser bem compreendida se considerado a capacidade de geração e os níveis de carga em ambos os lados de um elemento de transmissão, a direção do estresse e a capacidade nominal desse elemento. Se essas condições não são conhecidas, um valor de Margem MW será inútil.

O CCT pode ser interpretado independente do contexto operativo se for calculado em relação ao tempo esperado de eliminação da falta dos respectivos circuitos e níveis de tensão, mas novamente o CCT dependerá de uma direção particular de estresse do sistema.

Além disso, outra desvantagem desses índices é que eles exigem cálculos iterativos, por exemplo, busca binária, que é computacionalmente caro quando uma enorme quantidade de contingências deve ser simulada.

Portanto, para algumas análises do sistema de potência, em particular a avaliação do risco de segurança, é desejável calcular um índice de estabilidade transitória não iterativa, adimensional. Assim, para cada simulação de uma perturbação, o índice fornece a proximidade do sistema à instabilidade. Com base nesses simples requisitos, um novo índice de estabilidade transitória não iterativa e adimensional é então desenvolvido. Duas diferentes formas de calcular o índice são usadas dependendo se a margem de estabilidade é positiva ou negativa.

### **3.3.1. Índice de Margem Positiva**

O índice de margem positiva é baseado na proximidade das trajetórias angulares do gerador em atingir o limite de energia potencial [P89], i.e., pode ser interpretada como uma “medida



de distância” em relação à condição de instabilidade do sistema. É utilizada a abordagem SIME para identificar o grupo crítico e sua respectiva trajetória angular, como descrito nas seções anteriores. A Fig. 3.2, semelhante à Fig. 3.1, mostra as variáveis da trajetória do ângulo SIME utilizadas nos cálculos do índice de margem positiva ( $I_p$ ).

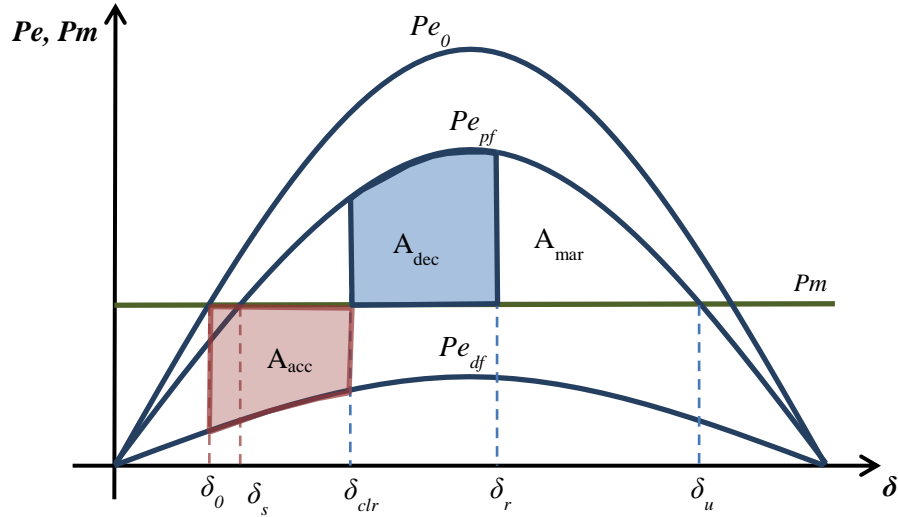


Fig. 3.2: Critério das áreas iguais baseado no método SIME.

O índice de margem positiva ( $I_p$ ) é dado por:

$$I_p = \frac{\delta_u - \delta_r}{\delta_u - \delta_s} \quad (3.36)$$

onde  $\delta_u$  é o ângulo SIME no ponto de equilíbrio instável,  $\delta_r$  é o ângulo de retorno e  $\delta_s$  é o ângulo no ponto de equilíbrio pós-falta. Essas variáveis são referidas à topologia do sistema pós-falta.

Percebe-se que este índice pode variar de “0” a “1”, onde “0” significa um caso criticamente estável ( $\delta_u = \delta_r$ ), quase instável e “1” significa um sistema muito estável ( $\delta_r = \delta_s$ ). Este índice é adimensional e tem o mesmo significado se o grupo crítico possui apenas um pequeno gerador ou toda uma zona elétrica.

A implementação é tal que o ângulo de retorno  $\delta_r$ , seja calculado para a maior trajetória de oscilação, não necessariamente a primeira.

### 3.3.2. Índice de Margem Negativa

O índice calculado pela Equação (3.36) é válido evidentemente somente para casos estáveis. Portanto, é necessário calcular um índice similar para casos instáveis. A escolha utilizada neste trabalho é a seguinte:

$$I_n = \frac{Vke_{min}}{Vke_{max}} \quad (3.37)$$

onde  $Vke_{min}$  é o valor da energia cinética mínima pós-falta da trajetória SIME e  $Vke_{max}$  é o valor da energia cinética máxima pós-falta da trajetória SIME. Note que esses valores de energia cinética são significativos apenas para um curto período após a eliminação da falta. Após a perda de estabilidade, o sistema ganhará energia cinética adicional que distorcerá o índice em questão. Portanto, é necessário encerrar a simulação (término antecipado) logo que é detectada instabilidade. Mais uma vez, instabilidade é detectada quando a trajetória cruza o limite de energia potencial [P89].

Este índice pode variar de “-1” a “0”, onde “0” significa uma condição criticamente instável, quase estável e “-1” uma condição altamente instável. Um caso criticamente instável pode normalmente ser classificado como estável por uma pequena mudança no despacho na geração. Isto é ilustrado na Fig. 3.3, onde a área de aceleração,  $A_{acc}$ , é levemente maior que a área de desaceleração,  $A_{dec}$ . Neste caso,  $Vke_{max}$  ocorre na eliminação da falta,  $\delta_{clr}$ , e  $Vke_{min}$  no ponto de equilíbrio instável,  $\delta_u$ . Um caso altamente instável está ilustrado na Fig. 3.4.

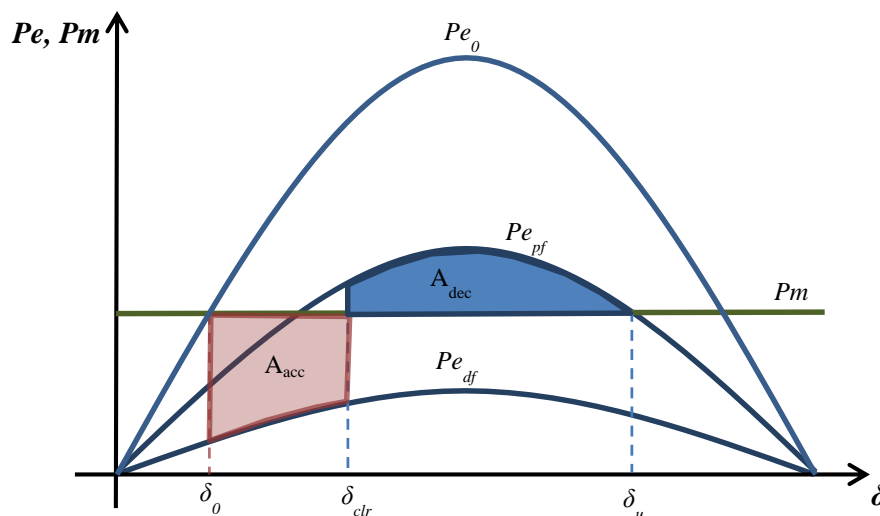


Fig. 3.3: Condição instável – área de aceleração levemente maior do que a área de desaceleração.

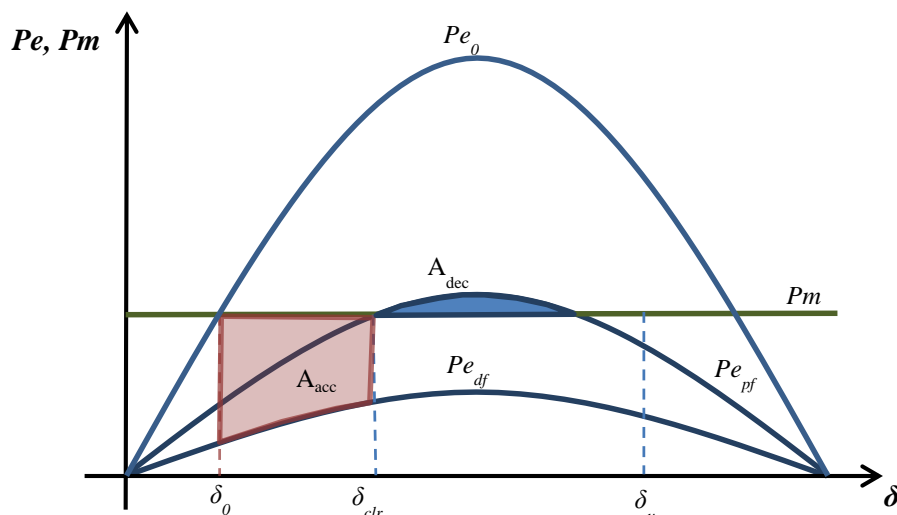


Fig. 3.4: Caso instável – área de aceleração muito maior do que a área de desaceleração.

### 3.3.3. Índice de Estabilidade Combinado

O índice de estabilidade final é a combinação de ambos os índices de margem positiva e negativa, i.e.,  $I_p$  e  $I_n$ , e este varia de “-1” a “1”. Alternativamente, este pode ser compensado e dimensionado para variar na faixa de “0” a “1”, onde o índice na faixa de  $[0;0,5)$  indica um caso estável e na faixa  $[0,5;1]$  indica um sistema instável. Este índice combinado é então utilizado neste trabalho, representando a estabilidade média (*Average Stability – AS*) calculada para cada subestação, denominado “Índice AS”, i.e., a soma de todos os índices de estabilidade combinados dividido pelo número de circuitos conectados a subestação sob análise.

Há outro índice que avalia apenas quando há instabilidade no sistema, denominado “Índice ANU”, representando o número médio de eventos instáveis (*Average Number of Unstable events – ANU*) na subestação dividida pelo número de circuitos conectados a ela.

### 3.3.4. Falta Monofásica

O critério de estabilidade baseia-se em qualquer falta trifásica a terra ou uma falta assimétrica. Neste último, é necessário aproximar o efeito do desequilíbrio de potência assimétrica na sequência positiva, que é tipicamente a única sequência representada nos estudos de estabilidade. A aproximação é realizada por cálculo de uma reatância equivalente que trará as tensões e correntes de sequência positiva a valores observados por uma falta assimétrica. O

processo é trabalhoso e não é adequado para avaliações automáticas de segurança. Portanto, é necessário elaborar métodos diretos e adequados para uma análise de contingência em larga escala.

Para faltas monofásicas, a tensão de sequência positiva na barra *defeituosa* (i.e., sob falta) cai para valores na faixa de “0,5” a “0,7” pu, dependendo dos valores de impedância da sequência. Baseado neste fato, uma aproximação simples de faltas monofásicas é feita pelo seguinte procedimento:

- i) Especificar o nível desejável da tensão de sequência positiva,  $V_f$  nas barras sob falta. O valor de “0,5” pu é usado neste trabalho;
- ii) Calcular o equivalente de Thévenin,  $Z_{th}$ , vista pela barra *defeituosa*;
- iii) O valor da reatância de falta,  $x_f$ , é então calculado através da seguinte equação de divisor de tensão:

$$V_f = \left| \frac{jx_f}{Z_{th} + jx_f} \right| \quad (3.38)$$

A impedância de Thévenin é calculada diretamente resolvendo a matriz Jacobiana das equações diferencial e algébrica representando o modelo dinâmico para uma injeção de corrente unitária na barra sob falta.

$$J^{-1}I = Z \quad (3.39)$$

onde  $J$  é a matriz Jacobiana,  $I$  é o vetor de injeção de corrente com “1” na linha da barra sob falta e “0” nas outras linhas e  $Z$  é o vetor impedância vista da barra de falta. No vetor  $Z$ ,  $Z_{th}$  é o valor de impedância na linha da barra sob falta.

A implementação deste cálculo é bastante simples quando o método de integração numérica resolve todas as equações (algébrica e diferencial) simultaneamente. Neste caso, a matriz Jacobiana já está disponível em todo passo de tempo.

Outros tipos de faltas assimétricas podem ser calculados pelo mesmo procedimento, mas especificando o nível de tensão de sequência positiva,  $V_f$ , com valores típicos para cada tipo de falta.

### 3.3.5. Considerações Finais

As duas técnicas desenvolvidas neste trabalho realiza a automatização da classificação baseada em estabilidade. Os índices de estabilidade são adimensionais e fornecem informações relativamente precisas para classificação de contingência e análise estatística. Porém, como qualquer outro índice de estabilidade, não é uma medida de estabilidade absoluta, pois pode mudar significativamente com a condição operativa.

O procedimento automático para imitar o efeito de faltas assimétricas no domínio da sequência positiva é essencial para automatizar o processo se o critério de estabilidade é baseado em faltas assimétricas.

## 3.4. ALGORITMO COMPUTACIONAL

Os conceitos apresentados nas seções anteriores são utilizados para elaborar o algoritmo computacional para a metodologia proposta de classificação dinâmica de subestações e está ilustrada na Fig. 3.5. Primeiro, a base de dados contendo as informações elétricas da rede é carregada usando um arquivo de entrada (.raw). Em seguida, uma solução do caso base é obtida usando um programa de fluxo de potência DC considerando perdas no sistema. A ocorrência de sobrecargas nos circuitos é verificada para o caso base. Se qualquer sobrecarga for detectada, então o caso base deve ser ajustado, a fim de prosseguir com a análise. Note que não há sentido em continuar com a metodologia de classificação de subestações, se o caso base apresenta sobrecargas.

Se sobrecargas não forem detectadas para o caso base, então a análise de classificação de estabilidade transitória começa aplicando um evento dinâmico padronizado no qual uma linha de transmissão “ $j$ ” de uma subestação “ $k$ ” está sujeita a um curto-circuito seguido pela remoção desta linha. O programa nomeado FASTAB, que é integrado ao pacote do *software* ORGANON, é então executado neste estágio para calcular os índices de estabilidade que medem o impacto deste evento na subestação da rede. Um novo evento associado à outra

linha conectada a mesma subestação é então analisado pela mesma ferramenta, até que todas as linhas desta barra sejam consideradas. Este procedimento é repetido para todas as subestações/nós remanescentes do sistema e a ferramenta SRANK Dinâmico redimensiona os índices apresentados pelo FASTAB e imprime os relatórios de saída, contendo a lista de classificação dinâmica, terminando assim esta análise.

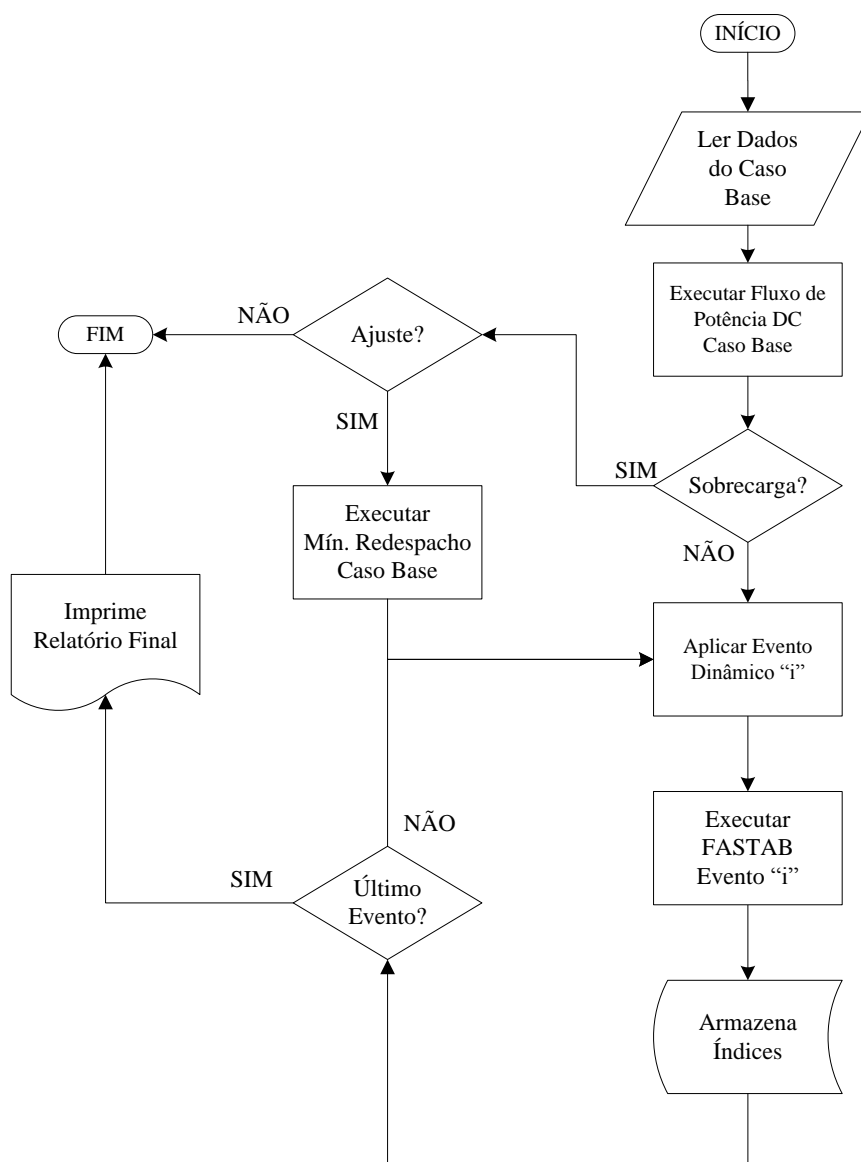


Fig. 3.5: Fluxograma simplificado da metodologia proposta de classificação dinâmica de subestação.

### 3.5. ORGANON

Para a classificação das subestações quanto ao seu desempenho dinâmico (estabilidade transitória) é utilizado o *software* ORGANON, mais precisamente uma ferramenta acoplada a este, denominada FASTAB, a qual realiza o cálculo dos índices de estabilidade. O ORGANON é um programa computacional para análise e avaliação de segurança de sistemas elétricos de potência [SSAB11]. A grande vantagem desta ferramenta é a sua capacidade de avaliação automática e simultânea do comportamento dinâmico do sistema em diferentes condições de carga, geração e topologia da rede, sem recorrer à necessidade de inspeção visual, otimizando o tempo e possibilitando a exploração de um maior número de cenários. Uma breve descrição das características desta poderosa ferramenta [PSPQ11] é apresentada a seguir.

O ORGANON é um sistema de avaliação da segurança de sistemas de potência aplicado tanto a problemas de natureza estática (*Voltage Stability Assessment - VSA*), quanto de natureza dinâmica (*Dynamic Security Assessment - DSA*). Este *software* emprega computação de alto desempenho e algoritmos com grande robustez numérica, possibilitando uma modelagem detalhada da rede elétrica em ambiente de processamento distribuído. O programa contém módulos para cálculo de fluxo de potência, fluxo de potência continuado, simulação eletromecânica e rotinas de diagnóstico automático para detecção de instabilidade e verificação de critérios.

Na análise dinâmica, o ORGANON oferece várias opções para se realizar um diagnóstico de estabilidade, feita através de inspeção visual, utilizando curvas e tabelas, ou ainda pelo método quantitativo, com base em conceitos de funções de energia e produto interno.

A simulação eletromecânica é implementada considerando a solução simultânea da rede elétrica e da dinâmica do sistema, resultando em um sistema de equações diferenciais e algébricas de difícil integração numérica (*stiffness*), que requer a adoção de métodos de solução com rápida atenuação de oscilações numéricas. O programa utiliza um método de integração "preditor-corretor", resultante da combinação dos métodos "*Linear Multistep - LM*" do tipo "*Adams-Bashforth-Moulton - ABM*" e "*Backward Differentiation Formulae - BDF*", com ordem variando de 1 a 2 e passo de integração variando de 0,0001s a 40s.

O sistema pode ser utilizado tanto para tarefas simples, quanto para cálculos mais complexos como na obtenção de uma região de segurança dinâmica em ambiente de tempo real, atualizando os resultados de forma automática e em intervalos de tempo predefinidos através do processamento distribuído. Essa flexibilidade possibilita uma maior integração entre as equipes de estudos de planejamento e programação da operação com as de operação em tempo real.

### **3.6. EXEMPLOS NUMÉRICOS**

Nesta seção, a metodologia proposta (análise dinâmica) é testada utilizando alguns sistemas acadêmicos. O principal objetivo é ilustrar o processo de classificação dinâmica de subestações, que está descrito nas seções anteriores. Para este fim, dois sistemas são usados: (i) o sistema teste 9-Barras; e (ii) o sistema *Brazilian Birds*. Os eventos usados para esta avaliação consistem de um curto-circuito trifásico, admitância associada de 10.000 pu e tempo de exposição a falta de 300 milissegundos para o sistema 9-Barras e entre 100 e 400 milissegundos para o sistema BB. Em cada caso, os resultados obtidos são discutidos em detalhes e alguns índices são selecionados e usados como exemplos explicativos para proporcionar uma visão mais aprofundada da metodologia proposta.

#### **3.6.1. Sistema 9-Barras**

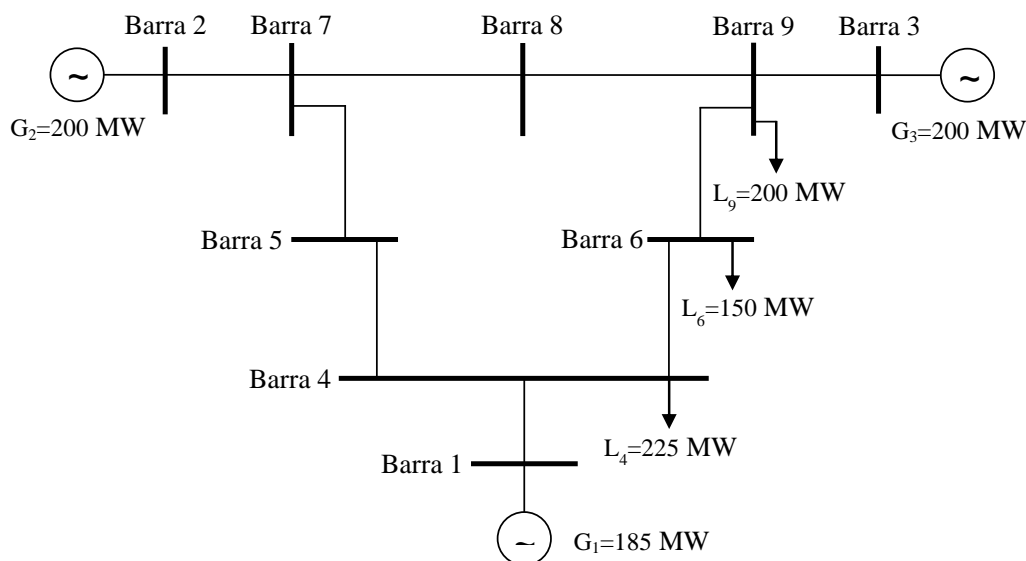
Esta rede de “9 barras, 6 ramos e 3 unidades geradoras” é baseada no sistema teste apresentado em [AF03]. A Fig. 3.6 mostra o diagrama unifilar deste sistema. As principais mudanças em relação ao sistema original proposto são o aumento das impedâncias nas linhas de transmissão, posição e aumento das cargas e o conseqüente aumento no despacho da geração. O Apêndice A.1 mostra os dados do sistema no formato da versão PSS/E31, utilizadas no programa da PTI (Siemens).

Um sistema elétrico de potência simples, com três geradores, ajuda na compreensão e análise dos principais fenômenos dinâmicos.

O gerador na Barra 1 é representado por uma máquina de polos salientes com turbina e regulador hidráulico e uma excitação de tensão de fonte estática. Os geradores nas barras 2 e 3 são representados por máquinas síncronas de rotor bobinado, turbina a gás, reguladores de



tensão de fonte estática e estabilizadores de sistema de potência (*Power System Stabilizer - PSS*) baseado na potência acelerante.



**Fig. 3.6: Diagrama unifilar do sistema 9-barras/3-geradores.**

A Tabela 3.1 mostra os índices de desempenho de subestação obtidos através da análise de estabilidade transitória do sistema 9-Barras. A coluna “Índice AS”, na tabela, representa a estabilidade média calculada para cada subestação e a coluna “Índice ANU” representa o número médio de eventos instáveis. Portanto, pode ser visto que a Subestação 7 é a única que sofreu eventos instáveis e este evento ocorreu em apenas uma linha de transmissão. Note que as subestações 7, 4, 9, 6 e 5 apresentam índices AS, pois elas estão sujeitas à perda de geração se um ou mais circuitos forem desconectados.

TABELA 3.1 – ÍNDICES DE DESEMPENHO DE SUBESTAÇÃO PARA O SISTEMA 9-BARRAS: ESTABILIDADE TRANSITÓRIA

Barra	Contingência	Índice AS	Índice ANU
7	(N-1)	0,2130	0,3333
4	(N-1)	0,1633	0
9	(N-1)	0,1165	0
6	(N-1)	0,0465	0
5	(N-1)	0,0182	0
3	(N-1)	0	0
1	(N-1)	0	0
2	(N-1)	0	0
8	(N-1)	0	0

### 3.6.2. Sistema *Brazilian Birds*

O sistema *Brazilian Birds* (BB) consiste de duas áreas de 230 kV interconectadas por linhas de transmissão de 440 kV. O sistema tem 43 barras, 21 linhas e 19 transformadores. Além disso, o sistema tem unidades geradoras em quatro barramentos: 5 unidades de 100 MW na barra Canário, 4 unidades de 75 MW na barra Sabiá, 5 unidades de 115 MW na barra Tucano e 4 unidades de 158 MW na barra Gavião. A carga total do sistema BB é de 1200 MW.

A Fig. 3.7 mostra o diagrama unifilar do sistema cujos dados do sistema e eventos dinâmicos estão descritos nos Apêndices A.2 (Caso 1) e A.3 (Caso 2) no formato da versão PSS/E31, utilizadas no programa da PTI (Siemens). Como na análise estática, dois casos de despacho de geração são considerados, como descrito na Seção 2.8.2.

A Tabela 3.2 apresenta os índices dinâmicos das subestações do sistema BB – Caso 1. Para este resultado, um curto-circuito trifásico, admitância associada de 10.000 pu e tempo de exposição ao curto de 100 milissegundos são considerados. A fim de reduzir o tamanho da tabela, apenas as vinte e cinco barras mais críticas do sistema são mostradas. A lista de classificação completa deste caso é apresentada no Apêndice B.1.

Neste resultado, não há eventos de instabilidade angular, uma vez que a coluna “Índice ANU”, na tabela, está toda preenchida com zeros. Porém, as barras 222 (Arara), 100 (Canário) e 231 (Pelicano) representam os nós mais críticos deste sistema observando os índices AS. Note que os balanços de potência nas duas áreas (esquerdo = 1 e direito = 2) são:  $Area_1 \rightarrow G_1 = 557,2 / L_1 = 710,0$  e  $Area_2 \rightarrow G_2 = 700,0 / L_2 = 490,0$ . Portanto, a instabilidade no sistema ocorrerá através do aumento do tempo de exposição dos curtos-circuitos trifásicos.

A Tabela 3.2 também mostra duas variações do Caso 1, quando os tempos de exposição ao curto-circuito são aumentados para 200ms (Caso 1.a) e 400ms (Caso 1.b). Observe que a Barra 100 (Canário) torna-se mais crítica no Caso 1.a com ANU = 0,75. Este índice indica que 75% das linhas (três das quatro) conectadas a esta barra e removidas após ser submetida às faltas definidas anteriormente, mostraram problemas de instabilidade transitória. Pode ser observado que as barras 150 (Tiziu) e 200 (Tucano) começam a aumentar seu nível crítico, indicado por seu associado índice AS.

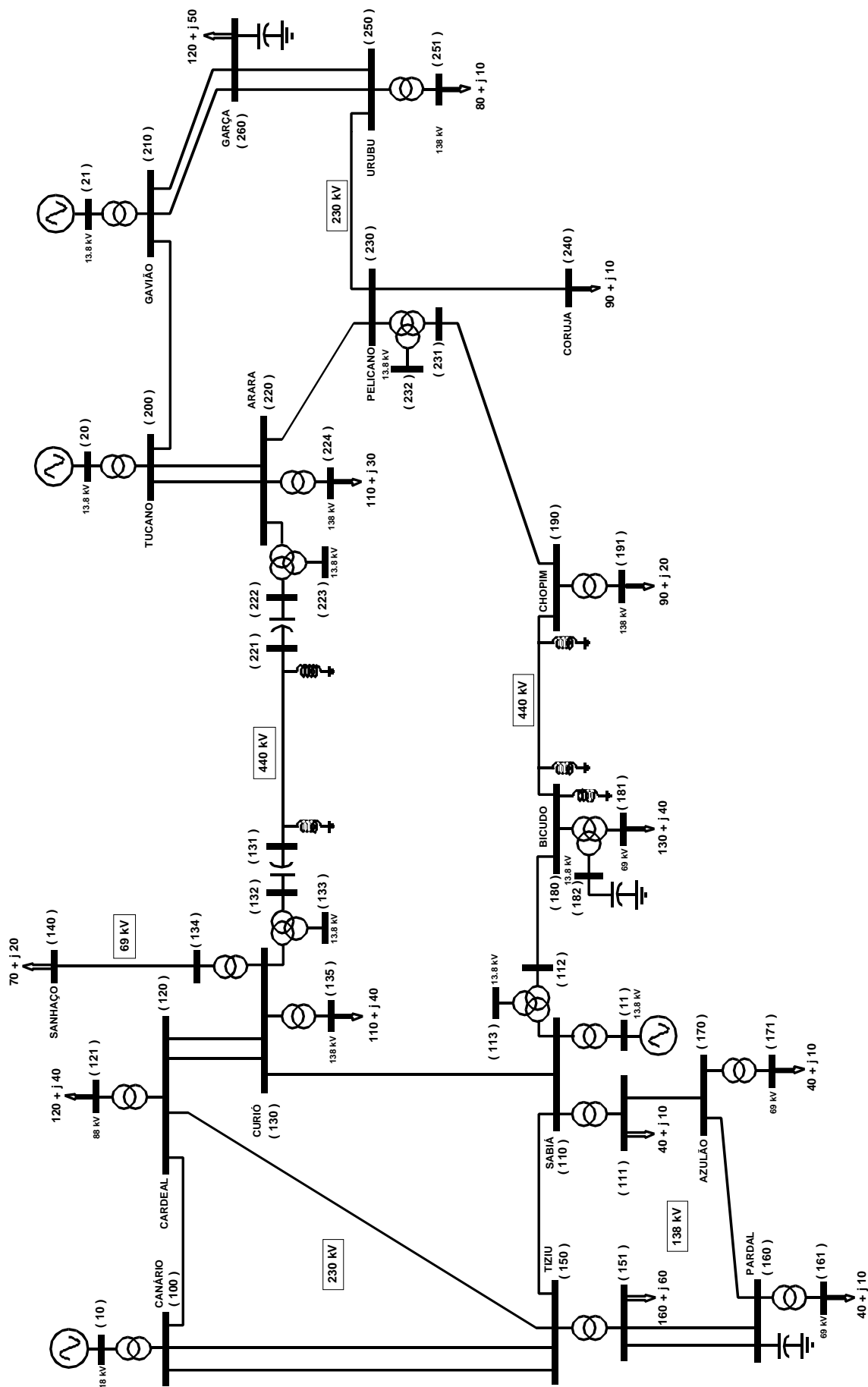


Fig. 3.7: Sistema *Brazilian Birds*.

TABELA 3.2 – ÍNDICES DE DESEMPENHO DE SUBESTAÇÃO PARA O *BRAZILIAN BIRDS* (CASOS 1, 1.A E 1.B):  
ESTABILIDADE TRANSITÓRIA

Caso 1 (100ms)			Caso 1.a (200ms)			Caso 1.b (400ms)		
Barra	Índice AS	Índice ANU	Barra	Índice AS	Índice ANU	Barra	Índice AS	Índice ANU
222	0,1610	0	100	0,5229	0,750	150	0,6253	1,000
100	0,1511	0	222	0,1985	0	100	0,7795	0,750
1220	0,1080	0	221	0,1502	0	200	0,6495	0,750
231	0,1055	0	1220	0,1412	0	120	0,3363	0,200
10	0,1025	0	231	0,1410	0	11	0,2845	0
1230	0,0920	0	11	0,1370	0	110	0,2810	0
131	0,0917	0	131	0,1362	0	151	0,2008	0
221	0,0842	0	1230	0,1223	0	131	0,1990	0
11	0,0710	0	150	0,1203	0	231	0,1970	0
132	0,0595	0	10	0,1180	0	130	0,1890	0
150	0,0579	0	120	0,1152	0	1230	0,1888	0
110	0,0572	0	110	0,1140	0	210	0,1801	0
200	0,0534	0	200	0,1124	0	190	0,1363	0
120	0,0518	0	151	0,0912	0	111	0,1265	0
230	0,0475	0	132	0,0910	0	121	0,1265	0
190	0,0463	0	190	0,0765	0	160	0,1209	0
151	0,0437	0	130	0,0751	0	10	0,1120	0
1130	0,0428	0	1130	0,0740	0	180	0,1105	0
220	0,0332	0	111	0,0680	0	170	0,1032	0
130	0,0331	0	230	0,0644	0	113	0,0995	0
111	0,0328	0	121	0,0605	0	1110	0,0978	0
210	0,0305	0	160	0,0587	0	161	0,0965	0
1110	0,0292	0	170	0,0547	0	221	0,0953	0
121	0,0290	0	161	0,0540	0	112	0,0917	0
160	0,0289	0	180	0,0520	0	171	0,0700	0

Aumentando o tempo de exposição para 400ms (Caso 1.b), haverá vários eventos simulados com instabilidade angular, que pode ser observado pela coluna “Índice ANU” da Tabela 3.2 (Caso 1.b). Embora este tempo de exposição seja incomum, a proposta é estressar a estabilidade do sistema BB para ilustrar a resposta do processo de classificação proposto. Como mostrado na Tabela 3.2 (Caso 1.b), as barras 150 (Tiziu), 100 (Canário), 200 (Tucano) e 120 (Cardeal) apresentam problemas de instabilidade que não são observados no Caso 1. Essas barras tornaram-se muito mais críticas do ponto de vista de estabilidade transitória. Note que a Subestação Tiziu (Barra 150) tem um índice ANU igual a 1, que significa que 100% dos circuitos conectados a esta barra mostraram problemas de estabilidade transitória, apresentando como a subestação mais crítica para as condições preestabelecidas do sistema

(i.e., despacho de geração e evento de curto-circuito). Todos esses casos de estabilidade/instabilidade foram verificados através de simulações individuais no tempo usando programas padrões de estabilidade transitória.

Mais dois casos são analisados pela ferramenta SRANK Dinâmico, considerando o Caso 2 (Tabela 2.5 – Casos Analisados do Sistema *Brazilian Birds*) em que as unidades geradoras de Gavião têm seu despacho de potência aumentado em 200 MW, de modo a compensar as diminuições de geração nas barras Canário e Sabiá. Observe que os balanços de potência nas duas áreas são:  $Area_1 \rightarrow G_1 = 381,9 / L_1 = 710,0$  e  $Area_2 \rightarrow G_2 = 900,0 / L_2 = 490,0$ . A  $Area_1$  é agora muito dependente da geração na  $Area_2$  e, conseqüentemente, das linhas de transmissão de 440 kV. A fim de reduzir o tamanho da tabela, apenas as vinte e cinco barras mais críticas do sistema são mostradas. A lista de classificação completa deste caso é apresentada no Apêndice B.2.

No Caso 2, um tempo de exposição ao curto-circuito trifásico de 100 milissegundos e uma admitância associada de 10.000 pu são considerados. A Tabela 3.3 mostra os índices AS e ANU das subestações considerando a análise transitória do sistema BB. A maioria das subestações classificadas no topo da lista estão eletricamente próximas às interconexões (i.e., 222, 221, 231, etc.). Isto indica sua importância, uma vez que a remoção das linhas de conexão associadas pode representar perda de sincronismo entre as duas áreas.

No Caso 2.a, é considerado um tempo de exposição ao curto-circuito de 200 ms. Aumentando o tempo de exposição do curto-circuito de 100 ms para 200 ms, pode ser observado que algumas barras próximas às linhas de interconexão estão classificadas no topo da lista, mais as barras 100 (Canário), 210 (Gavião), 230 (Pelicano), 220 (Arara) e 130 (Curió), que também apresentam alguns problemas de instabilidade, principalmente devido à magnitude da perturbação.

TABELA 3.3 – ÍNDICES DE DESEMPENHO DE SUBESTAÇÃO PARA O *BRAZILIAN BIRDS* (CASOS 2, 2.A): ESTABILIDADE TRANSITÓRIA

Caso 2 (100ms)			Caso 2.a (200ms)		
Barra	Índice AS	Índice ANU	Barra	Índice AS	Índice ANU
222	0,7840	1,0000	222	0,7590	1,0000
221	0,7537	1,0000	221	0,7530	1,0000
231	0,6590	1,0000	231	0,6955	1,0000
1220	0,5460	0,6667	131	0,6318	1,0000
1230	0,5310	0,6667	132	0,5212	1,0000
131	0,5797	0,5000	1220	0,5475	0,6667
190	0,2575	0,3333	1230	0,5442	0,6667
230	0,2739	0,2500	1130	0,3710	0,6667
220	0,2554	0,2000	190	0,3203	0,3333
132	0,4235	0	100	0,4387	0,2500
10	0,3015	0	210	0,4036	0,2500
1130	0,3007	0	230	0,2294	0,2500
210	0,1996	0	220	0,3391	0,2000
100	0,1623	0	130	0,1079	0,1429
250	0,1318	0	10	0,3300	0
260	0,1050	0	250	0,2051	0
180	0,0743	0	260	0,1913	0
110	0,0659	0	20	0,1815	0
130	0,0639	0	110	0,1308	0
20	0,0545	0	150	0,1232	0
223	0,0430	0	200	0,1228	0
150	0,0408	0	151	0,0977	0
111	0,0400	0	120	0,0967	0
120	0,0355	0	180	0,0943	0
133	0,0340	0	111	0,0838	0

A Fig. 3.8 mostra as cinco barras/subestações mais bem classificadas para a rede *Brazilian Birds* avaliada pela ferramenta SRANK Dinâmico. As barras representam em escala os índices AS das tabelas 3.2 (Caso 1) e 3.3 (Caso 2). Do ponto de vista de estabilidade transitória, está clara a relevância das barras de interconexão de 440 kV, i.e., 222, 221 (Arara) e 231 (Pelicano), apenas quando o despacho desta área é aumentado (i.e., Caso 2).

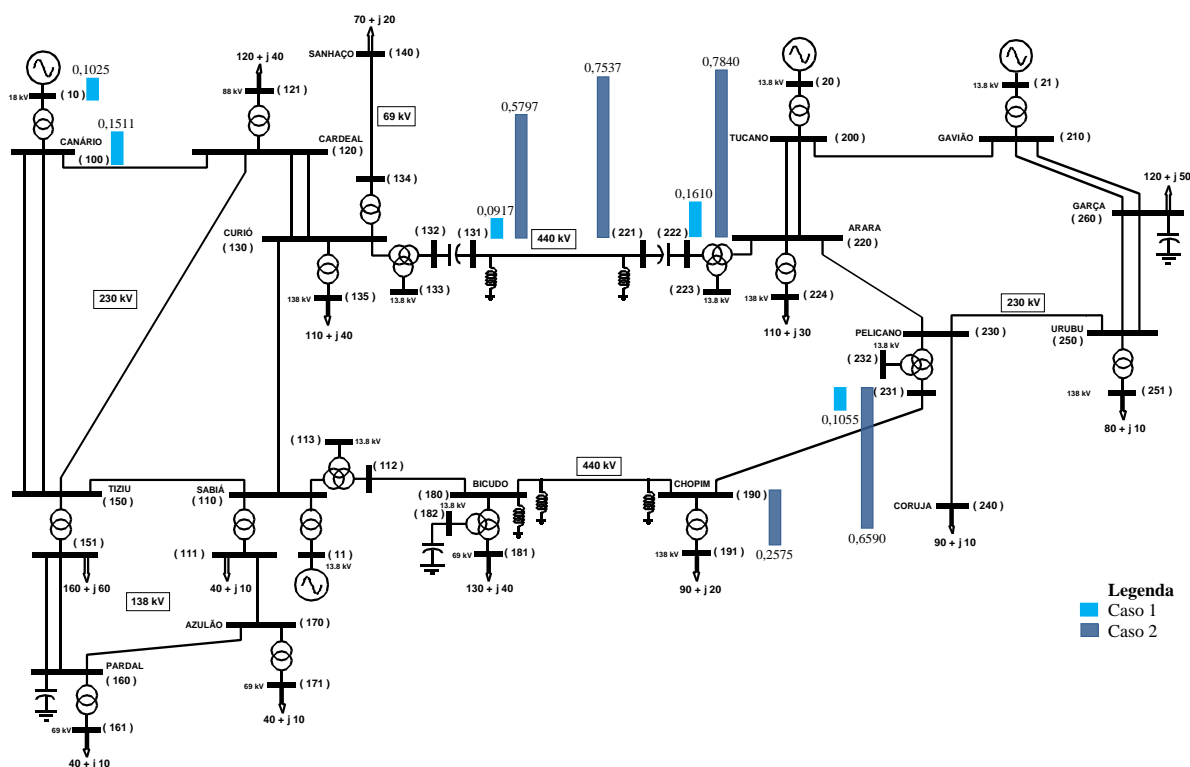


Fig. 3.8: Sistema *Brazilian Birds* – barras mais bem classificadas para os casos 1 e 2 (análise dinâmica).

### 3.7. COMENTÁRIOS FINAIS

Neste capítulo foi apresentada uma nova metodologia determinística de classificação de subestações, do ponto de vista dinâmico (estabilidade transitória), oferecendo uma lista consistente de classificação de subestações. O evento padrão é a aplicação de um curto-circuito nos circuitos ao redor da subestação e são executadas simulações no domínio do tempo para cada um desses eventos, assim obtendo um conjunto de índices que são usados para classificar as subestações do sistema elétrico de potência.

Dois sistemas acadêmicos foram usados: os sistemas 9-Barras e o *Brazilian Birds*. Em ambos os casos, a metodologia proposta foi executada com sucesso e forneceu resultados de classificação consistentes. O sistema 9-Barras confirmou o bom desempenho da metodologia proposta. Já na análise de estabilidade transitória com o sistema BB, é importante notar que as linhas de interligação (e as correspondentes subestações) são os pontos mais frágeis desse sistema, uma vez que limita a capacidade de transmissão entre as duas principais áreas geradoras. Além disso, perdas na geração não afetam drasticamente o desempenho dinâmico do sistema, desde que as unidades geradoras remanescentes na rede sejam suficientes para

atender toda a demanda de potência, mesmo considerando eventos classificados como grandes perturbações.

Como era de se esperar, a ferramenta respondeu com sucesso ao classificar as subestações, apontando que dependendo do despacho, magnitude da perturbação e conectividade da rede, tais fatores impactarão sobre os resultados de classificação obtidos. Evidentemente, todos os parâmetros envolvidos nas análises estática e dinâmica afetarão também os resultados. Para ilustrar o tempo de processamento, a ferramenta gastou aproximadamente 17,26 segundos (Intel Core 2 Quad Q8400, 2,66 GHz) para classificar o sistema BB (Caso 1.a).

Portanto, os resultados obtidos e o desempenho computacional do programa demonstram o potencial desta ferramenta em aplicações em redes elétricas reais. Como na análise estática, uma avaliação utilizando esta ferramenta em sistemas reais foi realizada para o equivalente da rede da Hydro One, Ontario [LJML13].



# CAPÍTULO 4

## CLASSIFICAÇÃO DE SUBESTAÇÕES

### CONSIDERANDO INCERTEZAS NA CARGA

#### 4.1. INTRODUÇÃO

NO presente capítulo, uma nova metodologia para uma classificação probabilística de subestações, baseada em índices de risco e avaliados através de Simulação Monte Carlo (SMC) é introduzida e testada, incluindo os principais conceitos, características e resultados. O principal objetivo deste capítulo é obter novas listas de classificação de barramentos considerando vários cenários de carga modelados através de incertezas e os correspondentes despachos de geração. Logo, são obtidas novas listas classificação, tanto estática, quanto dinâmica para cada subestação, e estas comparadas com as listas obtidas nos capítulos anteriores.

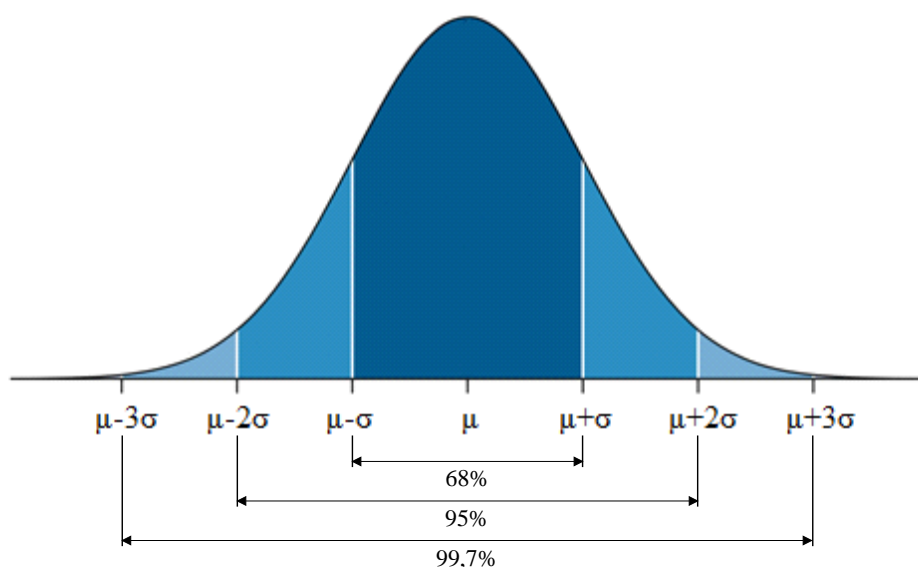
Por fim, a nova metodologia de classificação avaliada através de SMC é testada e validada usando alguns sistemas acadêmicos. O principal objetivo é descrever e ilustrar este novo processo de classificação. Para esta finalidade, o sistema *Brazilian Birds* é avaliado em três diferentes configurações: (i) o sistema *Brazilian Birds* analisados nos capítulos anteriores, considerando dois pontos diferentes de operação (Casos 1 e 2); e também (ii) uma versão alternativa deste sistema, incluindo fontes eólicas de energia. Em cada caso, os resultados obtidos são amplamente discutidos de modo a assegurar a consistência da metodologia proposta.

#### 4.2. METODOLOGIA APLICADA

##### 4.2.1. Incertezas na Carga

As incertezas nas cargas do sistema são modeladas segundo uma curva Gaussiana (distribuição normal), sendo as médias ( $\mu$ ) as potências utilizadas nos Casos Bases do sistema e desvio padrão ( $\sigma$ ) de 5% e 10% são considerados nos estudos. Esta curva se caracteriza por

ter um formato de sino, simétrica em torno da sua média e é assintótica [BA92, BA96]. A Fig. 4.1 ilustra uma curva Gaussiana de média  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$ .



**Fig. 4.1: Curva Gaussiana.**

Pela Fig. 4.1 constata-se que em torno de 68% das variáveis sorteadas aleatoriamente está a um desvio da média e aproximadamente 99,7% dessas variáveis está a três vezes o desvio padrão da média. Portanto, a probabilidade de um número sorteado aleatoriamente cair longe de sua média é bem pequena e além de três vezes de seu desvio padrão, impossível.

Essas variações na potência são executadas através de um gerador de números aleatórios, segundo uma distribuição Gaussiana de média zero ( $\mu=0$ ) e desvio padrão igual a um ( $\sigma=1$ ). Nesta dissertação, além de considerar incertezas na potência ativa, também é analisado o impacto de incertezas na parcela reativa das cargas.

Então, considerando as potências ativas das cargas do “Caso Base” como a média,  $P_{\mu}$ , e desvio padrão  $\sigma$ , as potências das cargas considerando incertezas podem ser calculadas como segue,

$$P_i = P_{\mu_i} + \sigma \times N(0,1) \quad (4.1)$$

em que  $i$  representa a carga do sistema na Barra  $i$  e  $N(0,1)$  é o gerador de números aleatórios segundo uma distribuição normal padrão (média zero e desvio padrão igual a um). Quando o

estudo considerar incertezas também na parcela reativa das cargas, é assumido um fator nesta parcela, correlacionando-a com a incerteza aplicada na parcela ativa,  $P_i$ , i.e.:

$$Q_i = \frac{P_i}{P_{\mu_i}} \times Q_{\mu_i} \quad (4.2)$$

em que  $i$  representa a carga do sistema da Barra  $i$ ,  $Q_{\mu}$  é a potência reativa das cargas no “Caso Base”. Este fator nada mais é do que transpor a mesma incerteza da potência ativa de cada carga  $i$  para a sua respectiva parcela reativa.

Na metodologia proposta, estas incertezas podem ser correlacionadas, i.e., em que a mesma variável sorteada aleatoriamente para uma carga  $i$  é relacionada para as cargas restantes do sistema, ou independentes, em que para cada carga é sorteada uma variável aleatória. A cada cenário, novas potências das cargas são obtidas e o código avança para o próximo estágio, o chamado Despacho Proporcional, para obter os novos despachos de cada máquina frente às novas cargas.

#### **4.2.2. Despacho Proporcional**

A fim de não *descharacterizar* a barra *swing* com toda a variação sofrida na potência das cargas, é proposto um algoritmo de despacho denominado “Despacho Proporcional”.

O despacho original contido no arquivo de entrada não é utilizado, sendo substituído pelo despacho obtido pelo algoritmo de despacho proporcional. Este consiste em um novo conjunto de valores de geração para todas as barras do sistema.

O despacho é dito proporcional porque os geradores são despachados de forma proporcional à variação da potência das cargas. Na metodologia proposta, são aplicados dois tipos de despacho: despacho proporcional pela folga dos geradores e despacho proporcional pela geração atual. A escolha do tipo de despacho depende se a variação total das cargas do sistema for positiva ou negativa.

O algoritmo computacional para este despacho proposto é descrito abaixo, em detalhes, e é ilustrado num fluxograma simplificado na Fig. 4.3:

- i) Calcule o despacho total no “Caso Base”,  $P_G^0$ , i.e., o somatório de toda a geração do sistema operando sob uma determinada carga,  $P_L^0$ . Vale ressaltar que este despacho inicial provém de um fluxo AC convergido;
- ii) Calcule as perdas do sistema para o “Caso Base”, i.e., a diferença da potência total despachada,  $P_G^0$ , menos a potência total das cargas no sistema,  $P_L^0$ ,

$$P_{loss} = P_G^0 - P_L^0 \quad (4.3)$$

- iii) Calcule a potência total das cargas considerando incertezas,  $P_L'$ , i.e., o somatório de todas as cargas do sistema considerando as variações nas mesmas;
- iv) Calcule a diferença entre as potências das cargas com incertezas e do “Caso Base”, ou seja,

$$\Delta P_L = P_L' - P_L^0 \quad (4.4)$$

Se  $\Delta L > 0$ , vá para o passo 5 e se  $\Delta L < 0$  vá para o passo 8. Se diferença for nula, não há qualquer despacho proporcional a ser realizado e o processo termina;

- v) Calcule um fator de perdas,  $ft^l$ , utilizada no cálculo da folga das máquinas da barra *swing*, que nada mais é que um fator de segurança para que este novo despacho não viole a capacidade máxima de geração quando estimar as novas perdas no sistema,

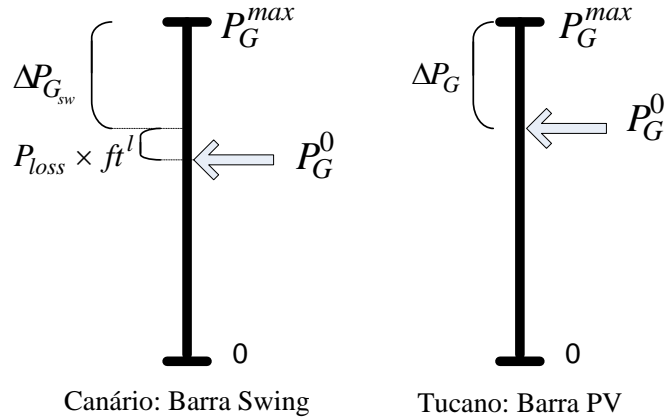
$$ft^l = \left( \frac{P_L'}{P_L^0} \right)^2 \quad (4.5)$$

- vi) Calcule a folga de todos os geradores ( $\Delta P_G$ ), i.e., a potência disponível em cada gerador. A Equação (4.6) é válida para todos os geradores, exceto para a barra *swing*, em que esta equação é acrescida pelo fator de perdas calculada no passo 5, para que esta barra tenha menos folga e assim, assumindo menos potência ativa, em decorrência das incertezas das cargas e é representada pela Equação (4.7);

$$\Delta P_{G_i} = P_{G_i}^{max} - P_{G_i}^0 \quad (4.6)$$

$$\Delta P_{G_{sw}} = P_{G_{sw}}^{max} - \left( P_{G_{sw}}^0 + P_{loss} \times ft^l \right) \quad (4.7)$$

A Fig. 4.2 mostra um exemplo ilustrativo do cálculo das folgas para as barras Canário (Barra Swing) e Tucano (Barra PV) do sistema *Brazilian Birds*;



**Fig. 4.2: Despacho proporcional: barras 10 (Canário) e 20 (Tucano).**

- vii) Calcule a folga total dos geradores conforme a Equação (4.8), ou seja, o somatório das potências disponíveis em todos os geradores e aplique o despacho proporcional pela folga para todas as máquinas segundo a Equação (4.9),

$$\Delta P_{G_{TOTAL}} = \sum_{i \in G} \Delta P_{G_i} \quad (4.8)$$

$$P'_{G_i} = P_{G_i}^0 + \frac{\Delta P_{G_i} \times \Delta P_L}{\Delta P_{G_{TOTAL}}} \quad (4.9)$$

em que  $i$  representa cada máquina do sistema e  $G$  o grupo que contém todas as máquinas. E o processo de despacho proporcional pela folga dos geradores termina.

- viii) Aplique o Despacho Proporcional pela geração atual, conforme Equação (4.10),

$$P'_{G_i} = P_{G_i}^0 - \frac{P_{G_i}^0 \times \Delta P_L}{P_G^0} \quad (4.10)$$

onde  $i$  é cada máquina do sistema. E o algoritmo de despacho proporcional pela geração atual termina. Após a finalização do algoritmo de despacho proporcional, é executado um fluxo de potência AC a fim de se determinar as novas perdas do sistema, conseqüentemente o novo despacho na barra *swing*, e ainda é verificado se há sobrecargas no sistema considerando o novo ponto de operação.

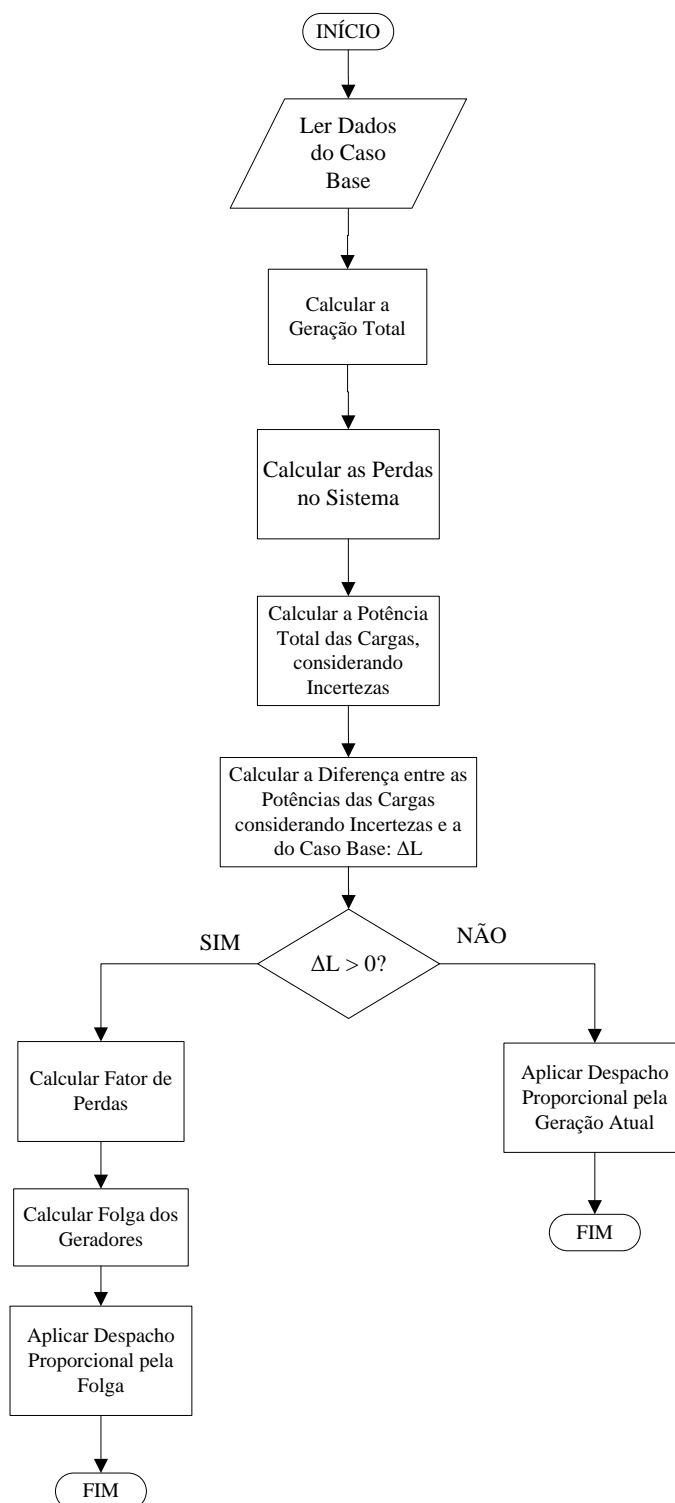


Fig. 4.3: Fluxograma simplificado do Despacho Proporcional.

### 4.2.3. Simulação Monte Carlo Não-Sequencial

Os índices de risco são avaliados através de Simulação Monte Carlo Não-Sequencial [BA92], que mede a *criticidade* das subestações baseada nos desempenhos estático e dinâmico. Este método tem sido bastante utilizado devido à sua flexibilidade e fácil implementação computacional.

Os índices podem ser estimados como a média de  $N$  valores de uma função teste  $F(x_i)$ , considerando cada estado amostrado do sistema  $x_i$ , i.e.:

$$\tilde{E}[F(X)] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F(x_i) \quad (4.11)$$

Nas análises estática e dinâmica, os índices representados na função teste  $F$  são os índices SPI e AS, respectivamente. A incerteza da estimativa é dada pela variância do estimador, representado por,

$$V\{\tilde{E}[F(X)]\} = \frac{V[F(X)]}{N} \quad (4.12)$$

sendo:

$$V[F(X)] = \frac{\sum_{i=1}^N [F(x_i)]^2 - N\{\tilde{E}[F(X)]\}^2}{N-1} \quad (4.13)$$

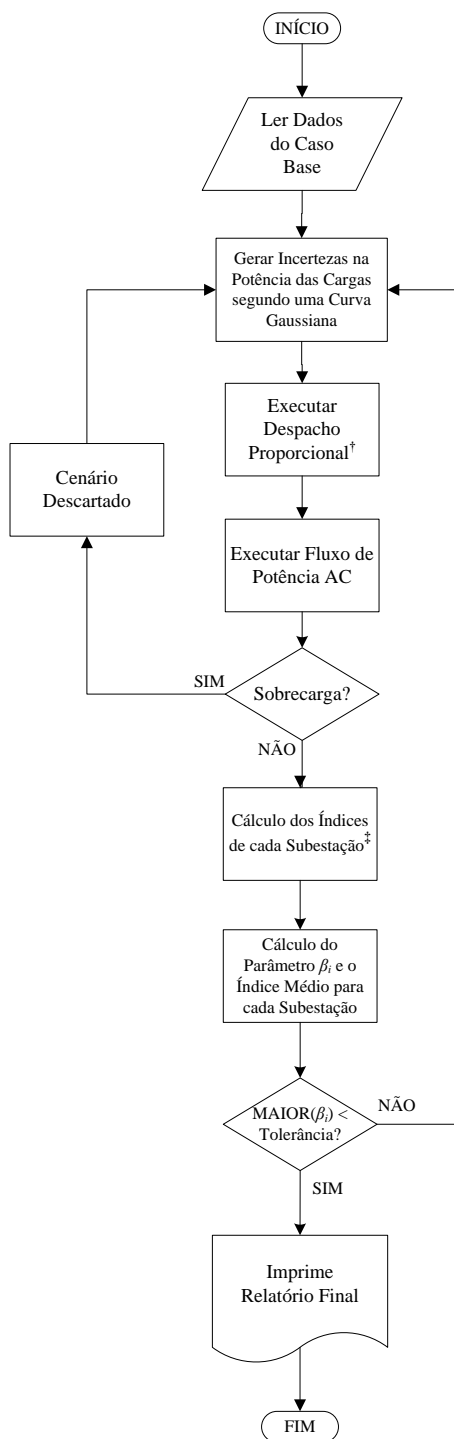
onde  $V[F(X)]$  é a variância da função teste. A convergência da SMC é testada utilizando-se um coeficiente de incerteza denominado coeficiente de variação beta ( $\beta$ ).

$$\beta = \frac{\sqrt{V\{\tilde{E}[F(X)]\}}}{\tilde{E}[F(X)]} \quad (4.14)$$

Logo, a simulação somente é interrompida quando a convergência para os índices estimados é alcançada para uma determinada tolerância especificada. Como cada subestação/barra tem seu respectivo beta, a fim de acelerar a convergência da SMC, é garantida a convergência dos

estimadores apenas para um intervalo restrito da lista de classificação, e.g., para as dez/vinte primeiras barras da lista.

Na Fig. 4.4 é ilustrado um fluxograma simplificado de toda metodologia probabilística proposta de cálculo dos índices, desde a leitura dos dados do “Caso Base”, até a convergência da SMC e posterior impressão dos índices de risco para cada subestação.



**Fig. 4.4: Fluxograma simplificado da proposta de classificação probabilística de subestações.**

† Despacho proporcional: Seção 4.2.2;

‡ Índices Estáticos: Seção 2.6; Índices Dinâmicos: Seção 3.4.



### 4.3. EXEMPLOS NUMÉRICOS

Nesta seção, a metodologia proposta para uma classificação probabilística estática e dinâmica de subestações é testada utilizando o sistema teste *Brazilian Birds*. O principal objetivo é ilustrar todo o processo de cálculo dos índices de riscos avaliados através de Simulação Monte Carlo, descrito ao longo das seções deste capítulo. Para este fim, o sistema *Brazilian Birds* é avaliado em três diferentes configurações: em dois pontos diferentes de operação, Caso 1 e Caso 2, já exemplificados e analisados nos capítulos anteriores; e também uma versão alternativa incluindo fontes eólicas de energia. Em cada caso, os resultados obtidos são amplamente discutidos de modo a assegurar a consistência do método proposto, comparando este com os índices de riscos obtidos nos capítulos anteriores. A seguir é mencionada uma rápida descrição do sistema a ser analisado.

Como já descrito anteriormente, o sistema *Brazilian Birds* (BB) consiste de duas áreas de 230 kV interconectadas por linhas de transmissão de 440 kV. O sistema tem 43 barras, 21 linhas e 19 transformadores. A carga total do sistema BB é de 1200 MW.

A Tabela 4.1 mostra os despachos de geração para os três casos de estudo deste sistema, incluindo o novo estudo, i.e., Caso Renovável, em que são instalados dois parques eólicos no sistema, ligados às barras Pardal (160) e Coruja (240) com potência despachada de 7,5 MW.

TABELA 4.1 – CASOS ANALISADOS DO SISTEMA *BRAZILIAN BIRDS*

Barra	Nome	Despacho de Geração [MW]		
		Caso 1	Caso 2	Caso Ren.
10	Canário	357,2	281,9	340,4
11	Sabiá	200,0	100,0	200,0
20	Tucano	400,0	400,0	400,0
21	Gavião	300,0	500,0	300,0
16	Pardal	-	-	7,5
24	Coruja	-	-	7,5

### 4.3.1. Sistema *Brazilian Birds*: Análise Estática

Considerando os Casos 1 e 2 do sistema *Brazilian Birds* analisados na Seção 2.8.2 deste trabalho, são mostrados abaixo os novos índices SPI considerando incertezas na potência ativa e reativa das cargas, representada pela curva Gaussiana, sendo a média as potências das cargas no “Caso Base” e desvio padrão de 5% e 10%.

As tabelas a seguir apresentam os índices médios de desempenho estático das subestações. A coluna “Caso Base” refere-se aos resultados já obtidos na Seção 2.8.2, e as colunas subsequentes referem-se às classificações médias do índice de risco SPI avaliadas pela SMC, analisando o comportamento da resposta dos índices quando as cargas são correlacionadas ou independentes. A fim de reduzir o tamanho das tabelas, apenas as dez barras mais críticas do sistema são mostradas. As listas de classificação estática completa estão apresentadas nos Apêndices C.1 (Caso 1) e C.2 (Caso 2).

As tabelas 4.2 e 4.3 apresentam, respectivamente, as classificações médias do Caso 1 para o sistema *Brazilian Birds* considerando o desvio padrão da incerteza em 5% e 10%.

TABELA 4.2 – ÍNDICES DE DESEMPENHO MÉDIO DE SUBESTAÇÃO PARA O SISTEMA BB (CASO 1):  
ANÁLISE ESTÁTICA:  $\sigma = 5\%$

Caso Base		Classificação Média <sup>†</sup>			Classificação Média <sup>‡</sup>		
Barra	SPI	Barra	SPI	$\beta$ [%]	Barra	SPI	$\beta$ [%]
200	106,84	200	107,07	0,25	200	106,82	0,04
100	94,27	100	94,03	0,26	100	94,21	0,06
20	80,00	20	79,91	0,18	20	79,98	0,04
210	79,95	210	79,73	0,20	210	79,87	0,04
10	71,44	10	71,27	0,24	10	71,40	0,05
21	60,00	21	60,22	0,20	21	60,08	0,05
1180	57,20	1180	57,18	0,19	1180	57,31	0,14
110	56,00	110	56,11	0,21	110	56,02	0,04
220	40,86	220	41,23	0,40	220	40,85	0,10
11	40,00	11	39,97	0,18	11	40,00	0,04

<sup>†</sup>Cargas correlacionadas:  $\beta < 2\%$  para todas as barras;

<sup>‡</sup>Cargas independentes:  $\beta < 1\%$  para todas as barras.

Note que não há mudanças na ordem de classificação dos índices de risco apresentados na Tabela 4.2, com poucas trocas de posições e os índices médios de desempenho SPI se mantiveram praticamente inalterados considerando o coeficiente de variação beta.

A Tabela 4.3 mostra os resultados dos índices aumentando o desvio padrão da incerteza para 10%. As mesmas considerações relatadas na tabela anterior também são válidas para este resultado, i.e., não há mudanças na ordem de classificação das barras, com poucas trocas de posições e os índices médios de desempenho SPI se mantiveram praticamente iguais, considerando os coeficientes de variação beta de cada subestação, mesmo dobrando a dispersão da incerteza. Isto pode ser justificado pelo fato de que todo o processo de cálculo deste índice utiliza funções lineares baseadas em fluxo de potência DC e fluxo de potência ótimo DC.

TABELA 4.3 – ÍNDICES DE DESEMPENHO MÉDIO DE SUBESTAÇÃO PARA O SISTEMA BB (CASO 1):  
ANÁLISE ESTÁTICA:  $\sigma = 10\%$

Caso Base		Classificação Média <sup>†</sup>			Classificação Média <sup>‡</sup>		
Barra	SPI	Barra	SPI	$\beta$ [%]	Barra	SPI	$\beta$ [%]
200	106,84	200	108,51	0,56	200	106,82	0,12
100	94,27	100	93,99	0,51	100	94,20	0,15
20	80,00	210	79,92	0,42	20	79,97	0,11
210	79,95	20	79,75	0,36	210	79,76	0,11
10	71,44	10	71,20	0,47	10	71,39	0,14
21	60,00	21	60,37	0,40	21	60,16	0,12
1180	57,20	1180	57,10	0,38	1180	57,41	0,36
110	56,00	110	56,79	0,48	110	56,40	0,15
220	40,86	220	42,81	0,95	220	40,93	0,26
11	40,00	130	40,58	0,60	130	40,58	0,44

<sup>†</sup>Cargas correlacionadas:  $\beta < 4\%$  para todas as barras;

<sup>‡</sup>Cargas independentes:  $\beta < 2\%$  para todas as barras.

Também é observado, dentre as várias simulações realizadas, se as incertezas na parcela reativa das cargas também forem consideradas, isto não impacta no valor final dos índices SPI nem da classificação, i.e., os índices são praticamente iguais quando esta parcela é considerada constante.

Nas figuras 4.5, 4.6 e 4.7 estão ilustradas as distribuições de probabilidades dos índices SPI de todos os cenários avaliados pela SMC para as barras 200 (Tucano) e 100 (Canário), considerando as cargas independentes e desvio padrão 5% e 10%. Note que nas figuras 4.5 e 4.7, a Barra 200 (Tucano) apresenta um índice médio SPI igual à análise realizada para o “Caso Base”, mesmo com diferentes valores de desvio padrão  $\sigma$ ; e, a Fig. 4.7, que possui o maior desvio padrão, apresenta-se maior dispersão dos valores SPI amostrados em torno da sua média e mais achatada. E a Fig. 4.5, com menor desvio padrão, apresenta-se uma acentuada concentração dos índices SPI amostrados em valores próximos à sua média.

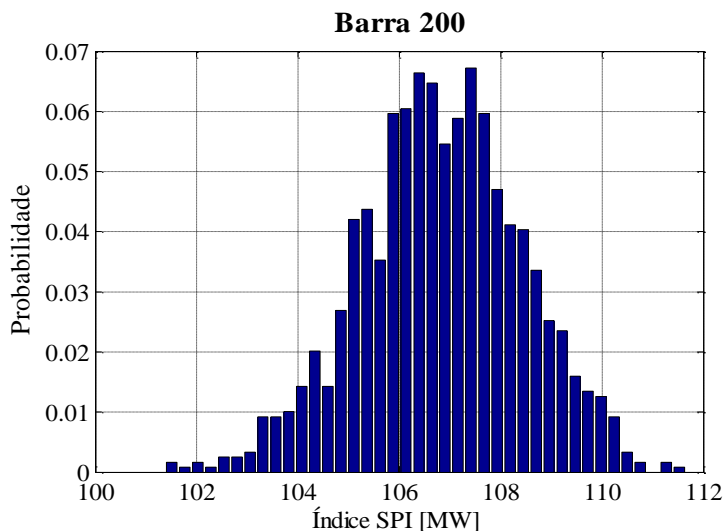


Fig. 4.5: Densidade de probabilidade da Barra 200 considerando cargas independentes e  $\sigma=5\%$ .

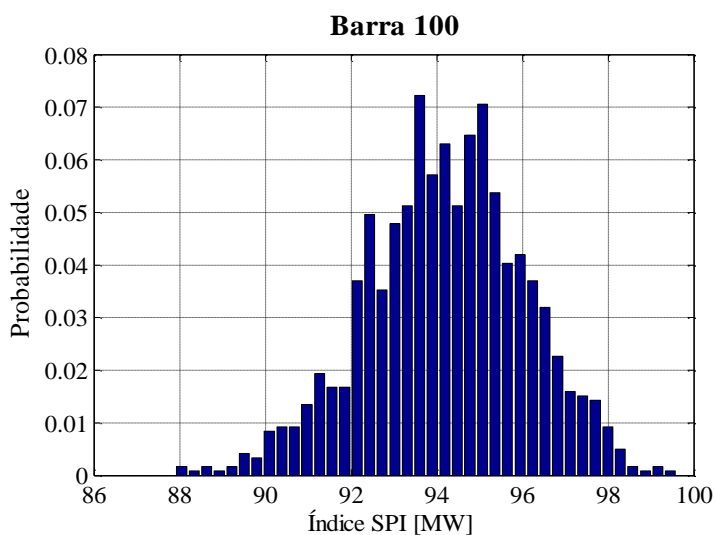


Fig. 4.6: Densidade de probabilidade da Barra 100 considerando cargas independentes e  $\sigma=5\%$ .

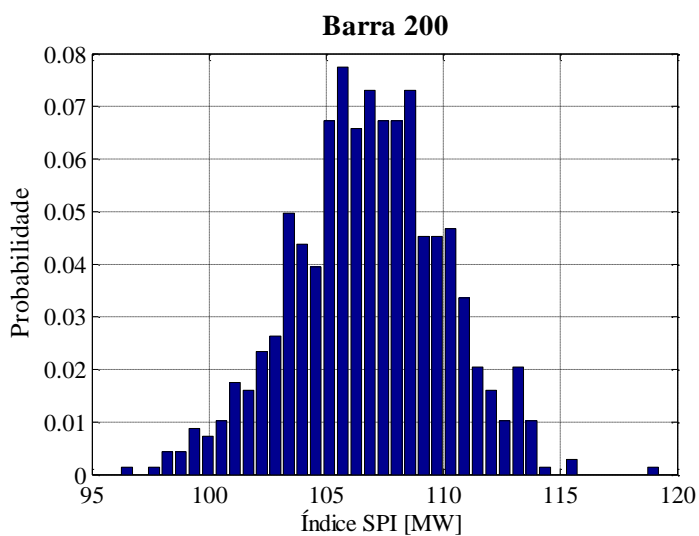


Fig. 4.7: Densidade de probabilidade da Barra 200 considerando cargas independentes e  $\sigma=10\%$ .

Note que as distribuições dos índices amostrados para estas barras se comportaram aproximadamente como uma curva normal.

As tabelas 4.4 e 4.5 apresentam, respectivamente, as classificações médias do Caso 2 para o sistema *Brazilian Birds* considerando um desvio padrão 5% e 10%. Note que em ambas as tabelas não houve mudanças na ordem de classificação, com poucas trocas de posições e os índices médios de desempenho SPI se mantiveram praticamente inalterados considerando o coeficiente beta, independentemente do desvio padrão adotado.

TABELA 4.4 – ÍNDICES DE DESEMPENHO MÉDIO DE SUBESTAÇÃO PARA O SISTEMA BB (CASO 2):  
ANÁLISE ESTÁTICA:  $\sigma = 5\%$

Caso Base		Classificação Média <sup>†</sup>			Classificação Média <sup>‡</sup>		
Barra	SPI	Barra	SPI	$\beta$ [%]	Barra	SPI	$\beta$ [%]
210	149,84	210	149,33	0,40	210	149,72	0,14
200	129,09	200	126,28	0,32	200	124,59	0,12
21	100,00	21	99,75	0,17	21	99,97	0,05
20	80,00	20	79,90	0,17	20	80,00	0,05
220	76,69	220	73,99	0,50	100	73,32	0,09
100	73,30	100	73,30	0,30	220	72,42	0,21
1180	57,20	1180	57,15	0,18	1180	57,34	0,19
10	56,39	10	56,35	0,30	10	56,40	0,09
130	52,97	130	53,04	0,37	130	53,26	0,24
230	41,41	230	41,36	0,33	230	41,39	0,14

<sup>†</sup>Cargas correlacionadas:  $\beta < 3\%$  para todas as barras;

<sup>‡</sup>Cargas independentes:  $\beta < 3\%$  para todas as barras.

TABELA 4.5 – ÍNDICES DE DESEMPENHO MÉDIO DE SUBESTAÇÃO PARA O SISTEMA BB (CASO 2):  
ANÁLISE ESTÁTICA:  $\sigma = 10\%$

Caso Base		Classificação Média <sup>†</sup>			Classificação Média <sup>‡</sup>		
Barra	SPI	Barra	SPI	$\beta$ [%]	Barra	SPI	$\beta$ [%]
210	149,84	210	147,29	0,51	210	149,61	0,27
200	129,09	200	126,63	0,54	200	124,24	0,22
21	100,00	21	99,01	0,27	21	99,93	0,10
20	80,00	20	79,39	0,28	20	80,00	0,11
220	76,69	220	74,30	0,83	100	73,41	0,19
100	73,30	100	73,16	0,50	220	72,07	0,39
1180	57,20	1180	56,77	0,30	1180	57,46	0,37
10	56,39	10	56,13	0,49	10	56,46	0,18
130	52,97	130	52,73	0,57	130	53,92	0,45
230	41,41	230	41,20	0,56	230	41,43	0,30

<sup>†</sup>Cargas correlacionadas:  $\beta < 3\%$  para todas as barras;

<sup>‡</sup>Cargas independentes:  $\beta < 3\%$  para todas as barras.

Nas figuras 4.8 e 4.9 estão ilustradas as distribuições de probabilidades dos índices SPI de todos os cenários simulados avaliados pela SMC para as barras 210 (Gavião) e 200 (Tucano), considerando as cargas do sistema independentes e desvio padrão de 5%. Note que a distribuição dos índices SPI amostrados para estas barras se comportou aproximadamente como uma curva normal, como no caso anterior. Além disso, sua média tende para a do “Caso Base”.

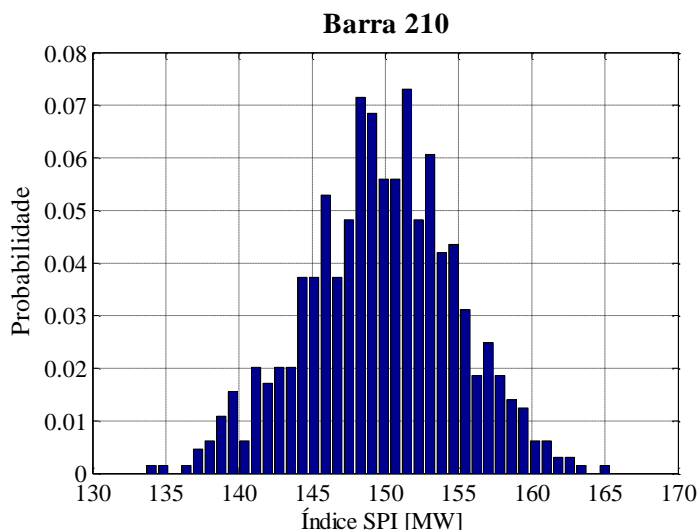


Fig. 4.8: Densidade de probabilidade da Barra 210 considerando cargas independentes e  $\sigma=5\%$ .

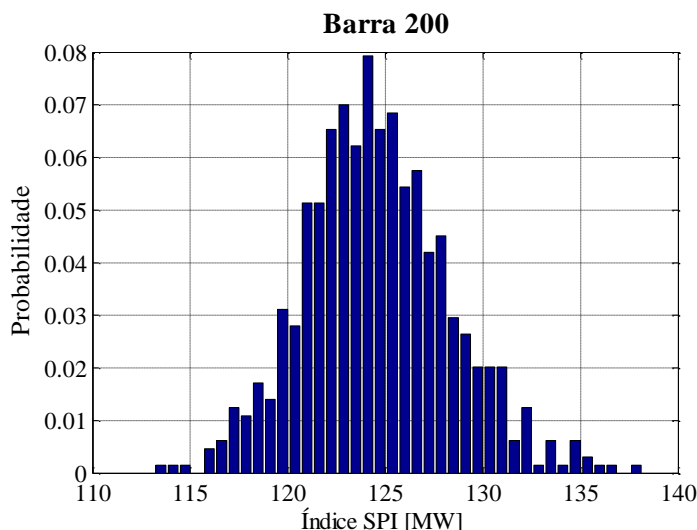


Fig. 4.9: Densidade de probabilidade da Barra 200 considerando cargas independentes e  $\sigma=5\%$ .

As considerações feitas nos resultados acima são válidas apenas para os parâmetros admitidos ao longo das simulações. Por exemplo, incertezas na carga maiores do que 10% não foram

exploradas neste trabalho e o comportamento e formato das distribuições dos índices podem se distorcer, resultando em uma média totalmente distinta àquela avaliada no “Caso Base”.

Também pode ser realizada uma avaliação de risco deste índice, estimando a área da curva da distribuição de probabilidade de uma determinada barra sob um intervalo específico, e.g., para a Fig. 4.9, a probabilidade do índice SPI para esta barra ser maior do que 130 MW.

#### **4.3.2. Sistema *Brazilian Birds*: Análise Dinâmica**

Considerando os Casos 1 e 2 do sistema *Brazilian Birds* analisados na Seção 3.6.2 deste trabalho, são apresentados, a seguir, os índices médios de estabilidade considerando incertezas na potência ativa e reativa das cargas, representada por uma curva Gaussiana, sendo a média ( $\mu$ ) as potências das cargas no “Caso Base” e desvio padrão ( $\sigma$ ) de 5% e 10%. O evento considerado neste estudo é um curto-circuito trifásico, admitância associada de 10.000 pu e tempo de exposição ao curto de 100 a 400 milissegundos.

As tabelas a seguir apresentam os índices médios de estabilidade transitória das subestações. A coluna “Caso Base” refere-se aos resultados já obtidos na Seção 3.6.2 e as colunas subsequentes referem-se às classificações médias dos índices de risco AS e ANU avaliadas pela SMC, analisando o comportamento da resposta destes índices quando as cargas são correlacionadas ou independentes. A fim de reduzir o tamanho destas tabelas, apenas as quinze barras mais críticas do sistema são mostradas. As listas de classificação dinâmica completa estão apresentadas nos Apêndices C.1 (Caso 1) e C.2 (Caso 2).

A Tabela 4.6 apresenta os índices médios das subestações considerando a análise dinâmica do sistema BB – Caso 1. Para este resultado, o tempo de exposição ao curto admitido é de 100 milissegundos.

Observe que, neste resultado, não há eventos de instabilidade angular em nenhum dos estudos realizados, uma vez que as colunas “Índice ANU” da tabela estão todas preenchidas com zeros. Então, analisando os índices AS, as barras 222 (Arara), 100 (Canário) e 231 (Pelicano) são classificadas como os nós mais críticos deste sistema, contudo, o sistema pode ser considerado seguro, com base nos valores AS estimados.

As figuras 4.10 e 4.11 estão ilustradas as distribuições de probabilidades dos índices AS de todos os cenários avaliados pela SMC para as duas barras mais críticas do sistema, i.e., barras

222 (Arara) e 100 (Canário), considerando as cargas do sistema independentes e desvio padrão da incerteza de 5%.

TABELA 4.6 – ÍNDICES DE DESEMPENHO MÉDIO DE SUBESTAÇÃO PARA O *BRAZILIAN BIRDS* (CASO 1: 100MS) - ESTABILIDADE TRANSITÓRIA:  $\sigma = 5\%$

Caso Base			Classificação Média <sup>†</sup>				Classificação Média <sup>‡</sup>			
Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]
222	0,1610	0	222	0,1741	0	1,49	222	0,1657	0	0,29
100	0,1511	0	100	0,1513	0	0,92	100	0,1519	0	0,20
1220	0,1080	0	1220	0,1160	0	1,50	1220	0,1103	0	0,31
231	0,1055	0	231	0,1084	0	0,78	231	0,1069	0	0,23
10	0,1025	0	10	0,1053	0	1,19	10	0,1033	0	0,22
1230	0,0920	0	221	0,0956	0	2,00	1230	0,0930	0	0,28
131	0,0917	0	1230	0,0945	0	0,94	131	0,0920	0	0,23
221	0,0842	0	131	0,0923	0	0,83	221	0,0845	0	0,30
11	0,0710	0	11	0,0745	0	0,46	11	0,0745	0	0,17
132	0,0595	0	132	0,0612	0	0,54	132	0,0606	0	0,19
150	0,0579	0	110	0,0574	0	0,65	110	0,0583	0	0,10
110	0,0572	0	150	0,0571	0	0,78	150	0,0579	0	0,17
200	0,0534	0	200	0,0537	0	0,67	200	0,0535	0	0,12
120	0,0518	0	230	0,0527	0	0,63	120	0,0518	0	0,19
230	0,0475	0	120	0,0511	0	0,83	230	0,0511	0	0,35

<sup>†</sup>Cargas correlacionadas:  $\beta < 2\%$  para as dez primeiras barras;

<sup>‡</sup>Cargas independentes:  $\beta < 1\%$  para as vinte e cinco primeiras barras.

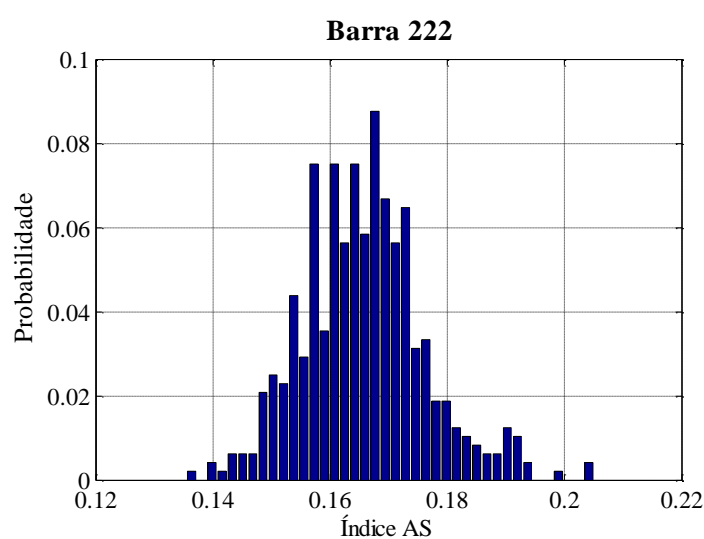
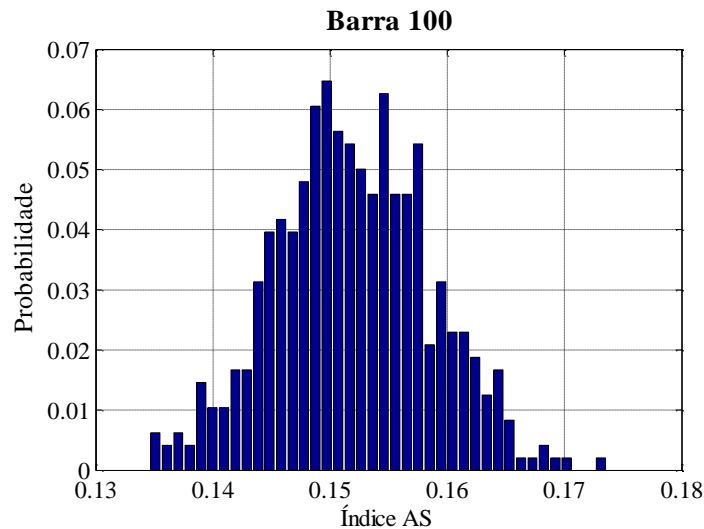


Fig. 4.10: Densidade de probabilidade da Barra 222 considerando cargas independentes e  $\sigma=5\%$ .





**Fig. 4.11:** Densidade de probabilidade da Barra 100 considerando cargas independentes e  $\sigma=5\%$ .

Já a Tabela 4.7 apresenta os índices médios de estabilidade transitória das subestações quando os tempos de exposição ao curto-circuito são aumentados para 200ms (Caso 1.a). Observe que a Barra 100 (Canário) torna-se mais crítica, indicada pelo seu respectivo índice ANU. Diferentemente do “Caso Base”, em que 75% das linhas (três das quatro) conectadas a esta barra e removidas após ser submetida às faltas definidas anteriormente, apresentam problemas de instabilidade transitória, quando se analisa vários cenários de carga, este mesmo índice decresce, mostrando que os problemas de instabilidade, na média, reduziu-se em relação ao “Caso Base”. No mais, todas as barras são seguras para este tipo de perturbação no sistema. Aumentando a dispersão da incerteza para 10%, na média, os índices AS permanecem iguais e o índice ANU da Barra 100 diminuiu, resultando em 63% de instabilidade no sistema.

Aumentando o tempo de exposição para 400ms (Caso 1.b), há vários eventos simulados com instabilidade angular, que pode ser observado pelas colunas “Índice ANU” da Tabela 4.8. Para o caso em que as cargas são independentes, note que as barras 150 (Tiziu 230 kV) e 120 (Cardeal 230 kV) há uma diminuição no “Índice ANU” em relação ao “Caso Base”, indicando que em alguns cenários e/ou linhas não há problemas de instabilidade transitória. Em relação às cargas correlacionadas, são identificadas várias barras com problemas de instabilidade transitória que não são observadas no “Caso Base”. As barras 210, 110, 220, 1220, 222 e 221 apresentam instabilidade, uma vez que o sistema torna-se mais estressado em alguns cenários simulados, visto que a probabilidade de ocorrer uma grande variação de carga é muito maior do que quando se analisa com as cargas independentes.

TABELA 4.7 – ÍNDICES DE DESEMPENHO MÉDIO DE SUBESTAÇÃO PARA O *BRAZILIAN BIRDS* (CASO 1.A: 200MS) - ESTABILIDADE TRANSITÓRIA

Caso Base			Classificação Média <sup>I</sup> ( $\sigma = 5\%$ )			Classificação Média <sup>II</sup> ( $\sigma = 5\%$ )			Classificação Média <sup>III</sup> ( $\sigma = 10\%$ )		
Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU
100	0,5229	0,7500	100	0,4809	0,5673	100	0,5029	0,7086	100	0,4984	0,6327
222	0,1985	0	222	0,2070	0	222	0,2013	0	222	0,2057	0
221	0,1502	0	1220	0,1463	0	1220	0,1427	0	1220	0,1455	0
1220	0,1412	0	231	0,1414	0	231	0,1410	0	231	0,1424	0
231	0,1410	0	11	0,1392	0	11	0,1401	0	11	0,1408	0
11	0,1370	0	131	0,1362	0	221	0,1354	0	131	0,1368	0
131	0,1362	0	221	0,1321	0	131	0,1354	0	1230	0,1260	0
1230	0,1223	0	1230	0,1251	0	1230	0,1239	0	221	0,1249	0
150	0,1203	0	150	0,1183	0	150	0,1201	0	150	0,1200	0
10	0,1180	0	10	0,1173	0	10	0,1175	0	10	0,1174	0
120	0,1152	0	200	0,1139	0	110	0,1140	0	110	0,1143	0
110	0,1140	0	110	0,1125	0	120	0,1138	0	200	0,1139	0
200	0,1124	0	120	0,1121	0	200	0,1130	0	120	0,1138	0
151	0,0912	0	132	0,0931	0	132	0,0927	0	132	0,0937	0
132	0,0910	0	151	0,0891	0	151	0,0908	0	151	0,0903	0

<sup>I</sup>Cargas correlacionadas:  $\beta < 1\%$  para as dez primeiras barras;

<sup>II</sup>Cargas independentes:  $\beta < 1\%$  para as quarenta e uma primeiras barras;

<sup>III</sup>Cargas independentes:  $\beta < 1\%$  para as dez primeiras barras.

TABELA 4.8 – ÍNDICES DE DESEMPENHO MÉDIO DE SUBESTAÇÃO PARA O *BRAZILIAN BIRDS* (CASO 1.B: 400MS) - ESTABILIDADE TRANSITÓRIA:  $\sigma = 5\%$

Caso Base			Classificação Média <sup>†</sup>				Classificação Média <sup>‡</sup>			
Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]
150	0,6253	1,0000	100	0,7806	0,7500	0,02	150	0,6175	0,9212	0,58
100	0,7795	0,7500	200	0,6479	0,7500	0,16	100	0,7802	0,7500	0,01
200	0,6495	0,7500	150	0,5494	0,6602	1,16	200	0,6530	0,7500	0,06
120	0,3363	0,2000	120	0,3350	0,1978	1,03	120	0,3322	0,1793	0,37
11	0,2845	0	210	0,1814	0,0132	0,49	110	0,2810	0	0,17
110	0,2810	0	110	0,2823	0,0074	0,49	11	0,2806	0	0,14
151	0,2008	0	220	0,0479	0,0026	1,32	231	0,2004	0	0,24
131	0,1990	0	1220	0,1040	0,0024	3,38	151	0,1960	0	0,14
231	0,1970	0	222	0,1004	0,0024	5,00	131	0,1918	0	0,60
130	0,1890	0	221	0,1012	0,0012	1,10	1230	0,1901	0	0,27
1230	0,1888	0	11	0,2766	0	0,29	130	0,1899	0	0,14
210	0,1801	0	231	0,2011	0	0,40	210	0,1770	0	0,11
190	0,1363	0	151	0,1941	0	0,27	190	0,1345	0	0,15
111	0,1265	0	1230	0,1900	0	0,44	121	0,1301	0	0,12
121	0,1265	0	130	0,1855	0	0,35	111	0,1290	0	0,18

<sup>†</sup>Cargas correlacionadas:  $\beta < 5\%$  para as dez primeiras barras;

<sup>‡</sup>Cargas independentes:  $\beta < 5\%$  para as vinte e cinco primeiras barras.

Por fim, as tabelas 4.9 e 4.10 apresentam os resultados dos índices médios de estabilidade transitória para o Caso 2 deste sistema. De acordo com a Tabela 4.9, para um tempo de exposição ao curto-circuito de 100 milissegundos, percebe-se que a maioria das subestações classificadas no topo da lista estão eletricamente próximas às interconexões. Em relação aos resultados obtidos considerando cargas independentes, observa-se que as barras 132, 1130, 210 e 130 apresentam problemas de instabilidade transitória que não são detectados no “Caso Base” e em outros nós (231 e 190) há um decréscimo deste índice, indicado pelo seu respectivo Índice ANU.

Quando se compara os resultados com cargas correlacionadas, as barras 132, 1130, 210, 130, 10, 200, 250, 100 e 180 também apresentam instabilidade transitória, que não são identificados “Caso Base” (a tabela completa está apresentada no Apêndice C.2), pois em alguns cenários, o sistema opera sob estresse, visto que a probabilidade de ocorrer uma grande variação de carga, neste caso, é muito maior do que quando se analisa com as cargas independentes.

TABELA 4.9 – ÍNDICES DE DESEMPENHO MÉDIO DE SUBESTAÇÃO PARA O *BRAZILIAN BIRDS* (CASO 2: 100MS) - ESTABILIDADE TRANSITÓRIA:  $\sigma = 5\%$

Caso Base			Classificação Média <sup>†</sup>				Classificação Média <sup>‡</sup>			
Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]
222	0,7840	1,0000	222	0,7819	0,9961	0,38	222	0,7859	1,0000	0,04
221	0,7537	1,0000	221	0,7446	0,9922	0,42	221	0,7529	1,0000	0,04
231	0,6590	1,0000	231	0,6479	0,8223	0,67	231	0,6537	0,8758	0,11
1220	0,5460	0,6667	1220	0,5444	0,6641	0,38	1220	0,5462	0,6667	0,04
1230	0,5310	0,6667	1230	0,5196	0,6641	0,43	1230	0,5287	0,6667	0,04
131	0,5797	0,5000	131	0,5763	0,6465	0,90	131	0,5771	0,5796	0,18
190	0,2575	0,3333	132	0,4311	0,3242	1,93	190	0,2560	0,2779	0,24
230	0,2739	0,2500	230	0,2677	0,2520	0,61	230	0,2721	0,2500	0,07
220	0,2554	0,2000	190	0,2562	0,2213	1,23	132	0,4273	0,2031	0,46
132	0,4235	0	1130	0,2992	0,2136	2,00	220	0,2580	0,2000	0,07
10	0,3015	0	220	0,2611	0,1992	0,76	1130	0,3053	0,1535	0,42
1130	0,3007	0	210	0,2054	0,0762	1,26	210	0,2003	0,0294	0,21
210	0,1996	0	130	0,0895	0,0452	2,49	130	0,0642	0,0260	0,45
100	0,1623	0	10	0,2992	0,0117	1,64	10	0,3032	0	0,25
250	0,1318	0	200	0,0325	0,0117	12,18	100	0,1613	0	0,17

<sup>†</sup>Cargas correlacionadas:  $\beta < 2\%$  para as dez primeiras barras;

<sup>‡</sup>Cargas independentes:  $\beta < 1\%$  para as vinte e nove primeiras barras.

A Tabela 4.10 apresenta os índices médios das subestações considerando a análise dinâmica do sistema BB – Caso 2, admitindo um tempo de exposição ao curto-circuito de 200 milissegundos. Em relação aos resultados obtidos considerando cargas correlacionadas, seis barras (200, 250, 20, 10, 260 e 180) apresentam problemas de estabilidade não sinalizados no “Caso Base”.

Para as cargas independentes, dois casos são analisados admitindo um desvio padrão de 5% e 10% para a incerteza das cargas. Com 5% de dispersão, a Barra 200 apresenta problemas de estabilidade transitória não localizada no “Caso Base”, indicada por seu respectivo índice ANU. Já com uma dispersão de 10%, as barras 200 e 250 são as que apresentam instabilidade (a tabela completa está apresentada no Apêndice C.2) e as barras 131 e 132 tornam-se menos críticas, uma vez que seus respectivos índices ANU decresceram.

TABELA 4.10 – ÍNDICES DE DESEMPENHO MÉDIO DE SUBESTAÇÃO PARA O *BRAZILIAN BIRDS* (CASO 2.A: 200MS) - ESTABILIDADE TRANSITÓRIA

Caso Base			Classificação Média <sup>I</sup> ( $\sigma = 5\%$ )			Classificação Média <sup>II</sup> ( $\sigma = 5\%$ )			Classificação Média <sup>III</sup> ( $\sigma = 10\%$ )		
Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU
222	0,7590	1,0000	222	0,7735	0,9971	222	0,7780	1,0000	222	0,7769	1,0000
221	0,7530	1,0000	221	0,7481	0,9971	221	0,7522	1,0000	221	0,7514	1,0000
231	0,6955	1,0000	231	0,6800	0,8957	231	0,6926	0,9909	231	0,6877	0,9345
131	0,6318	1,0000	131	0,5989	0,7594	131	0,5914	0,8082	131	0,5837	0,7949
132	0,5212	1,0000	1220	0,5595	0,6648	1220	0,5595	0,6667	1220	0,5596	0,6667
1220	0,5475	0,6667	1230	0,5310	0,6648	1230	0,5348	0,6667	1230	0,5341	0,6667
1230	0,5442	0,6667	132	0,4800	0,5043	132	0,4777	0,5753	132	0,4854	0,5534
1130	0,3710	0,6667	210	0,4309	0,4333	100	0,4524	0,3699	210	0,4303	0,4114
190	0,3203	0,3333	1130	0,3480	0,3362	1130	0,3445	0,3653	1130	0,3523	0,3657
100	0,4387	0,2500	190	0,2691	0,2802	210	0,4147	0,3368	100	0,4287	0,3562
210	0,4036	0,2500	230	0,2688	0,2572	190	0,2759	0,3303	190	0,2771	0,3026
230	0,2294	0,2500	100	0,3676	0,2326	230	0,2348	0,2500	230	0,2475	0,2549
220	0,3391	0,2000	220	0,3467	0,2075	220	0,3386	0,2000	220	0,3433	0,2000
130	0,1079	0,1429	200	0,2156	0,1630	130	0,0840	0,0920	200	0,1742	0,0892
10	0,3300	0	130	0,1045	0,0750	200	0,1251	0,0034	130	0,0939	0,0857

<sup>I</sup>Cargas correlacionadas:  $\beta < 5\%$  para as vinte e nove primeiras barras;

<sup>II</sup>Cargas independentes:  $\beta < 2\%$  para as vinte e nove primeiras barras;

<sup>III</sup>Cargas independentes:  $\beta < 4\%$  para as vinte e quatro primeiras barras.

Nas figuras 4.12, 4.13 e 4.14 estão ilustradas as distribuições de probabilidades dos índices AS de todos os cenários avaliados pela SMC para as barras 222 e 221, considerando as cargas do sistema independentes e desvio padrão 5% e 10%. Note que nas figuras 4.13 e 4.14, a Barra 221 apresenta um índice médio AS igual à análise realizada para o “Caso Base”, mesmo com valores distintos de desvio padrão  $\sigma$ ; e, a distribuição que possui o maior desvio padrão, apresenta-se maior dispersão dos valores amostrados em torno da sua média e mais achatada. E aquela que possui o menor desvio padrão, apresenta-se uma acentuada concentração dos índices amostrados em valores próximos à sua média.

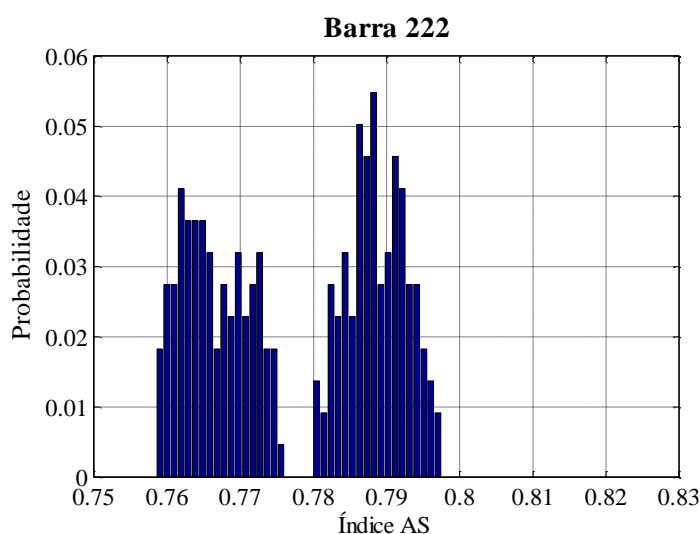


Fig. 4.12: Densidade de probabilidade da Barra 222 considerando cargas independentes e  $\sigma=5\%$ .

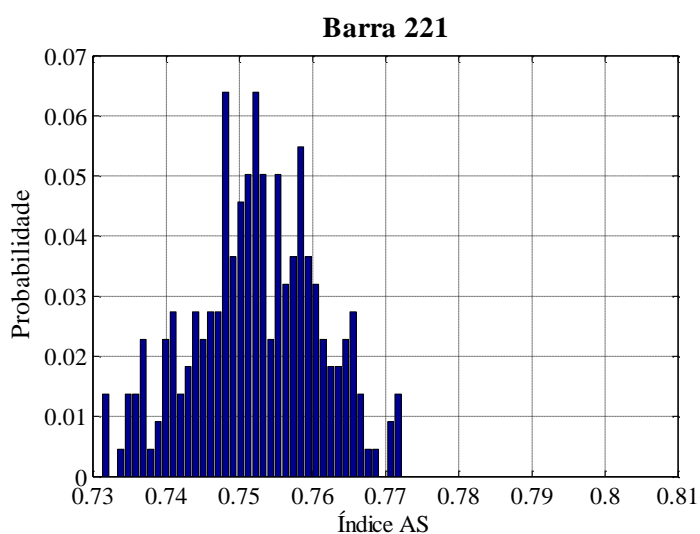
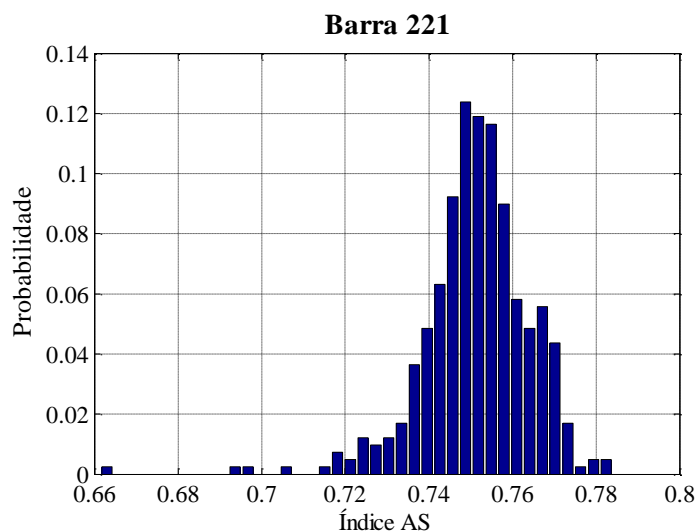


Fig. 4.13: Densidade de probabilidade da Barra 221 considerando cargas independentes e  $\sigma=5\%$ .



**Fig. 4.14:** Densidade de probabilidade da Barra 221 considerando cargas independentes e  $\sigma=10\%$ .

Uma avaliação de risco deste índice também pode ser realizada para uma determinada barra do sistema, estimando-se a área da curva de sua respectiva distribuição de probabilidade sob um intervalo específico, e.g., a probabilidade do índice AS para esta barra ser maior do que um valor aceitável.

A Fig. 4.15 mostra as cinco barras/subestações mais bem classificadas em ambas as análises estático e dinâmico (estabilidade transitória) para a rede *Brazilian Birds* – Caso 2 avaliada pela ferramenta de classificação probabilística de subestações. As barras representam em escala os índices SPI e AS das tabelas 4.4 (Estático) e 4.9 (Dinâmico: 100ms) considerando as cargas independentes e incertezas em 5%.

Os resultados obtidos demonstram claramente que as classificações de subestações estática e dinâmica são distintas. Na análise estática, é vista a influência do despacho na *criticidade* das subestações e na análise dinâmica as barras próximas eletricamente às linhas de interconexão de 440 kV são as mais críticas. Logo, uma combinação dos índices de desempenho estático e dinâmico não deve ser agrupadas, em uma única medida.

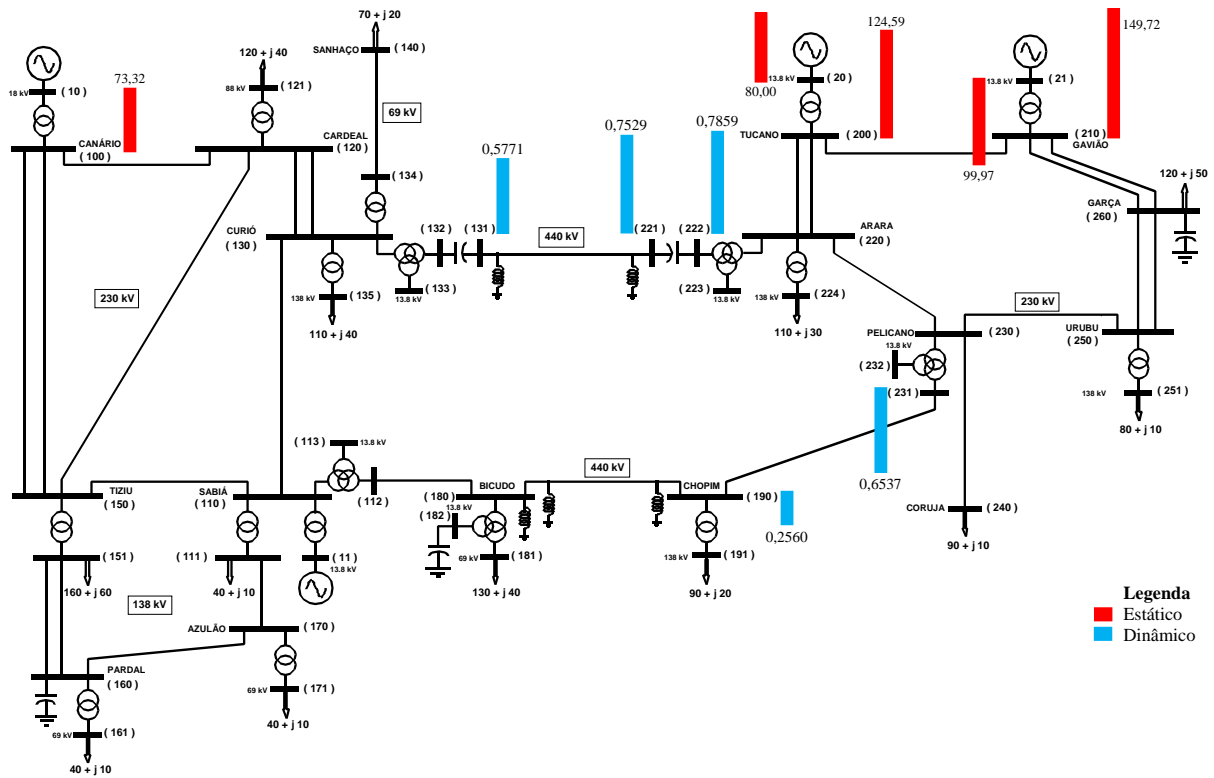


Fig. 4.15: Sistema *Brazilian Birds* – barras mais bem classificadas (análises estática e dinâmica).

#### 4.3.3. Sistema *Brazilian Birds* considerando Participação de Renováveis

Nesta seção, o sistema *Brazilian Birds* é modificado com a instalação de dois parques eólicos, um ligado à Barra 160 (Pardal 230 kV) e outro à Barra 240 (Coruja 230 kV) com cinco aerogeradores com potência despachada de 1,5 MW para o “Caso Base”, totalizando 7,5 MW cada parque. O principal objetivo é analisar o impacto dos parques eólicos nos índices de desempenho estático e dinâmico das subestações. A Fig. 4.16 ilustra o novo diagrama unifilar cujos dados do sistema e eventos dinâmicos estão descritos no Apêndice A.4 no formato da versão PSS/E31, utilizadas no programa da PTI (Siemens).

As incertezas na carga seguem uma curva Gaussiana, sendo a média as potências das cargas no “Caso Base”, desvio padrão de 5% e 10% e os fatores de ponderação das contingências iguais a  $w_{N-1} = 0,10$  e  $w_{N-2} = 0,01$ . As tabelas a seguir apresentam os índices de risco SPI das subestações para o “Caso Base” e considerando incertezas na potência ativa e reativa das cargas. A coluna “Caso Base” refere-se aos resultados sem essas incertezas, e as colunas subsequentes referem-se às classificações médias do índice de risco avaliadas pela SMC, analisando o comportamento da resposta dos índices quando as cargas são correlacionadas ou independentes.

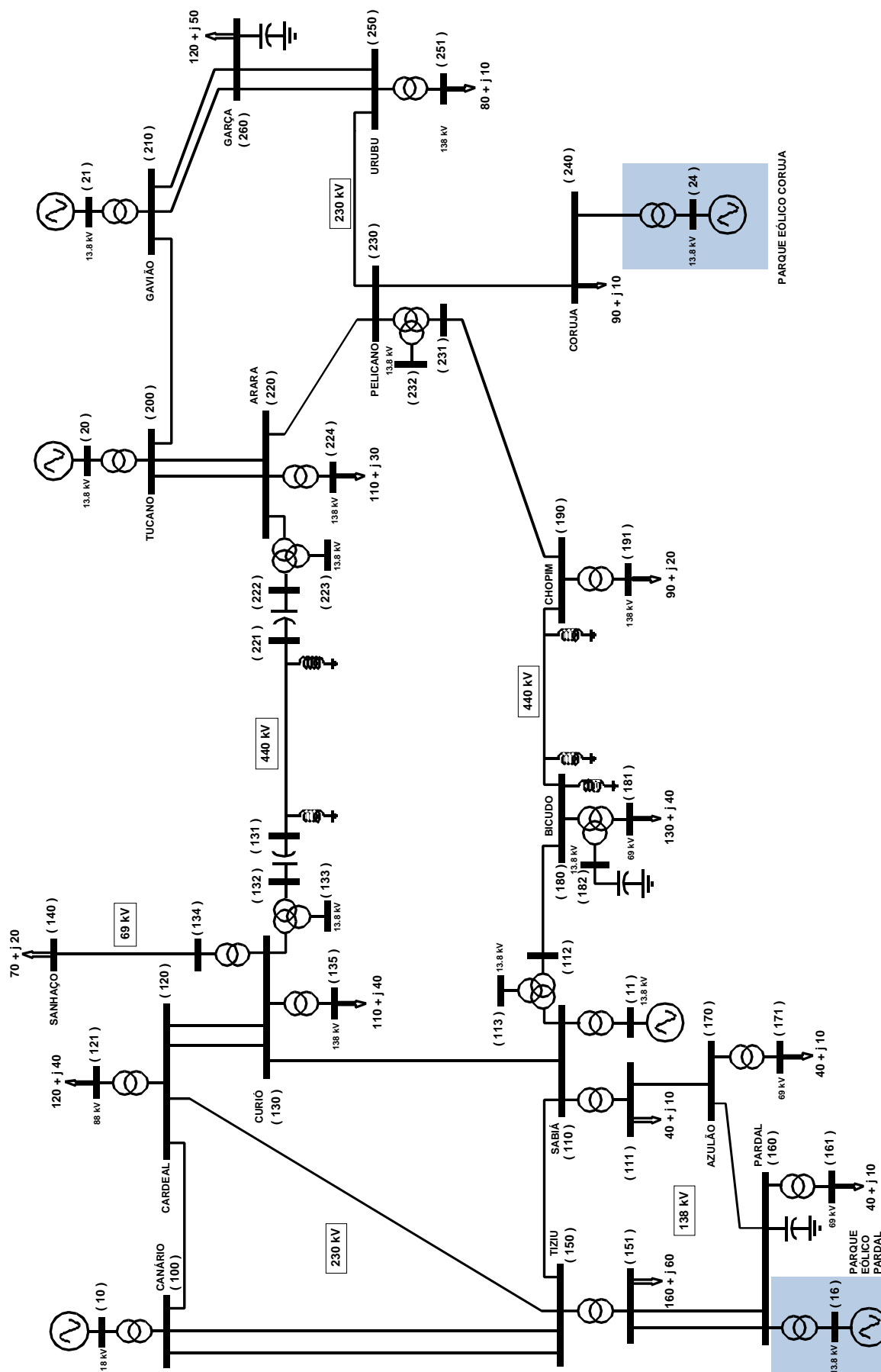


Fig. 4.16: Sistema *Brazilian Birds* com participação de renováveis nas barras 16 e 24.



A fim de reduzir o tamanho das tabelas, apenas as dez barras mais críticas do sistema são mostradas. As listas completas de classificação estática estão apresentadas no Apêndice C.3.

As tabelas 4.11 e 4.12 apresentam os índices estáticos SPI para o “Caso Base” e considerando incertezas na potência ativa e reativa das cargas. Analisando a Tabela 4.11, na coluna “Caso Base”, note que as barras 200 (Tucano 230 kV) e 100 (Canário 230 kV) são classificadas como os nós mais críticos do sistema, pois elas representam as conexões de transmissão de toda a geração em Tucano e Canário, totalizando 740 MW. A Barra 20 é o terceiro nó mais crítico, que é a barra das unidades geradoras de Tucano, significando a perda total desta geração, i.e., 400 MW. O quarto nó mais crítico é a Barra 210 e esta representa a conexão de transmissão de toda a geração em Gavião, que também significa uma grande quantidade de perda de geração.

TABELA 4.11 – ÍNDICES DE DESEMPENHO MÉDIO DE SUBESTAÇÃO PARA O SISTEMA BB (CASO REN.):  
ANÁLISE ESTATICA:  $\sigma = 5\%$

Caso Base		Classificação Média <sup>†</sup>			Classificação Média <sup>‡</sup>		
Barra	SPI	Barra	SPI	$\beta$ [%]	Barra	SPI	$\beta$ [%]
200	106,92	200	107,24	0,29	200	107,00	0,07
100	89,42	100	88,97	0,29	100	89,38	0,09
20	80,00	20	79,89	0,21	20	80,03	0,06
210	79,85	210	79,70	0,24	210	79,84	0,07
10	68,08	10	67,76	0,27	10	68,05	0,08
21	60,00	21	60,21	0,24	21	60,12	0,07
1180	57,20	1180	57,13	0,22	1180	57,32	0,22
110	56,00	110	56,00	0,23	110	56,03	0,06
220	40,98	220	41,45	0,44	220	41,05	0,16
11	40,00	11	39,96	0,21	11	40,02	0,06

<sup>†</sup>Cargas correlacionadas:  $\beta < 2\%$  para todas as barras;

<sup>‡</sup>Cargas independentes:  $\beta < 1,50\%$  para todas as barras.

Para as “Classificações Médias”, note que a ordem de classificação praticamente se mantém, com poucas trocas de posições, considerando o coeficiente de variação beta. Neste caso, os índices foram convergidos para um beta menor que 2% (cargas correlacionadas) e 1,50% (cargas independentes) para todas as barras do sistema BB.

A Tabela 4.12 mostra os resultados dos índices aumentando o desvio padrão da incerteza para 10%. As mesmas considerações relatadas na tabela anterior também são válidas para este resultado, i.e., não há mudanças na ordem de classificação das barras, com poucas trocas de

posições e os índices médios de desempenho SPI se mantiveram praticamente iguais, considerando os coeficientes de variação beta de cada subestação, mesmo dobrando a dispersão da incerteza. Neste caso os índices foram convergidos para um beta menor que 5% (cargas correlacionadas) e 3% (cargas independentes) para todas as barras.

Nas barras em que foram conectados os parques eólicos, i.e. 160 (Pardal 230 kV) e 240 (Coruja 230 kV), em relação ao “Caso 1: Base”, este índice diminuiu para 13,80 e 19,80 MW, respectivamente. Logo, a conexão desses parques eólicos proporcionou uma melhora deste índice em sua vizinhança.

TABELA 4.12 – ÍNDICES DE DESEMPENHO MÉDIO DE SUBESTAÇÃO PARA O SISTEMA BB (CASO REN.):  
ANÁLISE ESTÁTICA:  $\sigma = 10\%$

Caso Base		Classificação Média <sup>†</sup>			Classificação Média <sup>‡</sup>		
Barra	SPI	Barra	SPI	$\beta$ [%]	Barra	SPI	$\beta$ [%]
200	106,92	200	108,63	0,55	200	107,23	0,19
100	89,42	100	88,75	0,51	100	89,45	0,22
20	80,00	210	80,00	0,45	20	80,12	0,16
210	79,85	20	79,73	0,37	210	79,87	0,17
10	68,08	10	67,51	0,47	10	68,10	0,20
21	60,00	21	60,37	0,42	21	60,28	0,18
1180	57,20	1180	57,03	0,39	1180	57,66	0,55
110	56,00	110	56,35	0,45	110	56,17	0,17
220	40,98	220	43,03	0,88	220	41,31	0,42
11	40,00	130	40,63	0,63	130	40,87	0,73

<sup>†</sup>Cargas correlacionadas:  $\beta < 5\%$  para todas as barras;

<sup>‡</sup>Cargas independentes:  $\beta < 3\%$  para todas as barras.

Nas figuras 4.17, 4.18 e 4.19 estão ilustradas as distribuições de probabilidades dos índices SPI de todos os cenários simulados avaliados pela SMC para as barras 200 (Tucano) e 100 (Canário), considerando as cargas do sistema independentes e desvio padrão 5% e 10%.

Note que nas figuras 4.17 e 4.19, a Barra 200 (Tucano) apresenta um índice médio SPI igual à análise realizada para o “Caso Base”, mesmo com diferentes valores de desvio padrão  $\sigma$ ; e, a distribuição da Fig. 4.19 que tem o maior desvio padrão, apresenta-se maior dispersão dos valores amostrados em torno da sua média e mais achatada. E a distribuição da Fig. 4.17, que tem o menor desvio padrão, apresenta-se uma acentuada concentração dos índices amostrados em valores próximos à sua média. Note que nas distribuições das figuras abaixo, os índices amostrados para estas barras se comportaram aproximadamente como uma curva normal.

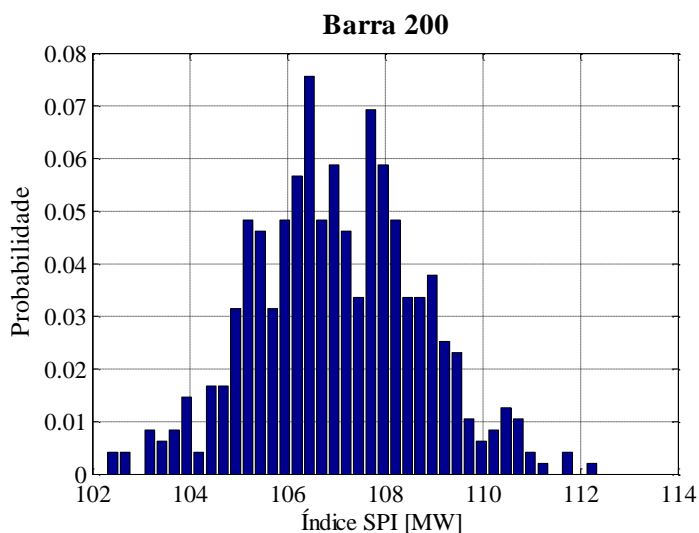


Fig. 4.17: Densidade de probabilidade da Barra 200 considerando cargas independentes e  $\sigma=5\%$ .

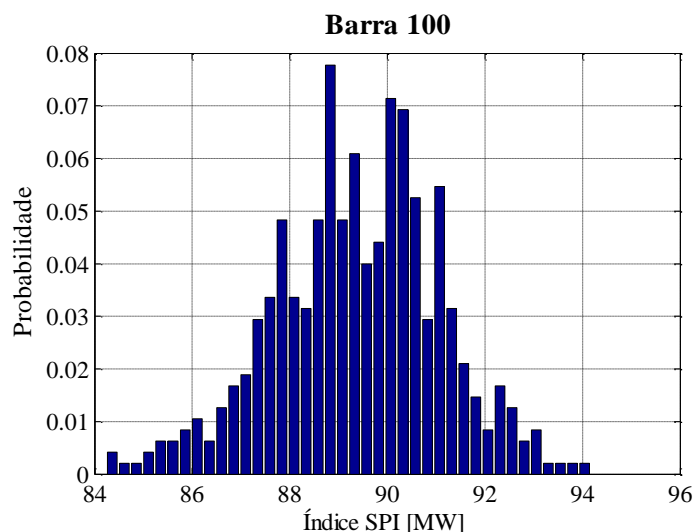


Fig. 4.18: Densidade de probabilidade da Barra 100 considerando cargas independentes e  $\sigma=5\%$ .

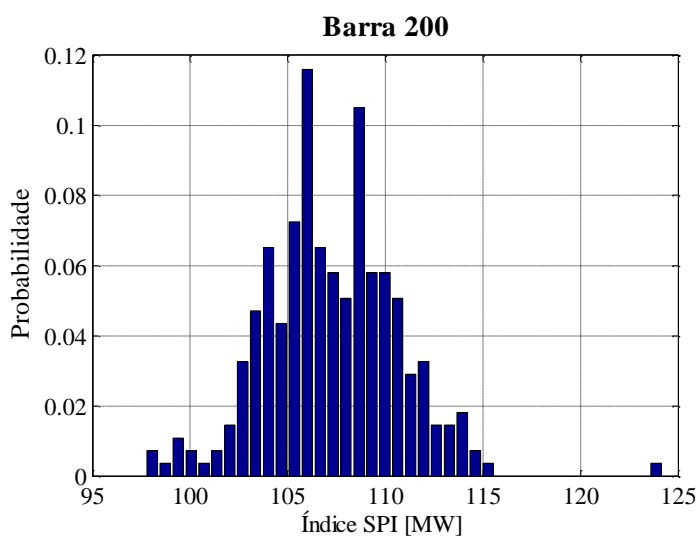


Fig. 4.19: Densidade de probabilidade da Barra 200 considerando cargas independentes e  $\sigma=10\%$ .

As tabelas a seguir apresentam, respectivamente, os índices de estabilidade transitória com duração de exposição ao curto-circuito de 100, 200 e 400 milissegundos para o “Caso Base” e considerando incertezas na potência ativa e reativa das cargas. A coluna “Caso Base” refere-se aos resultados sem incertezas nas cargas, e as colunas subsequentes referem-se às classificações médias dos índices AS e ANU avaliadas pela SMC, analisando o comportamento da resposta dos índices quando as cargas são correlacionadas ou independentes. A fim de reduzir o tamanho das tabelas, apenas as quinze subestações mais críticas são mostradas. As listas completas de classificação dinâmica estão apresentadas no Apêndice C.3.

Note que na Tabela 4.13 há instabilidade angular somente na Barra 230 (Pelicano 230 kV), quando se considera incertezas nas cargas do sistema, indicado pelo seu respectivo Índice ANU. Logo, foi a barra mais crítica observada, visto que no estudo “Caso Base” este nó nem aparece entre as quinze barras/subestações mais críticas. E observando os índices AS, além da Barra 230, as barras 222 (Arara), 100 (Canário) e 231 (Pelicano) são classificadas como os nós mais críticos deste sistema, mas o sistema pode ser considerado seguro pelo baixo potencial dos valores dos índices AS.

TABELA 4.13 – ÍNDICES DE DESEMPENHO MÉDIO DE SUBESTAÇÃO PARA O *BRAZILIAN BIRDS* (CASO REN.: 100MS) - ESTABILIDADE TRANSITÓRIA:  $\sigma = 5\%$

Caso Base			Classificação Média <sup>†</sup>				Classificação Média <sup>‡</sup>			
Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]
222	0,1680	0	230	0,0251	0,0073	5,00	230	0,0310	0,0259	4,99
100	0,1329	0	222	0,1691	0	0,58	222	0,1686	0	0,23
1220	0,1123	0	100	0,1323	0	0,39	100	0,1317	0	0,12
231	0,1085	0	1220	0,1134	0	0,57	1220	0,1129	0	0,23
10	0,1000	0	231	0,1093	0	0,34	231	0,1089	0	0,19
221	0,0963	0	221	0,1083	0	0,53	221	0,1025	0	0,49
1230	0,0920	0	10	0,0989	0	0,42	10	0,0997	0	0,14
131	0,0920	0	131	0,0950	0	0,32	131	0,0937	0	0,16
11	0,0735	0	1230	0,0937	0	0,42	1230	0,0925	0	0,22
132	0,0640	0	11	0,0760	0	0,22	11	0,0751	0	0,12
200	0,0546	0	132	0,0640	0	0,26	132	0,0647	0	0,14
110	0,0537	0	110	0,0548	0	0,30	200	0,0547	0	0,08
150	0,0496	0	200	0,0539	0	0,39	110	0,0540	0	0,09
1130	0,0442	0	150	0,0500	0	0,41	150	0,0494	0	0,12
120	0,0431	0	1130	0,0450	0	0,31	1130	0,0451	0	0,13

<sup>†</sup>Cargas correlacionadas:  $\beta < 5\%$  para as dez primeiras barras;

<sup>‡</sup>Cargas independentes:  $\beta < 5\%$  para as dez primeiras barras.

Na Tabela 4.14, com um tempo de exposição ao curto de 200 milissegundos, observe que a Barra 100 (Canário) torna-se mais crítica, com um índice ANU de 0,25, no mais, as barras restantes do sistema resistiram à perturbação para o “Caso Base”.

Para uma dispersão da incerteza de 5% e 10%, além da Barra 100, as barras 230 (Pelicano) e 160 (Pardal) sofreram instabilidade angular não vistas no “Caso Base”, a primeira delas com índices AS e ANU iguais a zero. Isto mostra a importância de se analisar vários cenários do sistema.

TABELA 4.14 – ÍNDICES DE DESEMPENHO MÉDIO DE SUBESTAÇÃO PARA O *BRAZILIAN BIRDS* - (CASO REN.A: 200MS): ESTABILIDADE TRANSITÓRIA

Caso Base			Classificação Média <sup>I</sup> ( $\sigma = 5\%$ )			Classificação Média <sup>II</sup> ( $\sigma = 5\%$ )			Classificação Média <sup>III</sup> ( $\sigma = 10\%$ )		
Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU
100	0,3819	0,2500	100	0,3783	0,3293	100	0,3757	0,2526	100	0,3711	0,3000
222	0,1945	0	230	0,0419	0,0366	230	0,0462	0,0391	230	0,0467	0,0408
221	0,1470	0	222	0,1990	0	160	0,0154	0,0002	222	0,1990	0
231	0,1430	0	221	0,1496	0	222	0,1945	0	221	0,1504	0
11	0,1395	0	231	0,1411	0	221	0,1492	0	231	0,1414	0
1220	0,1352	0	1220	0,1407	0	231	0,1411	0	1220	0,1391	0
131	0,1310	0	131	0,1362	0	1220	0,1379	0	131	0,1364	0
1230	0,1290	0	11	0,1355	0	11	0,1359	0	11	0,1353	0
200	0,1175	0	1230	0,1259	0	131	0,1348	0	1230	0,1241	0
10	0,1150	0	200	0,1166	0	1230	0,1238	0	200	0,1175	0
150	0,1120	0	10	0,1114	0	200	0,1175	0	10	0,1118	0
110	0,1065	0	150	0,1112	0	10	0,1118	0	150	0,1109	0
120	0,0986	0	110	0,1064	0	150	0,1107	0	110	0,1056	0
132	0,0890	0	120	0,1016	0	110	0,1055	0	120	0,1011	0
151	0,0747	0	132	0,0936	0	120	0,1006	0	132	0,0937	0

<sup>I</sup>Cargas correlacionadas:  $\beta < 5\%$  para as dez primeiras barras;

<sup>II</sup>Cargas independentes:  $\beta < 5\%$  para as dez primeiras barras;

<sup>III</sup>Cargas independentes:  $\beta < 5\%$  para as dez primeiras barras.

Nas figuras 4.20, 4.21 e 4.22 estão ilustradas as distribuições de probabilidades dos índices AS de todos os cenários simulados avaliados pela SMC para as barras 100 (Canário) e 230 (Pelicano), considerando as cargas do sistema independentes e desvio padrão 5% e 10%. Note que nas figuras 4.20 e 4.21, a Barra 100 (Canário) apresenta um índice médio AS aproximadamente igual à análise realizada para o “Caso Base”, mesmo com diferentes valores de desvio padrão  $\sigma$ . E a distribuição da Fig. 4.21, com maior desvio padrão, apresenta-se maior dispersão dos valores amostrados em torno da sua média e mais achatada; e a distribuição da Fig. 4.20, que tem um menor desvio padrão, apresenta uma acentuada concentração dos índices AS amostrados em valores próximos à sua média.

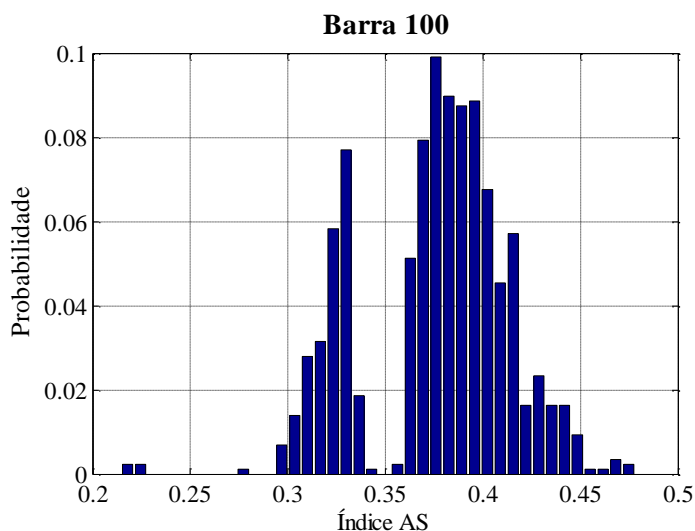


Fig. 4.20: Densidade de probabilidade da Barra 100 considerando cargas independentes e  $\sigma=5\%$ .

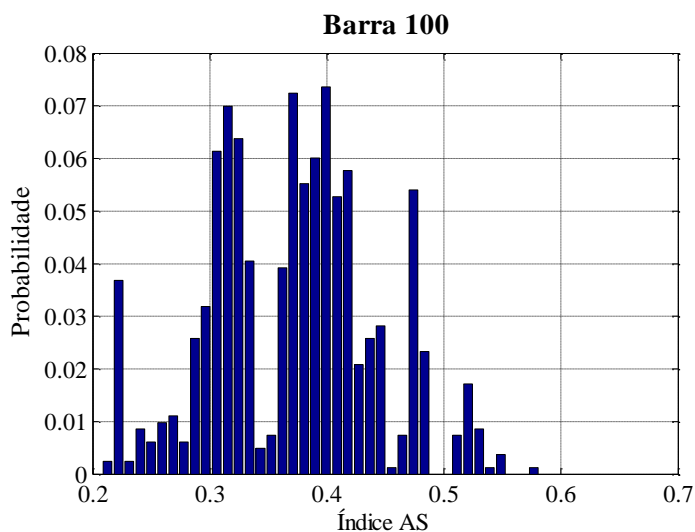


Fig. 4.21: Densidade de probabilidade da Barra 100 considerando cargas independentes e  $\sigma=10\%$ .

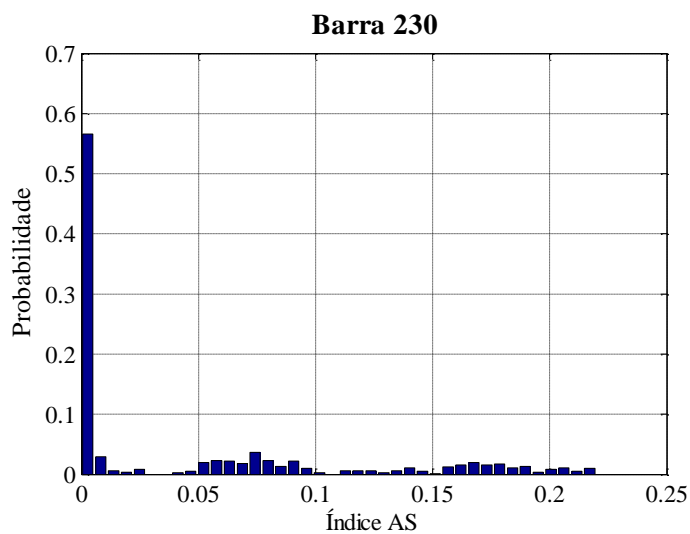


Fig. 4.22: Densidade de probabilidade da Barra 230 considerando cargas independentes e  $\sigma=10\%$ .

Por fim, na Fig. 4.22, existe uma grande probabilidade dos índices AS amostrados serem nulos ou muito próximo deste, indicando que a Barra 230 é transitoriamente estável. Apesar do índice AS ser praticamente nulo, em alguns cenários, esta barra resultou em problemas de estabilidade, indicado pelo seu respectivo índice ANU.

Aumentando o tempo de exposição ao curto para 400ms (Caso Ren.b), houve vários eventos simulados com instabilidade angular, que pode ser observado pelas colunas “Índice ANU” da Tabela 4.15. Na coluna “Caso Base”, em 75% das linhas conectadas às barras 100 (Canário) e 200 (Tucano) apresentam instabilidade transitória.

Para a lista de “Classificação Média” (cargas correlacionadas) são identificadas onze barras com problemas de instabilidade transitória que não são observadas no “Caso Base”, pois o sistema, provavelmente, opera sob estresse em alguns cenários simulados, visto que a probabilidade de sortear um ponto em que as cargas aumentam consideravelmente é muito maior do que no caso em que as cargas são independentes (para cada carga há um sorteio diferente neste ponto) e, portanto, o sistema se encontra mais fragilizado.

TABELA 4.15 – ÍNDICES DE DESEMPENHO MÉDIO DE SUBESTAÇÃO PARA O *BRAZILIAN BIRDS* - (CASO REN.B: 400MS): ESTABILIDADE TRANSITÓRIA:  $\sigma = 5\%$

Caso Base			Classificação Média <sup>†</sup>				Classificação Média <sup>‡</sup>			
Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]
100	0,7794	0,7500	100	0,7799	0,7500	0,02	100	0,7797	0,7500	0,01
200	0,6587	0,7500	200	0,6565	0,7500	0,20	200	0,6610	0,7500	0,04
150	0,2946	0	150	0,3818	0,2481	1,65	230	0,0638	0,0613	5,00
11	0,2680	0	230	0,0679	0,0697	4,99	150	0,3078	0,0268	0,45
110	0,2612	0	120	0,2705	0,0583	1,46	11	0,2642	0	0,10
120	0,2426	0	110	0,2739	0,0269	1,27	110	0,2596	0	0,09
131	0,2160	0	210	0,1862	0,0149	0,41	120	0,2428	0	0,18
231	0,1878	0	222	0,0761	0,0014	2,85	131	0,1991	0	0,57
151	0,1858	0	1220	0,0473	0,0009	4,79	231	0,1889	0	0,20
210	0,1806	0	220	0,0382	0,0008	0,95	151	0,1854	0	0,11
1230	0,1777	0	221	0,0967	0,0007	0,75	210	0,1822	0	0,08
130	0,1714	0	130	0,1715	0,0006	0,48	1230	0,1774	0	0,21
132	0,1460	0	160	0,0211	0,0003	4,54	130	0,1694	0	0,08
190	0,1263	0	11	0,2646	0	0,34	132	0,1487	0	0,16
111	0,1245	0	231	0,1933	0	0,50	190	0,1261	0	0,14

<sup>†</sup>Cargas correlacionadas:  $\beta < 5\%$  para as dez primeiras barras;

<sup>‡</sup>Cargas independentes:  $\beta < 5\%$  para as dez primeiras barras.

Analisando o caso em que as cargas são independentes, é observado que as barras 230 (Pelicano 230 kV) e 150 (Tiziu 230 kV) mostraram problemas de instabilidade transitória que não são detectadas na primeira coluna, indicada pelo seus respectivos “Índice ANU”, em especial na Barra 230 em que tanto o índice AS como o ANU são nulos no “Caso Base”. No mais, os índices médios AS e ANU se mostraram bem aproximados em relação ao “Caso Base”.

O resultado acima mostra o quão é importante estudar vários pontos operativos, pois muitas vezes o problema em um barramento/subestação não é visto em um determinado ponto operativo, mas se o sistema operar em outro ponto, esta subestação pode estar fragilizada.

Para todos os estudos desta seção, pode ser realizada também uma avaliação de risco dos índices estático e dinâmico, estimando a área da curva da distribuição de probabilidade de certo índice sob um intervalo específico, deste modo, calculando a probabilidade deste índice estar dentro desta faixa.

#### **4.4. COMENTÁRIOS FINAIS**

Este capítulo ilustrou uma nova metodologia probabilística de classificação de subestações baseada em índices de risco avaliados através de Simulação Monte Carlo, considerando vários cenários de carga modelados através de incertezas e os correspondentes despachos de geração. Deste modo, novas listas de classificação são obtidas.

O processo de classificação consiste numa Simulação Monte Carlo, onde é analisado o impacto dos índices de *criticidade* admitindo incertezas na carga (seguindo uma curva Gaussiana), criando vários cenários de carga e despacho de geração (obtido por um algoritmo de Despacho Proporcional), esta finalizando após a convergência do coeficiente de variação beta sob uma tolerância especificada.

A abordagem proposta e o programa computacional associado foram testados usando o sistema acadêmico *Brazilian Birds*: os Casos 1 e 2 exemplificados nas seções 2.8.2 (análise estática) e 3.6.2 (análise dinâmica) e também uma versão alternativa incluindo fontes eólicas de energia. Em todos os casos, a metodologia proposta foi executada com sucesso e forneceu resultados consistentes.



Na análise estática, as considerações feitas nos resultados são válidas apenas para os parâmetros admitidos ao longo das simulações. Por exemplo, incertezas na carga maiores do que 10% não foram exploradas neste trabalho; e o comportamento e formato das distribuições dos índices podem se distorcer, resultando em uma média totalmente distinta àquela avaliada para o “Caso Base”.

Além disso, os resultados obtidos demonstram claramente que as classificações de subestações estática e dinâmica são distintas. Na análise estática, note-se uma grande influência do despacho na *criticidade* das subestações e na análise dinâmica, as barras no entorno das linhas de interconexão de 440 kV são as mais críticas. Logo, uma combinação dos índices de desempenho estático e dinâmico não deve ser agrupadas, em uma única métrica.

Também pode ser realizada uma avaliação de risco destes índices, estimando a área da curva de uma distribuição de probabilidade de um determinado índice sob um intervalo específico, deste modo, calculando a probabilidade deste índice estar dentro desta faixa.

Esta abordagem se mostrou válida, uma vez que se analisa vários pontos operativos no entorno de um ponto base, além do que muitas vezes o problema em um barramento/subestação não é visto em um determinado ponto operativo, mas se o sistema operar em outro ponto, esta subestação pode estar fragilizada.

# CAPÍTULO 5

## CONCLUSÕES

**E**STA dissertação apresentou novas metodologias determinísticas e probabilísticas para classificar subestações em sistemas elétricos de potência, oferecendo uma lista de subestações, na qual os planejadores do sistema podem facilmente identificar as instalações com necessidades mais urgentes de investimento. A metodologia proposta baseia-se em ambas as análises estática e dinâmica (estabilidade transitória).

O desenvolvimento de ferramentas para a análise e identificação de infraestruturas críticas em sistemas elétricos de potência tem sido um assunto de grande interesse entre pesquisadores e empresas do setor, de forma que várias técnicas têm sido propostas para analisar a vulnerabilidade e segurança de sistemas. O Capítulo 1 apresentou as vantagens e desvantagens de algumas metodologias que analisam a vulnerabilidade e segurança, bem como as razões pelas quais o problema de classificar subestações é proposto neste trabalho.

No Capítulo 2 foi apresentada, do ponto de vista estático, uma classificação determinística de desempenho de subestações, baseando-se na análise de todas as contingências “N-1” e “N-2”, considerando apenas equipamentos diretamente conectados a uma dada barra do sistema. Este processo é repetido para toda subestação/nó.

Um algoritmo de fluxo de potência ótimo derivado do método Simplex é executado para cada evento de contingência e a quantidade total de corte de carga é usada como base para a construção de um índice de desempenho estático da subestação (*Substation Performance Index - SPI*). O valor SPI mede o quão crítica é uma subestação, baseado em duas quantidades de corte de carga: no Estágio 1, onde o redespacho de geração é proibido e no Estágio 2, onde cortes de carga são minimizados por redespacho de geração. Essas avaliações são realizadas considerando todas as combinações de contingências “N-1” e “N-2” entre os circuitos ligados a cada Subestação/Barra/Nó analisado. O valor SPI de cada barramento do sistema é então avaliado e, posteriormente, utilizado como critério de classificação final, ordenando todas as subestações do sistema numa lista.

No Capítulo 3 foi apresentada, do ponto de vista dinâmico (i.e. estabilidade transitória), a classificação determinística de subestações, baseando-se em índices de estabilidade que medem o impacto de certos eventos envolvendo contingências individuais de equipamentos conectados a um correspondente nó do sistema. Este processo de classificação calcula margem de estabilidade transitória que, com razoável precisão, são uma característica fundamental para a automação e velocidade da avaliação de estabilidade transitória do sistema de potência, permitindo uma rápida avaliação da segurança em ambientes de tempo real ou próximo deste. Este processo é focado em uma nova abordagem para melhorar a consistência e a precisão do método SIME (*Single Machine Equivalent*). Este método, como originalmente proposto em [PER00], oferece vantagens significativas sobre o método TEF (*Transient Energy Function*) como não restrição aos modelos detalhados do sistema e baixo custo computacional, mas pode não proporcionar margem de estabilidade precisa para casos não estressados, devido à dificuldade em extrapolar a potência acelerante para grandes deslocamentos angulares, baseada apenas em tendências de trajetória no tempo. Portanto, a abordagem proposta em [LJML13] pretende avançar neste aspecto tecnológico do método, baseando-se em dois índices de estabilidade/instabilidade, denominados AS (*Average Stability*) e ANU (*Average Number of Unstable events*). Essas medidas são obtidas para todas as barras selecionadas e então usadas para classificar as subestações da rede.

A metodologia de classificação de subestações e seu associado programa computacional (SRANK) são ambos testados usando vários estudos de casos. Dois sistemas testes são aplicados em ambas às análises estática (Capítulo 2) e dinâmica (Capítulo 3): os sistemas 9-Barras e *Brazilian Birds*. Os resultados obtidos através da ferramenta SRANK claramente demonstram que as classificações de subestações estática e dinâmica são distintas e não devem ser agrupadas em uma única métrica. A função despacho e a conectividade da rede demonstraram ser fatores relevantes no impacto de ambas as listas de classificação. Obviamente, outros fatores como capacidade de transmissão dos circuitos, parâmetros dos equipamentos elétricos, tipos de perturbação, etc. influenciará nas listas de classificação finais. O desempenho da metodologia proposta é considerada muito boa, que demonstrou seu potencial para resolver problemas de classificação de subestações em sistemas de potência reais.

Por fim, o Capítulo 4 apresentou uma nova metodologia probabilística para fornecer uma classificação de subestações do ponto de vista estático e dinâmico (estabilidade transitória),

considerando incertezas na carga. Tais incertezas são definidas a partir de vários cenários de carga e, conseqüentemente, de despachos na geração (obtidos por um algoritmo de despacho proporcional), finalizando após a convergência do coeficiente de variação beta por uma dada tolerância especificada e, desta forma, fornecendo uma classificação média de cada subestação. Esta metodologia e seu respectivo programa computacional são testados usando o sistema *Brazilian Birds* e uma versão alternativa com fontes eólicas. Em todos os casos, a metodologia proposta é executada com sucesso e fornece resultados de classificação consistentes. Além disso, os resultados obtidos demonstram novamente que as classificações de subestações estática e dinâmica são distintas e devem ser avaliadas separadamente.

Na análise estática, as considerações feitas nos resultados são válidas apenas para os parâmetros admitidos ao longo das simulações, uma vez que as incertezas na carga maiores do que 10% não foram exploradas neste trabalho; e o comportamento e formato das distribuições dos índices podem se distorcer, além de resultar uma média totalmente distinta àquela fornecida no “Caso Base”.

Também pode ser realizada uma avaliação de risco destes índices, estimando a área da curva de uma distribuição de probabilidade de um determinado índice sob um intervalo específico, deste modo, calculando a probabilidade deste índice estar dentro desta faixa.

Esta análise se mostrou muito eficiente para avaliar vários cenários em torno de um ponto operativo inicial, pois muitas vezes o problema em um barramento/subestação não é visto em um determinado ponto, mas se o sistema operar em outro, esta subestação pode estar fragilizada, indicando um alto índice de *criticidade* (estático e/ou dinâmico).

Algumas sugestões para trabalhos futuros são as seguintes:

- Aplicação em outros sistemas reais, por exemplo, o sistema brasileiro, utilizando a metodologia de classificação probabilística de subestações, avaliadas através de Simulação Monte Carlo considerando incertezas na carga;
- Avaliar os índices médios de *criticidade* das subestações utilizando a SMC considerando incertezas nas cargas e nos despachos das eólicas por meio de distribuições probabilísticas adequadas;

- Avaliar os índices de desempenho estático (SPI) das subestações, admitindo modelos AC para o algoritmo do fluxo de potência. Neste caso, o fluxo de potência (para as contingências “N-1” e “N-2”) e as ações corretivas seriam ambas representadas por modelos AC;
- Comparar a classificação de subestações pelos índices de desempenho estático e dinâmico propostos nesta Dissertação, com aquela obtida através da modelagem de falhas oriundas das próprias subestações [V14];
- Utilizar o processamento paralelo para aumentar a velocidade do cálculo dos índices médios de *criticidade*.

# APÊNDICE A

## DADOS DE ENTRADA DA FERRAMENTA SRANK

Dados dos sistemas analisados neste trabalho, no formato da versão PSS/E31, usada no programa de análise de sistemas de potência da Siemens Power Technologies International – PTI.

### A.1 SISTEMA 9-BARRAS

#### (.RAW) - Formato PSS/E31

```
0, 100.0, 31, 0, 0, 60.00 / PSS(R)E 31
Caso do Anderson - Página 38

1,'Bus 1      ', 16.5000, 3, 1, 1, 1, 1.04000, 0.0000
2,'Bus 2      ', 18.0000, 2, 2, 1, 1, 1.02500, 15.2606
3,'Bus 3      ', 13.8000, 2, 3, 1, 1, 1.02500, 6.3139
4,'Bus 4      ', 230.0000, 1, 1, 1, 1, 1.00457, -5.8545
5,'Bus 5      ', 230.0000, 1, 1, 1, 1, 1.01671, -0.9491
6,'Bus 6      ', 230.0000, 1, 3, 1, 1, 0.97987, -9.0349
7,'Bus 7      ', 230.0000, 1, 2, 1, 1, 1.03454, 8.4909
8,'Bus 8      ', 230.0000, 1, 2, 1, 1, 1.03056, 4.8779
9,'Bus 9      ', 230.0000, 1, 3, 1, 1, 1.01318, -0.1659
0 / END OF BUS DATA, BEGIN LOAD DATA
4,'1 ' , 1, 1, 1, 225.000, 50.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 1
6,'1 ' , 1, 3, 1, 150.000, 30.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 1
9,'1 ' , 1, 3, 1, 200.000, 35.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 1
0 / END OF LOAD DATA, BEGIN FIXED SHUNT DATA
0 / END OF FIXED SHUNT DATA, BEGIN GENERATOR DATA
1,'1 ' , 185.013, 73.428, 130.400, -130.400, 1.0400, 0, 395.500, 0.000, 1.000, 0.0000, 0.0000, 1.0000,
1, 100.0, 310.000, 0.000, 1, 1.000, 0, 0.000, 0, 0.000, 0, 0.000, 0.000,
2,'1 ' , 200.000, -3.816, 70.000, -70.000, 1.0250, 0, 234.000, 0.000, 1.000, 0.0000, 0.0000, 1.0000,
1, 100.0, 350.000, 0.000, 1, 1.000, 0, 0.000, 0, 0.000, 0, 0.000, 0.000,
```

APÊNDICE A

```

3,'1 ', 200.000, 31.988, 67.400, -67.400, 1.0250, 0, 234.000, 0.000, 1.000, 0.0000, 0.0000, 1.0000,
1, 100.0, 350.000, 0.000, 1, 1.000, 0, 0.000, 0, 0.000, 0, 0.000, 0, 0.000
0 / END OF GENERATOR DATA, BEGIN BRANCH DATA
4, 5,'1 ', 0.10000E-01, 0.85000E-01, 0.17600, 300.0, 300.0, 300.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 1, 1, 0.00,
0, 1.0000
4, 6,'1 ', 0.17000E-01, 0.92000E-01, 0.15800, 100.0, 100.0, 100.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 1, 1, 0.00,
0, 1.0000
6, 9,'1 ', 0.39000E-01, 0.17000E+00, 0.35800, 100.0, 100.0, 100.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 1, 1, 0.00,
0, 1.0000
8, 9,'1 ', 0.11900E-01, 0.10080E+00, 0.20900, 300.0, 300.0, 300.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 1, 1, 0.00,
0, 1.0000
7, 8,'1 ', 0.85000E-02, 0.72000E-01, 0.14900, 300.0, 300.0, 300.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 1, 1, 0.00,
0, 1.0000
7, 5,'1 ', 0.32000E-01, 0.16100E+00, 0.30600, 200.0, 200.0, 200.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 1, 1, 0.00,
0, 1.0000
0 / END OF BRANCH DATA, BEGIN TRANSFORMER DATA
2, 7, 0,'1 ', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
0.00000E+00, 0.62500E-01, 100.000
1.00000, 0.00000, 0.00000, 192.00, 192.00, 292.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000, 0, 0,
0.00000, 0.00000
1.00000, 0.00000
3, 9, 0,'1 ', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
0.00000E+00, 0.58600E-01, 100.000
1.00000, 0.00000, 0.00000, 128.00, 128.00, 228.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000, 0, 0,
0.00000, 0.00000
1.00000, 0.00000
1, 4, 0,'1 ', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
0.00000E+00, 0.57600E-01, 100.000
1.00000, 0.00000, 0.00000, 247.00, 247.00, 247.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000, 0, 0,
0.00000, 0.00000
1.00000, 0.00000
0 / END OF TRANSFORMER DATA, BEGIN AREA DATA
1, 0, 0.000, 0.000, ' Area1 '
2, 0, 0.000, 0.000, ' Area2 '
3, 0, 0.000, 0.000, ' Area3 '
0 / END OF AREA DATA, BEGIN TWO-TERMINAL DC DATA
0 / END OF TWO-TERMINAL DC DATA, BEGIN VSC DATA
0 / END OF VSC DATA, BEGIN IMPEDANCE CORRECTION DATA
0 / END OF IMPEDANCE CORRECTION DATA, BEGIN MULTI-TERMINAL DC DATA
0 / END OF MULTI-TERMINAL DC DATA, BEGIN MULTI-SECTION LINE DATA
0 / END OF MULTI-SECTION LINE DATA, BEGIN ZONE DATA
0 / END OF ZONE DATA, BEGIN INTER-AREA TRANSFER DATA
0 / END OF INTER-AREA TRANSFER DATA, BEGIN OWNER DATA
0 / END OF OWNER DATA, BEGIN FACTS CONTROL DEVICE DATA
0 / END OF FACTS CONTROL DEVICE DATA, BEGIN SWITCHED SHUNT DATA
0 / END OF SWITCHED SHUNT DATA

```

**(.DYZ) – Arquivo de Dados Dinâmicos**

SM04

```

1      3  0  3      1      0.0000  -0.0500  0.0000  0  2  1      xx      xx
0.7300000 0.2600000 0.2000000 0.5200000 0.0000000 0.2000000 0.0000000 365.0000000 0.1900000
0.0000000 8.3000000 0.0600000 0.0000000 4.3100000 0.0000000 0.0300000 0.0170000 10.1250000 /
50.0000000 0.0100000 1.0000000 1.0000000 1.0000000 1.0000000 -1.0000000 1.0000000 -4.0000000
4.0000000 -4.0000000 4.0000000 0.0000000 /
210.4000000 130.4000000 1.1000000 1.6000000 0.0200000 100.0000000 0.0500000 10.0000000 2.0000000
-10.0000000 0.0000000 /
1.2500000 0.5000000 1.5000000 0.3800000 7.0000000 0.0500000 0.0500000 -2.0000000 2.0000000
0.0010000 0.9840000 0.1500000 0.0000000 1.0000000 0.5000000 1.0000000 /

```

SM05

```

2      26 6 11      2      0.0000  0.0000  0.0000  0  2  1      xx      xx
2.1100000 0.2650000 0.1950000 1.9900000 0.4650000 0.1950000 0.0030000 384.0000000 0.1500000
0.0000000 5.9000000 0.0350000 0.5800000 4.8440000 0.0000000 0.0690000 0.0480000 0.4000000 /
1.0000000 -1.0000000 1.0000000 2.9800000 2.9800000 1.0000000 0.0100000 1.0000000 -0.8700000
0.0000000 6.7100000 0.0000000 8.3800000 -100.0000000 0.0800000 10.0000000 0.0000000 1.0000000 -
0.8700000 /
0.3751000 0.0798000 0.3751000 0.0798000 0.1000000 0.0100000 3.0000000 0.4000000 3.0000000
3.0000000 3.0000000 3.0000000 9.0000000 0.3097000 1.0000000 -0.1000000 0.1000000 1 3 /
163.2000000 101.2000000 1.1000000 1.6000000 0.0200000 100.0000000 0.0500000 10.0000000 2.0000000
-10.0000000 0.0000000 /
0.0570000 0.0200000 0.4000000 0.2000000 1.0000000 10.0000000 1.0000000 0.0000000 /

```

SM05

```

3      26 6 11      3      0.0000  0.0000  0.0000  0  2  1      xx      xx
2.1100000 0.2650000 0.1950000 1.9900000 0.4650000 0.1950000 0.0030000 384.0000000 0.1500000
0.0000000 5.9000000 0.0350000 0.5800000 4.8440000 0.0000000 0.0690000 0.0480000 0.4000000 /
1.0000000 -1.0000000 1.0000000 2.9800000 2.9800000 1.0000000 0.0100000 1.0000000 -0.8700000
0.0000000 6.7100000 0.0000000 8.3800000 -100.0000000 0.0800000 10.0000000 0.0000000 1.0000000 -
0.8700000 /
0.3635000 0.0760000 0.3635000 0.0760000 0.1000000 0.0100000 3.0000000 0.4000000 3.0000000
3.0000000 3.0000000 3.0000000 6.0000000 0.3097000 1.0000000 -0.1000000 0.1000000 1 3 /
108.8000000 67.4000000 1.1000000 1.6000000 0.0200000 100.0000000 0.0500000 10.0000000 2.0000000
-10.0000000 0.0000000 /
0.0570000 0.0200000 0.4000000 0.2000000 1.0000000 10.0000000 1.0000000 0.0000000 /

```

-999 /

1 s 2 0.75 0.0 0.25 1.0 0.0 0.0 0.0 2. 1. 0. 2. 1. 0.

-999 /

1 0.8 0.08 1.0 1 1.2 0.2 1.0 1 0.6 1.0 1 1.3 1.0 1 0.1 1.0 1 1 0.35 1 140. 80. 1 2 3 /

-999 /



---

**A.2 SISTEMA BRAZILIAN BIRDS – CASO 1**
**(.RAW) - Formato PSS/E31**

0, 100.0, 31, 0, 0, 60.00 / PSS (R)E 31  
 SBB - CESE Ger - Intercambio 2

10,	'CANARIO-18	,	1.0000,	3,	1,	1,	1,	1.03000,	0.0000
11,	'SABIA---13	,	1.0000,	2,	1,	1,	1,	1.03000,	-10.7429
20,	'TUCANO--13	,	1.0000,	2,	2,	1,	1,	1.03000,	9.7959
21,	'GAVIAO--13	,	1.0000,	2,	2,	1,	1,	1.03000,	5.6248
100,	'CANARIO230	,	230.0000,	1,	1,	1,	1,	1.04267,	-4.0626
110,	'SABIA--230	,	230.0000,	1,	1,	1,	1,	1.04463,	-14.8466
111,	'SABIA--138	,	138.0000,	1,	1,	1,	1,	1.02682,	-19.2216
112,	'SABIA--440	,	440.0000,	1,	1,	1,	1,	1.07838,	-17.0333
113,	'SABIA---13	,	1.0000,	1,	1,	1,	1,	1.08023,	-17.1465
120,	'CARDEAL230	,	230.0000,	1,	1,	1,	1,	1.02813,	-13.5860
121,	'CARDEAL-88	,	88.0000,	1,	1,	1,	1,	1.00210,	-17.5330
130,	'CURIO--230	,	230.0000,	1,	1,	1,	1,	1.04679,	-15.3547
131,	'CURIO--CS5	,	440.0000,	1,	1,	1,	1,	1.07801,	-12.8552
132,	'CURIO--440	,	440.0000,	1,	1,	1,	1,	1.08686,	-12.1995
133,	'CURIO---13	,	1.0000,	1,	1,	1,	1,	1.08909,	-12.0372
134,	'CURIO---69	,	69.0000,	1,	1,	1,	1,	1.01049,	-20.8199
135,	'CURIO--138	,	138.0000,	1,	1,	1,	1,	1.00105,	-21.3804
140,	'SANHACO-69	,	69.0000,	1,	1,	1,	1,	0.97906,	-22.5109
150,	'TIZIU--230	,	230.0000,	1,	1,	1,	1,	1.02194,	-14.5682
151,	'TIZIU--138	,	138.0000,	1,	1,	1,	1,	1.00473,	-19.5412
160,	'PARDAL-138	,	138.0000,	1,	1,	1,	1,	1.01199,	-20.8972
161,	'PARDAL--69	,	69.0000,	1,	1,	1,	1,	1.00798,	-21.7779
170,	'AZULAO-138	,	138.0000,	1,	1,	1,	1,	1.01202,	-20.4892
171,	'AZULAO--69	,	69.0000,	1,	1,	1,	1,	1.00263,	-22.4773
180,	'BICUDO-440	,	440.0000,	1,	1,	1,	1,	1.08237,	-17.4833
181,	'BICUDO--69	,	69.0000,	1,	1,	1,	1,	1.05802,	-22.3672
182,	'BICUDO--13	,	1.0000,	1,	1,	1,	1,	1.06043,	-22.3539
190,	'CHOPIN-440	,	440.0000,	1,	1,	1,	1,	1.09324,	-17.0875
191,	'CHOPIN-138	,	138.0000,	1,	1,	1,	1,	1.06247,	-22.9892
200,	'TUCANO-230	,	230.0000,	1,	2,	1,	1,	1.04582,	3.9775
210,	'GAVIAO-230	,	230.0000,	1,	2,	1,	1,	1.03844,	2.8597
220,	'ARARA--230	,	230.0000,	1,	2,	1,	1,	1.04186,	-5.5533
221,	'ARARA--CS5	,	440.0000,	1,	2,	1,	1,	1.07931,	-8.0789
222,	'ARARA--440	,	440.0000,	1,	2,	1,	1,	1.08987,	-8.7366
223,	'ARARA---13	,	1.0000,	1,	2,	1,	1,	1.09253,	-8.8990
224,	'ARARA--138	,	138.0000,	1,	2,	1,	1,	1.00948,	-11.1051
230,	'PELICAN230	,	230.0000,	1,	2,	1,	1,	1.04773,	-11.7338
231,	'PELICAN440	,	440.0000,	1,	2,	1,	1,	1.09497,	-14.7328

---

232,	'PELICANO13	'	1.0000	1,	2,	1,	1,	1.09758,	-14.8860										
240,	'CORUJA-230	'	230.0000	1,	2,	1,	1,	1.03567,	-13.5814										
250,	'URUBU--230	'	230.0000	1,	2,	1,	1,	1.02545,	-7.4076										
251,	'URUBU--138	'	138.0000	1,	2,	1,	1,	1.00748,	-13.1495										
260,	'GARCA--230	'	230.0000	1,	2,	1,	1,	1.02523,	-5.0008										
1110,	'SABIA--FIC	'	1.0000	1,	1,	1,	1,	1.08023,	-17.1465										
1130,	'CURIO--FIC	'	1.0000	1,	1,	1,	1,	1.08909,	-12.0372										
1180,	'BICUDO-FIC	'	1.0000	1,	1,	1,	1,	1.05809,	-22.3539										
1220,	'ARARA--FIC	'	1.0000	1,	2,	1,	1,	1.09253,	-8.8990										
1230,	'PELICANFIC	'	1.0000	1,	2,	1,	1,	1.09758,	-14.8860										
0	/ END OF BUS DATA, BEGIN LOAD DATA																		
111,	'1	'	1,	1,	1,	40.000,	10.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
121,	'1	'	1,	1,	1,	120.000,	40.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
135,	'1	'	1,	1,	1,	110.000,	40.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
140,	'1	'	1,	1,	1,	70.000,	20.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
151,	'1	'	1,	1,	1,	160.000,	60.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
161,	'1	'	1,	1,	1,	40.000,	10.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
171,	'1	'	1,	1,	1,	40.000,	10.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
181,	'1	'	1,	1,	1,	130.000,	40.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
191,	'1	'	1,	1,	1,	90.000,	20.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
224,	'1	'	1,	2,	1,	110.000,	30.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
240,	'1	'	1,	2,	1,	90.000,	10.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
251,	'1	'	1,	2,	1,	80.000,	10.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
260,	'1	'	1,	2,	1,	120.000,	50.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
0	/ END OF LOAD DATA, BEGIN FIXED SHUNT DATA																		
131,	'1	'	1,	0.000,	-80.000														
160,	'1	'	1,	0.000,	40.000														
180,	'1	'	1,	0.000,	-40.000														
182,	'1	'	1,	0.000,	10.000														
190,	'1	'	1,	0.000,	-80.000														
221,	'1	'	1,	0.000,	-80.000														
260,	'1	'	1,	0.000,	50.000														
0	/ END OF FIXED SHUNT DATA, BEGIN GENERATOR DATA																		
10,	'10'		71.443,	-9.722,	35.000,	-35.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,					
1,	100.0,		100.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,					
10,	'10'		71.443,	-9.722,	35.000,	-35.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,					
1,	100.0,		100.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,					
10,	'10'		71.443,	-9.722,	35.000,	-35.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,					
1,	100.0,		100.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,					
10,	'10'		71.443,	-9.722,	35.000,	-35.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,					
1,	100.0,		100.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,					
10,	'10'		71.443,	-9.722,	35.000,	-35.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,					
1,	100.0,		100.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,					
11,	'10'		50.000,	-7.995,	25.000,	-25.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,					
1,	100.0,		75.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,					
11,	'10'		50.000,	-7.995,	25.000,	-25.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,					
1,	100.0,		75.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,					
11,	'10'		50.000,	-7.995,	25.000,	-25.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,					
1,	100.0,		75.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,					

APÊNDICE A

11, '10',	50.000,	-7.995,	25.000,	-25.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,	
1, 100.0,	75.000,	0.000,	1, 1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000		
20, '10',	80.000,	-7.870,	50.000,	-50.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,	
1, 100.0,	115.000,	0.000,	1, 1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000		
20, '10',	80.000,	-7.870,	50.000,	-50.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,	
1, 100.0,	115.000,	0.000,	1, 1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000		
20, '10',	80.000,	-7.870,	50.000,	-50.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,	
1, 100.0,	115.000,	0.000,	1, 1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000		
20, '10',	80.000,	-7.870,	50.000,	-50.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,	
1, 100.0,	115.000,	0.000,	1, 1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000		
20, '10',	80.000,	-7.870,	50.000,	-50.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,	
1, 100.0,	115.000,	0.000,	1, 1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000		
21, '10',	75.000,	-10.827,	45.000,	-45.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,	
1, 100.0,	158.000,	0.000,	1, 1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000		
21, '10',	75.000,	-10.827,	45.000,	-45.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,	
1, 100.0,	158.000,	0.000,	1, 1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000		
21, '10',	75.000,	-10.827,	45.000,	-45.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,	
1, 100.0,	158.000,	0.000,	1, 1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000		
21, '10',	75.000,	-10.827,	45.000,	-45.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,	
1, 100.0,	158.000,	0.000,	1, 1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000		
0 / END OF GENERATOR DATA, BEGIN BRANCH DATA													
100,	120, '1 ',	0.27600E-01,	0.10440E+00,	0.18430,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
100,	150, '1 ',	0.52900E-01,	0.20000E+00,	0.35300,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
100,	150, '2 ',	0.52900E-01,	0.20000E+00,	0.35300,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
110,	130, '1 ',	0.12800E-01,	0.48400E-01,	0.08530,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
110,	150, '1 ',	0.24100E-01,	0.90900E-01,	0.16040,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
111,	170, '1 ',	0.24100E-01,	0.50200E-01,	0.01180,	150.0,	0.0,	150.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
112,	180, '1 ',	0.80000E-03,	0.95000E-02,	0.46420,	1050.0,	0.0,	1050.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
120,	130, '1 ',	0.46100E-01,	0.17410E+00,	0.30720,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
120,	130, '2 ',	0.46100E-01,	0.17410E+00,	0.30720,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
120,	150, '1 ',	0.57600E-01,	0.21760E+00,	0.38400,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
131,	132, '1 ',	0.00000E+00,	-0.10000E-01,	0.00000,	1050.0,	0.0,	1050.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
131,	221, '1 ',	0.59000E-02,	0.71600E-01,	3.48200,	1050.0,	0.0,	1050.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
134,	140, '1 ',	0.29100E-01,	0.50000E-01,	0.00110,	120.0,	0.0,	120.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
151,	160, '1 ',	0.50800E-01,	0.10560E+00,	0.02480,	150.0,	0.0,	150.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												

APÊNDICE A

0,	151,	160,	'2	'	0.50800E-01,	0.10560E+00,	0.02480,	150.0,	0.0,	150.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	160,	170,	'1	'	0.33000E-01,	0.68600E-01,	0.01610,	150.0,	0.0,	150.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	180,	190,	'1	'	0.20000E-02,	0.23900E-01,	1.16100,	1050.0,	0.0,	1050.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	190,	231,	'1	'	0.31000E-02,	0.38200E-01,	1.85700,	1050.0,	0.0,	1050.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	200,	210,	'1	'	0.21800E-01,	0.82200E-01,	0.14510,	350.0,	0.0,	350.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	200,	220,	'1	'	0.24600E-01,	0.92800E-01,	0.16390,	350.0,	0.0,	350.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	200,	220,	'2	'	0.24600E-01,	0.92800E-01,	0.16390,	350.0,	0.0,	350.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	210,	260,	'1	'	0.23000E-01,	0.87000E-01,	0.15360,	350.0,	0.0,	350.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	210,	260,	'2	'	0.23000E-01,	0.87000E-01,	0.15360,	350.0,	0.0,	350.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	220,	230,	'1	'	0.25900E-01,	0.97700E-01,	0.17240,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	221,	222,	'1	'	0.00000E+00,	-0.10000E-01,	0.00000,	1050.0,	0.0,	1050.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	230,	240,	'1	'	0.10500E-01,	0.39600E-01,	0.07000,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	230,	250,	'1	'	0.16600E-01,	0.62900E-01,	0.11090,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	250,	260,	'1	'	0.11300E-01,	0.42500E-01,	0.07510,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	250,	260,	'2	'	0.11300E-01,	0.42500E-01,	0.07510,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
	0 / END OF BRANCH DATA, BEGIN TRANSFORMER DATA																
	10,	100,	0,'1	'	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, ' ' , 1,	0,	1.00000							
	0.00000E+00,	0.21300E-01,	100.000														
	1.00000,	0.00000,	0.00000,	550.00,	0.00,	550.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0, 0,				
	0.00000,	0.00000															
	1.00000,	0.00000															
	11,	110,	0,'1	'	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, ' ' , 1,	0,	1.00000							
	0.00000E+00,	0.38500E-01,	100.000														
	1.00000,	0.00000,	0.00000,	350.00,	0.00,	350.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0, 0,				
	0.00000,	0.00000															
	1.00000,	0.00000															
	20,	200,	0,'1	'	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, ' ' , 1,	0,	1.00000							
	0.00000E+00,	0.27300E-01,	100.000														
	1.00000,	0.00000,	0.00000,	600.00,	0.00,	600.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0, 0,				
	0.00000,	0.00000															
	1.00000,	0.00000															
	21,	210,	0,'1	'	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, ' ' , 1,	0,	1.00000							
	0.00000E+00,	0.17200E-01,	100.000														
	1.00000,	0.00000,	0.00000,	720.00,	0.00,	720.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0, 0,				
	0.00000,	0.00000															



1.00000,	0.00000													
133,	1130,	0,'1 ',	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, ',	' , 1,	0,	1.00000					
0.00000E+00,	0.37500E-01,	100.000												
1.00000,	0.00000,	0.00000,	120.00,	0.00,	120.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,	
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
150,	151,	0,'1 ',	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, ',	' , 1,	0,	1.00000					
0.00000E+00,	0.46400E-01,	100.000												
1.00000,	0.00000,	0.00000,	300.00,	0.00,	300.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,	
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
160,	161,	0,'1 ',	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, ',	' , 1,	0,	1.00000					
0.00000E+00,	0.39200E-01,	100.000												
1.00000,	0.00000,	0.00000,	240.00,	0.00,	240.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,	
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
170,	171,	0,'1 ',	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, ',	' , 1,	0,	1.00000					
0.00000E+00,	0.88000E-01,	100.000												
1.00000,	0.00000,	0.00000,	100.00,	0.00,	100.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,	
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
180,	1180,	0,'1 ',	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, ',	' , 1,	0,	1.00000					
0.00000E+00,	0.74800E-01,	100.000												
1.00000,	0.00000,	0.00000,	200.00,	0.00,	200.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,	
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
181,	1180,	0,'1 ',	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, ',	' , 1,	0,	1.00000					
0.00000E+00,	0.20000E-03,	100.000												
1.00000,	0.00000,	0.00000,	200.00,	0.00,	200.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,	
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
182,	1180,	0,'1 ',	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, ',	' , 1,	0,	1.00000					
0.00000E+00,	0.22000E-01,	100.000												
1.00000,	0.00000,	0.00000,	70.00,	0.00,	70.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,	
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
190,	191,	0,'1 ',	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, ',	' , 1,	0,	1.00000					
0.00000E+00,	0.13270E+00,	100.000												
1.00000,	0.00000,	0.00000,	130.00,	0.00,	130.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,	
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
220,	224,	0,'1 ',	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, ',	' , 1,	0,	1.00000					
0.00000E+00,	0.92500E-01,	100.000												
1.00000,	0.00000,	0.00000,	150.00,	0.00,	150.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,	
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
220,	1220,	0,'1 ',	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, ',	' , 1,	0,	1.00000					
0.00000E+00,	0.49200E-01,	100.000												
1.00000,	0.00000,	0.00000,	360.00,	0.00,	360.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,	
0.00000,	0.00000													

---

```
1.00000, 0.00000
222, 1220, 0,'1 ', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
0.00000E+00, -0.25000E-02, 100.000
1.00000, 0.00000, 0.00000, 360.00, 0.00, 360.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000, 0, 0,
0.00000, 0.00000
1.00000, 0.00000
223, 1220, 0,'1 ', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
0.00000E+00, 0.37500E-01, 100.000
1.00000, 0.00000, 0.00000, 120.00, 0.00, 120.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000, 0, 0,
0.00000, 0.00000
1.00000, 0.00000
230, 1230, 0,'1 ', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
0.00000E+00, 0.49200E-01, 100.000
1.00000, 0.00000, 0.00000, 360.00, 0.00, 360.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000, 0, 0,
0.00000, 0.00000
1.00000, 0.00000
231, 1230, 0,'1 ', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
0.00000E+00, -0.25000E-02, 100.000
1.00000, 0.00000, 0.00000, 360.00, 0.00, 360.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000, 0, 0,
0.00000, 0.00000
1.00000, 0.00000
232, 1230, 0,'1 ', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
0.00000E+00, 0.37500E-01, 100.000
1.00000, 0.00000, 0.00000, 120.00, 0.00, 120.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000, 0, 0,
0.00000, 0.00000
1.00000, 0.00000
250, 251, 0,'1 ', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
0.00000E+00, 0.12920E+00, 100.000
1.00000, 0.00000, 0.00000, 100.00, 0.00, 100.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000, 0, 0,
0.00000, 0.00000
1.00000, 0.00000
0 / END OF TRANSFORMER DATA, BEGIN AREA DATA
1, 0, 0.000, 0.000, 'AREA A '
2, 0, 0.000, 0.000, 'AREA B '
0 / END OF AREA DATA, BEGIN TWO-TERMINAL DC DATA
0 / END OF TWO-TERMINAL DC DATA, BEGIN VSC DATA
0 / END OF VSC DATA, BEGIN IMPEDANCE CORRECTION DATA
0 / END OF IMPEDANCE CORRECTION DATA, BEGIN MULTI-TERMINAL DC DATA
0 / END OF MULTI-TERMINAL DC DATA, BEGIN MULTI-SECTION LINE DATA
0 / END OF MULTI-SECTION LINE DATA, BEGIN ZONE DATA
0 / END OF ZONE DATA, BEGIN INTER-AREA TRANSFER DATA
0 / END OF INTER-AREA TRANSFER DATA, BEGIN OWNER DATA
0 / END OF OWNER DATA, BEGIN FACTS CONTROL DEVICE DATA
0 / END OF FACTS CONTROL DEVICE DATA, BEGIN SWITCHED SHUNT DATA
0 / END OF SWITCHED SHUNT DATA
```

---

**(.DYR) – Arquivo de Dados Dinâmicos**

```

SM04
  10 2 1 3 0 0.0000 0.0000 0.0000 0 0 10 'xxxxxxxxx'
    1.014 0.314 0.280 0.770 0.000 0.280 0.005 100.0 0.163 0.000 6.550 0.039 0.000 3.120
2.000 0.071 0.000 0.000 /
      15.0 0.02 0.010 1.06 -999. 999. -6.73 6.73 -6.73 6.73 0.0 1.0 /
      0.15 0.15 0.03 0.03 0.0001 0.0001 1.5 1.00 -0.1 0.1 1 /
      1.2 0.5 1.5 0.05 7.0 0.38 0.05 -2.0 0.98 -2.0 2.0 0.15 0.0 1.0 0.5
1.0 /
SM05
  11 2 0 9 0 0.0000 0.0000 0.0100 0 0 10 'xxxxxxxxx'
    1.050 0.185 0.130 0.980 0.360 0.130 0.0031 75.0 0.070 0.000 6.100 0.038 0.300 6.187
2.000 0.099 0.000 0.000 /
      15.0 0.02 0.010 1.06 -999. 999. -6.73 6.73 -6.73 6.73 0.0 /
      0.05 0.2 1.2 0.0 0.0 0.3 /
SM04
  20 2 1 3 0 0.0000 0.0000 0.0000 0 0 10 'xxxxxxxxx'
    1.060 0.315 0.250 0.610 0.000 0.250 0.0024 115.0 0.147 0.000 8.680 0.040 0.000 3.817
2.000 0.080 0.000 0.000 /
      15.0 0.02 0.010 1.06 -999. 999. -6.73 6.73 -6.73 6.73 0.0 /
      0.15 0.15 0.03 0.03 0.0001 0.0001 1.5 1.00 -0.1 0.1 1 /
      1.2 0.5 1.5 0.05 7.0 0.38 0.05 -2.0 0.98 -2.0 2.0 0.15 0.0 1.0 0.5
1.0 /
SM04
  21 4 1 3 0 0.0000 0.0000 0.0000 0 0 10 'xxxxxxxxx'
    0.920 0.300 0.220 0.510 0.000 0.220 0.002 158.0 0.130 0.000 5.200 0.029 0.000 3.177
2.000 0.034 0.000 0.000 /
      187.0 0.89 1.0 1.15 1.0 1.0 0.058 0.62 -1.7 1.7 1.0 0.0 1.2 0.0 1.0
1.0 /
      0.15 0.15 0.03 0.03 0.0001 0.0001 1.5 1.00 -0.1 0.1 1 /
      1.2 0.5 1.5 0.05 7.0 0.38 0.05 -2.0 0.98 -2.0 2.0 0.15 0.0 1.0 0.5
1.0 /
-999 /
  1 A 2 1.00 0.0 0.00 1.0 0.0 0.0 0. 0. 2. 1. 0. 2. 1. 0.
  2 A 2 1.00 0.0 0.00 1.0 0.0 0.0 0. 0. 2. 1. 0. 2. 1. 0.
-999 /
  1 0.8 0.08 13.8 1 1.2 0.2 138. 1 0.6 13.8 1 1.3 13.8 1 0.1 13.8 1 1 0.35 1 140. 70. 10 /
-999 /
/

```



### A.3 SISTEMA BRAZILIAN BIRDS – CASO 2

#### (.RAW) - Formato PSS/E31

0, 100.0, 31, 0, 0, 60.00 / PSS (R)E 31  
SBB - CESE Ger - Intercambio 2

10,	'CANARIO-18	,	1.0000,	3,	1,	1,	1,	1.03000,	0.0000
11,	'SABIA---13	,	1.0000,	2,	1,	1,	1,	1.03000,	-8.6554
20,	'TUCANO--13	,	1.0000,	2,	2,	1,	1,	1.03000,	25.9829
21,	'GAVIAO--13	,	1.0000,	2,	2,	1,	1,	1.03000,	28.0139
100,	'CANARIO230	,	230.0000,	1,	1,	1,	1,	1.03798,	-3.2201
110,	'SABIA--230	,	230.0000,	1,	1,	1,	1,	1.02354,	-10.7483
111,	'SABIA--138	,	138.0000,	1,	1,	1,	1,	1.00807,	-15.6146
112,	'SABIA--440	,	440.0000,	1,	1,	1,	1,	1.03411,	-10.9090
113,	'SABIA---13	,	1.0000,	1,	1,	1,	1,	1.03467,	-10.9175
120,	'CARDEAL230	,	230.0000,	1,	1,	1,	1,	1.01257,	-10.3756
121,	'CARDEAL-88	,	88.0000,	1,	1,	1,	1,	0.98604,	-14.4488
130,	'CURIO--230	,	230.0000,	1,	1,	1,	1,	1.01793,	-9.9309
131,	'CURIO--CS5	,	440.0000,	1,	1,	1,	1,	1.03340,	-5.5749
132,	'CURIO--440	,	440.0000,	1,	1,	1,	1,	1.03863,	-4.4127
133,	'CURIO---13	,	1.0000,	1,	1,	1,	1,	1.04001,	-4.1240
134,	'CURIO---69	,	69.0000,	1,	1,	1,	1,	0.97990,	-15.7364
135,	'CURIO--138	,	138.0000,	1,	1,	1,	1,	0.97038,	-16.3247
140,	'SANHACO-69	,	69.0000,	1,	1,	1,	1,	0.94739,	-17.5385
150,	'TIZIU--230	,	230.0000,	1,	1,	1,	1,	1.00821,	-11.8058
151,	'TIZIU--138	,	138.0000,	1,	1,	1,	1,	0.98826,	-16.7665
160,	'PARDAL-138	,	138.0000,	1,	1,	1,	1,	0.99421,	-17.9000
161,	'PARDAL--69	,	69.0000,	1,	1,	1,	1,	0.99012,	-18.8127
170,	'AZULAO-138	,	138.0000,	1,	1,	1,	1,	0.99340,	-17.1584
171,	'AZULAO--69	,	69.0000,	1,	1,	1,	1,	0.98381,	-19.2225
180,	'BICUDO-440	,	440.0000,	1,	1,	1,	1,	1.03393,	-10.9408
181,	'BICUDO--69	,	69.0000,	1,	1,	1,	1,	1.00715,	-16.3132
182,	'BICUDO--13	,	1.0000,	1,	1,	1,	1,	1.00945,	-16.2985
190,	'CHOPIN-440	,	440.0000,	1,	1,	1,	1,	1.03613,	-9.3574
191,	'CHOPIN-138	,	138.0000,	1,	1,	1,	1,	1.00280,	-15.9578
200,	'TUCANO-230	,	230.0000,	1,	2,	1,	1,	1.02397,	20.0399
210,	'GAVIAO-230	,	230.0000,	1,	2,	1,	1,	1.02702,	23.3507
220,	'ARARA--230	,	230.0000,	1,	2,	1,	1,	0.98606,	7.6523
221,	'ARARA--CS5	,	440.0000,	1,	2,	1,	1,	1.02372,	3.0552
222,	'ARARA--440	,	440.0000,	1,	2,	1,	1,	1.03507,	1.8631
223,	'ARARA---13	,	1.0000,	1,	2,	1,	1,	1.03797,	1.5692
224,	'ARARA--138	,	138.0000,	1,	2,	1,	1,	0.95106,	1.4235
230,	'PELICAN230	,	230.0000,	1,	2,	1,	1,	0.97742,	0.8453
231,	'PELICAN440	,	440.0000,	1,	2,	1,	1,	1.02943,	-4.8898

232,'	PELICANO13	'	1.0000	1,	2,	1,	1,	1.03249,	-5.1800								
240,'	CORUJA-230	'	230.0000	1,	2,	1,	1,	0.96418,	-1.2790								
250,'	URUBU--230	'	230.0000	1,	2,	1,	1,	0.97112,	9.1120								
251,'	URUBU--138	'	138.0000	1,	2,	1,	1,	0.95144,	2.6892								
260,'	GARCA--230	'	230.0000	1,	2,	1,	1,	0.98082,	12.8884								
1110,'	SABIA--FIC	'	1.0000	1,	1,	1,	1,	1.03467,	-10.9175								
1130,'	CURIO--FIC	'	1.0000	1,	1,	1,	1,	1.04001,	-4.1240								
1180,'	BICUDO-FIC	'	1.0000	1,	1,	1,	1,	1.00723,	-16.2985								
1220,'	ARARA--FIC	'	1.0000	1,	2,	1,	1,	1.03797,	1.5692								
1230,'	PELICANFIC	'	1.0000	1,	2,	1,	1,	1.03249,	-5.1800								
0	/ END OF BUS DATA, BEGIN LOAD DATA																
111,'	1	'	1,	1,	1,	40.000,	10.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1	
121,'	1	'	1,	1,	1,	120.000,	40.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1	
135,'	1	'	1,	1,	1,	110.000,	40.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1	
140,'	1	'	1,	1,	1,	70.000,	20.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1	
151,'	1	'	1,	1,	1,	160.000,	60.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1	
161,'	1	'	1,	1,	1,	40.000,	10.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1	
171,'	1	'	1,	1,	1,	40.000,	10.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1	
181,'	1	'	1,	1,	1,	130.000,	40.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1	
191,'	1	'	1,	1,	1,	90.000,	20.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1	
224,'	1	'	1,	2,	1,	110.000,	30.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1	
240,'	1	'	1,	2,	1,	90.000,	10.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1	
251,'	1	'	1,	2,	1,	80.000,	10.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1	
260,'	1	'	1,	2,	1,	120.000,	50.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1	
0	/ END OF LOAD DATA, BEGIN FIXED SHUNT DATA																
131,'	1	'	1,	0.000,	-80.000												
160,'	1	'	1,	0.000,	40.000												
180,'	1	'	1,	0.000,	-40.000												
182,'	1	'	1,	0.000,	10.000												
190,'	1	'	1,	0.000,	-80.000												
221,'	1	'	1,	0.000,	-80.000												
260,'	1	'	1,	0.000,	50.000												
0	/ END OF FIXED SHUNT DATA, BEGIN GENERATOR DATA																
10,'	10'		56.388,	-6.129,	35.000,	-35.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,			
1,	100.0,		100.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,			
10,'	10'		56.388,	-6.129,	35.000,	-35.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,			
1,	100.0,		100.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,			
10,'	10'		56.388,	-6.129,	35.000,	-35.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,			
1,	100.0,		100.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,			
10,'	10'		56.388,	-6.129,	35.000,	-35.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,			
1,	100.0,		100.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,			
10,'	10'		56.388,	-6.129,	35.000,	-35.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,			
1,	100.0,		100.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,			
11,'	10'		25.000,	4.774,	25.000,	-25.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,			
1,	100.0,		75.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,			
11,'	10'		25.000,	4.774,	25.000,	-25.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,			
1,	100.0,		75.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,			
11,'	10'		25.000,	4.774,	25.000,	-25.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,			
1,	100.0,		75.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,			

APÊNDICE A

11, '10',	25.000,	4.774,	25.000,	-25.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,	
1, 100.0,	75.000,	0.000,	1, 1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000		
20, '10',	80.000,	8.702,	50.000,	-50.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,	
1, 100.0,	115.000,	0.000,	1, 1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000		
20, '10',	80.000,	8.702,	50.000,	-50.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,	
1, 100.0,	115.000,	0.000,	1, 1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000		
20, '10',	80.000,	8.702,	50.000,	-50.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,	
1, 100.0,	115.000,	0.000,	1, 1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000		
20, '10',	80.000,	8.702,	50.000,	-50.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,	
1, 100.0,	115.000,	0.000,	1, 1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000		
20, '10',	80.000,	8.702,	50.000,	-50.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,	
1, 100.0,	115.000,	0.000,	1, 1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000		
21, '10',	125.000,	9.550,	45.000,	-45.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,	
1, 100.0,	158.000,	0.000,	1, 1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000		
21, '10',	125.000,	9.550,	45.000,	-45.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,	
1, 100.0,	158.000,	0.000,	1, 1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000		
21, '10',	125.000,	9.550,	45.000,	-45.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,	
1, 100.0,	158.000,	0.000,	1, 1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000		
21, '10',	125.000,	9.550,	45.000,	-45.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,	
1, 100.0,	158.000,	0.000,	1, 1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000		
0 / END OF GENERATOR DATA, BEGIN BRANCH DATA													
100,	120, '1 ',	0.27600E-01,	0.10440E+00,	0.18430,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
100,	150, '1 ',	0.52900E-01,	0.20000E+00,	0.35300,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
100,	150, '2 ',	0.52900E-01,	0.20000E+00,	0.35300,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
110,	130, '1 ',	0.12800E-01,	0.48400E-01,	0.08530,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
110,	150, '1 ',	0.24100E-01,	0.90900E-01,	0.16040,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
111,	170, '1 ',	0.24100E-01,	0.50200E-01,	0.01180,	150.0,	0.0,	150.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
112,	180, '1 ',	0.80000E-03,	0.95000E-02,	0.46420,	1050.0,	0.0,	1050.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
120,	130, '1 ',	0.46100E-01,	0.17410E+00,	0.30720,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
120,	130, '2 ',	0.46100E-01,	0.17410E+00,	0.30720,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
120,	150, '1 ',	0.57600E-01,	0.21760E+00,	0.38400,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
131,	132, '1 ',	0.00000E+00,	-0.10000E-01,	0.00000,	1050.0,	0.0,	1050.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
131,	221, '1 ',	0.59000E-02,	0.71600E-01,	3.48200,	1050.0,	0.0,	1050.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
134,	140, '1 ',	0.29100E-01,	0.50000E-01,	0.00110,	120.0,	0.0,	120.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												
151,	160, '1 ',	0.50800E-01,	0.10560E+00,	0.02480,	150.0,	0.0,	150.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1, 1,	0.00,
0,	1.0000												

APÊNDICE A

0,	151,	160,	'2	'	0.50800E-01,	0.10560E+00,	0.02480,	150.0,	0.0,	150.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	160,	170,	'1	'	0.33000E-01,	0.68600E-01,	0.01610,	150.0,	0.0,	150.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	180,	190,	'1	'	0.20000E-02,	0.23900E-01,	1.16100,	1050.0,	0.0,	1050.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	190,	231,	'1	'	0.31000E-02,	0.38200E-01,	1.85700,	1050.0,	0.0,	1050.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	200,	210,	'1	'	0.21800E-01,	0.82200E-01,	0.14510,	350.0,	0.0,	350.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	200,	220,	'1	'	0.24600E-01,	0.92800E-01,	0.16390,	350.0,	0.0,	350.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	200,	220,	'2	'	0.24600E-01,	0.92800E-01,	0.16390,	350.0,	0.0,	350.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	210,	260,	'1	'	0.23000E-01,	0.87000E-01,	0.15360,	350.0,	0.0,	350.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	210,	260,	'2	'	0.23000E-01,	0.87000E-01,	0.15360,	350.0,	0.0,	350.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	220,	230,	'1	'	0.25900E-01,	0.97700E-01,	0.17240,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	221,	222,	'1	'	0.00000E+00,	-0.10000E-01,	0.00000,	1050.0,	0.0,	1050.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	230,	240,	'1	'	0.10500E-01,	0.39600E-01,	0.07000,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	230,	250,	'1	'	0.16600E-01,	0.62900E-01,	0.11090,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	250,	260,	'1	'	0.11300E-01,	0.42500E-01,	0.07510,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0,	250,	260,	'2	'	0.11300E-01,	0.42500E-01,	0.07510,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000																
0	/ END OF BRANCH DATA, BEGIN TRANSFORMER DATA																
10,	100,	0,	'1	'	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '									
0.00000E+00,	0.21300E-01,	100.000															
1.00000,	0.00000,	0.00000,	550.00,	0.00,	550.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0, 0,					
0.00000,	0.00000																
1.00000,	0.00000																
11,	110,	0,	'1	'	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '									
0.00000E+00,	0.38500E-01,	100.000															
1.00000,	0.00000,	0.00000,	350.00,	0.00,	350.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0, 0,					
0.00000,	0.00000																
1.00000,	0.00000																
20,	200,	0,	'1	'	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '									
0.00000E+00,	0.27300E-01,	100.000															
1.00000,	0.00000,	0.00000,	600.00,	0.00,	600.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0, 0,					
0.00000,	0.00000																
1.00000,	0.00000																
21,	210,	0,	'1	'	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '									
0.00000E+00,	0.17200E-01,	100.000															
1.00000,	0.00000,	0.00000,	720.00,	0.00,	720.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0, 0,					
0.00000,	0.00000																



---

1.00000,	0.00000													
133,	1130,	0,'1'	'1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1,	'	'	1,	0,	1.00000			
0.00000E+00,	0.37500E-01,		100.000											
1.00000,	0.00000,	0.00000,	120.00,	0.00,	120.00,	0,			0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0, 0,
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
150,	151,	0,'1'	'1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1,	'	'	1,	0,	1.00000			
0.00000E+00,	0.46400E-01,		100.000											
1.00000,	0.00000,	0.00000,	300.00,	0.00,	300.00,	0,			0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0, 0,
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
160,	161,	0,'1'	'1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1,	'	'	1,	0,	1.00000			
0.00000E+00,	0.39200E-01,		100.000											
1.00000,	0.00000,	0.00000,	240.00,	0.00,	240.00,	0,			0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0, 0,
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
170,	171,	0,'1'	'1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1,	'	'	1,	0,	1.00000			
0.00000E+00,	0.88000E-01,		100.000											
1.00000,	0.00000,	0.00000,	100.00,	0.00,	100.00,	0,			0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0, 0,
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
180,	1180,	0,'1'	'1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1,	'	'	1,	0,	1.00000			
0.00000E+00,	0.74800E-01,		100.000											
1.00000,	0.00000,	0.00000,	200.00,	0.00,	200.00,	0,			0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0, 0,
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
181,	1180,	0,'1'	'1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1,	'	'	1,	0,	1.00000			
0.00000E+00,	0.20000E-03,		100.000											
1.00000,	0.00000,	0.00000,	200.00,	0.00,	200.00,	0,			0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0, 0,
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
182,	1180,	0,'1'	'1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1,	'	'	1,	0,	1.00000			
0.00000E+00,	0.22000E-01,		100.000											
1.00000,	0.00000,	0.00000,	70.00,	0.00,	70.00,	0,			0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0, 0,
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
190,	191,	0,'1'	'1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1,	'	'	1,	0,	1.00000			
0.00000E+00,	0.13270E+00,		100.000											
1.00000,	0.00000,	0.00000,	130.00,	0.00,	130.00,	0,			0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0, 0,
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
220,	224,	0,'1'	'1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1,	'	'	1,	0,	1.00000			
0.00000E+00,	0.92500E-01,		100.000											
1.00000,	0.00000,	0.00000,	150.00,	0.00,	150.00,	0,			0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0, 0,
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
220,	1220,	0,'1'	'1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1,	'	'	1,	0,	1.00000			
0.00000E+00,	0.49200E-01,		100.000											
1.00000,	0.00000,	0.00000,	360.00,	0.00,	360.00,	0,			0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0, 0,
0.00000,	0.00000													

---

---

```

1.00000, 0.00000
222, 1220, 0,'1 ', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
0.00000E+00, -0.25000E-02, 100.000
1.00000, 0.00000, 0.00000, 360.00, 0.00, 360.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000, 0, 0,
0.00000, 0.00000
1.00000, 0.00000
223, 1220, 0,'1 ', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
0.00000E+00, 0.37500E-01, 100.000
1.00000, 0.00000, 0.00000, 120.00, 0.00, 120.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000, 0, 0,
0.00000, 0.00000
1.00000, 0.00000
230, 1230, 0,'1 ', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
0.00000E+00, 0.49200E-01, 100.000
1.00000, 0.00000, 0.00000, 360.00, 0.00, 360.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000, 0, 0,
0.00000, 0.00000
1.00000, 0.00000
231, 1230, 0,'1 ', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
0.00000E+00, -0.25000E-02, 100.000
1.00000, 0.00000, 0.00000, 360.00, 0.00, 360.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000, 0, 0,
0.00000, 0.00000
1.00000, 0.00000
232, 1230, 0,'1 ', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
0.00000E+00, 0.37500E-01, 100.000
1.00000, 0.00000, 0.00000, 120.00, 0.00, 120.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000, 0, 0,
0.00000, 0.00000
1.00000, 0.00000
250, 251, 0,'1 ', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
0.00000E+00, 0.12920E+00, 100.000
1.00000, 0.00000, 0.00000, 100.00, 0.00, 100.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000, 0, 0,
0.00000, 0.00000
1.00000, 0.00000
0 / END OF TRANSFORMER DATA, BEGIN AREA DATA
1, 0, 0.000, 0.000, 'AREA A '
2, 0, 0.000, 0.000, 'AREA B '
0 / END OF AREA DATA, BEGIN TWO-TERMINAL DC DATA
0 / END OF TWO-TERMINAL DC DATA, BEGIN VSC DATA
0 / END OF VSC DATA, BEGIN IMPEDANCE CORRECTION DATA
0 / END OF IMPEDANCE CORRECTION DATA, BEGIN MULTI-TERMINAL DC DATA
0 / END OF MULTI-TERMINAL DC DATA, BEGIN MULTI-SECTION LINE DATA
0 / END OF MULTI-SECTION LINE DATA, BEGIN ZONE DATA
0 / END OF ZONE DATA, BEGIN INTER-AREA TRANSFER DATA
0 / END OF INTER-AREA TRANSFER DATA, BEGIN OWNER DATA
0 / END OF OWNER DATA, BEGIN FACTS CONTROL DEVICE DATA
0 / END OF FACTS CONTROL DEVICE DATA, BEGIN SWITCHED SHUNT DATA
0 / END OF SWITCHED SHUNT DATA

```

---

**(.DYN) – Arquivo de Dados Dinâmicos**

```

SM04
  10 2 1 3 0 0.0000 0.0000 0.0000 0 0 10 'xxxxxxxxx'
    1.014 0.314 0.280 0.770 0.000 0.280 0.005 100.0 0.163 0.000 6.550 0.039 0.000 3.120
2.000 0.071 0.000 0.000 /
      15.0 0.02 0.010 1.06 -999. 999. -6.73 6.73 -6.73 6.73 0.0 1.0 /
      0.15 0.15 0.03 0.03 0.0001 0.0001 1.5 1.00 -0.1 0.1 1 /
      1.2 0.5 1.5 0.05 7.0 0.38 0.05 -2.0 0.98 -2.0 2.0 0.15 0.0 1.0 0.5
1.0 /
SM05
  11 2 0 9 0 0.0000 0.0000 0.0100 0 0 10 'xxxxxxxxx'
    1.050 0.185 0.130 0.980 0.360 0.130 0.0031 75.0 0.070 0.000 6.100 0.038 0.300 6.187
2.000 0.099 0.000 0.000 /
      15.0 0.02 0.010 1.06 -999. 999. -6.73 6.73 -6.73 6.73 0.0 /
      0.05 0.2 1.2 0.0 0.0 0.3 /
SM04
  20 2 1 3 0 0.0000 0.0000 0.0000 0 0 10 'xxxxxxxxx'
    1.060 0.315 0.250 0.610 0.000 0.250 0.0024 115.0 0.147 0.000 8.680 0.040 0.000 3.817
2.000 0.080 0.000 0.000 /
      15.0 0.02 0.010 1.06 -999. 999. -6.73 6.73 -6.73 6.73 0.0 /
      0.15 0.15 0.03 0.03 0.0001 0.0001 1.5 1.00 -0.1 0.1 1 /
      1.2 0.5 1.5 0.05 7.0 0.38 0.05 -2.0 0.98 -2.0 2.0 0.15 0.0 1.0 0.5
1.0 /
SM04
  21 4 1 3 0 0.0000 0.0000 0.0000 0 0 10 'xxxxxxxxx'
    0.920 0.300 0.220 0.510 0.000 0.220 0.002 158.0 0.130 0.000 5.200 0.029 0.000 3.177
2.000 0.034 0.000 0.000 /
      187.0 0.89 1.0 1.15 1.0 1.0 0.058 0.62 -1.7 1.7 1.0 0.0 1.2 0.0 1.0
1.0 /
      0.15 0.15 0.03 0.03 0.0001 0.0001 1.5 1.00 -0.1 0.1 1 /
      1.2 0.5 1.5 0.05 7.0 0.38 0.05 -2.0 0.98 -2.0 2.0 0.15 0.0 1.0 0.5
1.0 /
-999 /
  1 A 2 1.00 0.0 0.00 1.0 0.0 0.0 0. 0. 2. 1. 0. 2. 1. 0.
  2 A 2 1.00 0.0 0.00 1.0 0.0 0.0 0. 0. 2. 1. 0. 2. 1. 0.
-999 /
  1 0.8 0.08 13.8 1 1.2 0.2 138. 1 0.6 13.8 1 1.3 13.8 1 0.1 13.8 1 1 0.35 1 140. 70. 10 /
-999 /
/

```



---

**A.4 SISTEMA BRAZILIAN BIRDS – CASO REN.**
**(.RAW) - Formato PSS/E31**

```

0, 100.0, 31, 0, 0, 60.00 / PSS(R)E 31
SBB - CESE Ger - Intercambio 2

10,'CANARIO-18 ', 1.0000, 3, 1, 1, 1, 1.03000, 0.0000
11,'SABIA---13 ', 1.0000, 2, 1, 1, 1, 1.03000, -9.7871
16,'PARDAL13_8 ', 13.8000, 2, 1, 1, 1, 1.03000, -19.4481
20,'TUCANO--13 ', 1.0000, 2, 2, 1, 1, 1.03000, 10.9167
21,'GAVIAO--13 ', 1.0000, 2, 2, 1, 1, 1.03000, 6.8019
24,'CORUJA13_8 ', 13.8000, 2, 1, 1, 1, 1.05000, -11.8596
100,'CANARIO230 ', 230.0000, 1, 1, 1, 1, 1.04442, -3.8648
110,'SABIA--230 ', 230.0000, 1, 1, 1, 1, 1.04913, -13.8733
111,'SABIA--138 ', 138.0000, 1, 1, 1, 1, 1.03485, -18.1191
112,'SABIA--440 ', 440.0000, 1, 1, 1, 1, 1.08389, -15.9436
113,'SABIA---13 ', 1.0000, 1, 1, 1, 1, 1.08579, -16.0506
120,'CARDEAL230 ', 230.0000, 1, 1, 1, 1, 1.03309, -12.9555
121,'CARDEAL-88 ', 88.0000, 1, 1, 1, 1, 1.00722, -16.8636
130,'CURIO--230 ', 230.0000, 1, 1, 1, 1, 1.05161, -14.4343
131,'CURIO--CS5 ', 440.0000, 1, 1, 1, 1, 1.08238, -11.8908
132,'CURIO--440 ', 440.0000, 1, 1, 1, 1, 1.09111, -11.2231
133,'CURIO---13 ', 1.0000, 1, 1, 1, 1, 1.09332, -11.0578
134,'CURIO---69 ', 69.0000, 1, 1, 1, 1, 1.01559, -19.8456
135,'CURIO--138 ', 138.0000, 1, 1, 1, 1, 1.00616, -20.4016
140,'SANHACO-69 ', 69.0000, 1, 1, 1, 1, 0.98433, -21.5192
150,'TIZIU--230 ', 230.0000, 1, 1, 1, 1, 1.02926, -13.8293
151,'TIZIU--138 ', 138.0000, 1, 1, 1, 1, 1.01437, -18.5664
160,'PARDAL-138 ', 138.0000, 1, 1, 1, 1, 1.02509, -19.7736
161,'PARDAL--69 ', 69.0000, 1, 1, 1, 1, 1.02114, -20.6319
170,'AZULAO-138 ', 138.0000, 1, 1, 1, 1, 1.02229, -19.3692
171,'AZULAO--69 ', 69.0000, 1, 1, 1, 1, 1.01302, -21.3171
180,'BICUDO-440 ', 440.0000, 1, 1, 1, 1, 1.08810, -16.3709
181,'BICUDO--69 ', 69.0000, 1, 1, 1, 1, 1.06401, -21.2017
182,'BICUDO--13 ', 1.0000, 1, 1, 1, 1, 1.06643, -21.1886
190,'CHOPIN-440 ', 440.0000, 1, 1, 1, 1, 1.09932, -15.9343
191,'CHOPIN-138 ', 138.0000, 1, 1, 1, 1, 1.06879, -21.7683
200,'TUCANO-230 ', 230.0000, 1, 2, 1, 1, 1.04689, 5.1043
210,'GAVIAO-230 ', 230.0000, 1, 2, 1, 1, 1.03935, 4.0392
220,'ARARA--230 ', 230.0000, 1, 2, 1, 1, 1.04496, -4.4437
221,'ARARA--CS5 ', 440.0000, 1, 2, 1, 1, 1.08290, -7.0202
222,'ARARA--440 ', 440.0000, 1, 2, 1, 1, 1.09360, -7.6908
223,'ARARA---13 ', 1.0000, 1, 2, 1, 1, 1.09630, -7.8564
224,'ARARA--138 ', 138.0000, 1, 2, 1, 1, 1.01272, -9.9612

```

---

230,	'PELICAN230	,	230.0000,	1,	2,	1,	1,	1.05427,	-10.4754											
231,	'PELICAN440	,	440.0000,	1,	2,	1,	1,	1.10138,	-13.5331											
232,	'PELICANO13	,	1.0000,	1,	2,	1,	1,	1.10399,	-13.6893											
240,	'CORUJA-230	,	230.0000,	1,	2,	1,	1,	1.04543,	-12.1728											
250,	'URUBU--230	,	230.0000,	1,	2,	1,	1,	1.02946,	-6.1894											
251,	'URUBU--138	,	138.0000,	1,	2,	1,	1,	1.01160,	-11.8854											
260,	'GARCA--230	,	230.0000,	1,	2,	1,	1,	1.02831,	-3.7973											
1110,	'SABIA--FIC	,	1.0000,	1,	1,	1,	1,	1.08579,	-16.0506											
1130,	'CURIO--FIC	,	1.0000,	1,	1,	1,	1,	1.09332,	-11.0578											
1180,	'BICUDO-FIC	,	1.0000,	1,	1,	1,	1,	1.06409,	-21.1886											
1220,	'ARARA--FIC	,	1.0000,	1,	2,	1,	1,	1.09630,	-7.8564											
1230,	'PELICANFIC	,	1.0000,	1,	2,	1,	1,	1.10399,	-13.6893											
0	/ END OF BUS DATA, BEGIN LOAD DATA																			
111,	'1 ' ,	1,	1,	1,	40.000,	10.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
121,	'1 ' ,	1,	1,	1,	120.000,	40.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
135,	'1 ' ,	1,	1,	1,	110.000,	40.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
140,	'1 ' ,	1,	1,	1,	70.000,	20.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
151,	'1 ' ,	1,	1,	1,	160.000,	60.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
161,	'1 ' ,	1,	1,	1,	40.000,	10.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
171,	'1 ' ,	1,	1,	1,	40.000,	10.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
181,	'1 ' ,	1,	1,	1,	130.000,	40.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
191,	'1 ' ,	1,	1,	1,	90.000,	20.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
224,	'1 ' ,	1,	2,	1,	110.000,	30.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
240,	'1 ' ,	1,	2,	1,	90.000,	10.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
251,	'1 ' ,	1,	2,	1,	80.000,	10.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
260,	'1 ' ,	1,	2,	1,	120.000,	50.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	0.000,	1
0	/ END OF LOAD DATA, BEGIN FIXED SHUNT DATA																			
131,	'1 ' ,	1,	0.000,	-80.000																
160,	'1 ' ,	1,	0.000,	40.000																
180,	'1 ' ,	1,	0.000,	-40.000																
182,	'1 ' ,	1,	0.000,	10.000																
190,	'1 ' ,	1,	0.000,	-80.000																
221,	'1 ' ,	1,	0.000,	-80.000																
260,	'1 ' ,	1,	0.000,	50.000																
0	/ END OF FIXED SHUNT DATA, BEGIN GENERATOR DATA																			
10,	'10',	85.103,	-14.565,	35.000,	-35.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,							
1,	100.0,	100.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0.0000,						
10,	'10',	85.103,	-14.565,	35.000,	-35.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,							
1,	100.0,	100.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0.0000,						
10,	'10',	85.103,	-14.565,	35.000,	-35.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,							
1,	100.0,	100.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0.0000,						
10,	'10',	85.103,	-14.565,	35.000,	-35.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,							
1,	100.0,	100.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0.0000,						
10,	'10',	0.000,	0.000,	35.000,	-35.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,							
0,	100.0,	100.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0.0000,						
11,	'10',	50.000,	-11.009,	25.000,	-25.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,							
1,	100.0,	75.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0.0000,						
11,	'10',	50.000,	-11.009,	25.000,	-25.000,	1.0300,	0,	100.000,	0.000,	0.100,	0.0000,	0.0000,	1.0000,							
1,	100.0,	75.000,	0.000,	1,	1.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0,	0.000,	0.0000,						



APÊNDICE A

0,	110,	130,'1 '	0.12800E-01,	0.48400E-01,	0.08530,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	110,	150,'1 '	0.24100E-01,	0.90900E-01,	0.16040,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	111,	170,'1 '	0.24100E-01,	0.50200E-01,	0.01180,	150.0,	0.0,	150.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	112,	180,'1 '	0.80000E-03,	0.95000E-02,	0.46420,	1050.0,	0.0,	1050.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	120,	130,'1 '	0.46100E-01,	0.17410E+00,	0.30720,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	120,	130,'2 '	0.46100E-01,	0.17410E+00,	0.30720,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	120,	150,'1 '	0.57600E-01,	0.21760E+00,	0.38400,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	131,	132,'1 '	0.00000E+00,	-0.10000E-01,	0.00000,	1050.0,	0.0,	1050.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	131,	221,'1 '	0.59000E-02,	0.71600E-01,	3.48200,	1050.0,	0.0,	1050.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	134,	140,'1 '	0.29100E-01,	0.50000E-01,	0.00110,	120.0,	0.0,	120.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	151,	160,'1 '	0.50800E-01,	0.10560E+00,	0.02480,	150.0,	0.0,	150.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	151,	160,'2 '	0.50800E-01,	0.10560E+00,	0.02480,	150.0,	0.0,	150.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	160,	170,'1 '	0.33000E-01,	0.68600E-01,	0.01610,	150.0,	0.0,	150.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	180,	190,'1 '	0.20000E-02,	0.23900E-01,	1.16100,	1050.0,	0.0,	1050.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	190,	231,'1 '	0.31000E-02,	0.38200E-01,	1.85700,	1050.0,	0.0,	1050.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	200,	210,'1 '	0.21800E-01,	0.82200E-01,	0.14510,	350.0,	0.0,	350.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	200,	220,'1 '	0.24600E-01,	0.92800E-01,	0.16390,	350.0,	0.0,	350.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	200,	220,'2 '	0.24600E-01,	0.92800E-01,	0.16390,	350.0,	0.0,	350.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	210,	260,'1 '	0.23000E-01,	0.87000E-01,	0.15360,	350.0,	0.0,	350.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	210,	260,'2 '	0.23000E-01,	0.87000E-01,	0.15360,	350.0,	0.0,	350.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	220,	230,'1 '	0.25900E-01,	0.97700E-01,	0.17240,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	221,	222,'1 '	0.00000E+00,	-0.10000E-01,	0.00000,	1050.0,	0.0,	1050.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	230,	240,'1 '	0.10500E-01,	0.39600E-01,	0.07000,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	230,	250,'1 '	0.16600E-01,	0.62900E-01,	0.11090,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	250,	260,'1 '	0.11300E-01,	0.42500E-01,	0.07510,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,

APÊNDICE A

250,	260,'2 '	0.11300E-01,	0.42500E-01,	0.07510,	300.0,	0.0,	300.0,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,	1,	1,	0.00,
0,	1.0000													
0 / END OF BRANCH DATA, BEGIN TRANSFORMER DATA														
10,	100,	0,'1 '	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '	' , 1,	0,	1.00000					
0.00000E+00,	0.21300E-01,	100.000												
1.00000,	0.00000,	0.00000,	550.00,	0.00,	550.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,	0,
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
11,	110,	0,'1 '	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '	' , 1,	0,	1.00000					
0.00000E+00,	0.38500E-01,	100.000												
1.00000,	0.00000,	0.00000,	350.00,	0.00,	350.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,	0,
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
20,	200,	0,'1 '	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '	' , 1,	0,	1.00000					
0.00000E+00,	0.27300E-01,	100.000												
1.00000,	0.00000,	0.00000,	600.00,	0.00,	600.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,	0,
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
21,	210,	0,'1 '	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '	' , 1,	0,	1.00000					
0.00000E+00,	0.17200E-01,	100.000												
1.00000,	0.00000,	0.00000,	720.00,	0.00,	720.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,	0,
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
110,	111,	0,'1 '	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '	' , 1,	0,	1.00000					
0.00000E+00,	0.91700E-01,	100.000												
1.00000,	0.00000,	0.00000,	170.00,	0.00,	170.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,	0,
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
110,	1110,	0,'1 '	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '	' , 1,	0,	1.00000					
0.00000E+00,	0.49200E-01,	100.000												
1.00000,	0.00000,	0.00000,	360.00,	0.00,	360.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,	0,
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
112,	1110,	0,'1 '	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '	' , 1,	0,	1.00000					
0.00000E+00,	-0.25000E-02,	100.000												
1.00000,	0.00000,	0.00000,	360.00,	0.00,	360.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,	0,
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
113,	1110,	0,'1 '	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '	' , 1,	0,	1.00000					
0.00000E+00,	0.37500E-01,	100.000												
1.00000,	0.00000,	0.00000,	120.00,	0.00,	120.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,	0,
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
120,	121,	0,'1 '	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '	' , 1,	0,	1.00000					
0.00000E+00,	0.59100E-01,	100.000												
1.00000,	0.00000,	0.00000,	160.00,	0.00,	160.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,	0,
0.00000,	0.00000													
1.00000,	0.00000													
130,	134,	0,'1 '	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '	' , 1,	0,	1.00000					
0.00000E+00,	0.20950E+00,	100.000												

APÊNDICE A

1.00000,	0.00000,	0.00000,	70.00,	0.00,	70.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,
0.00000,	0.00000												
1.00000,	0.00000												
130,	134,	0,'2 '	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '	'	1,	0,	1.00000			
0.00000E+00,	0.42830E+00,	100.000											
1.00000,	0.00000,	0.00000,	70.00,	0.00,	70.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,
0.00000,	0.00000												
1.00000,	0.00000												
130,	135,	0,'1 '	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '	'	1,	0,	1.00000			
0.00000E+00,	0.10000E+00,	100.000											
1.00000,	0.00000,	0.00000,	150.00,	0.00,	150.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,
0.00000,	0.00000												
1.00000,	0.00000												
130,	1130,	0,'1 '	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '	'	1,	0,	1.00000			
0.00000E+00,	0.49200E-01,	100.000											
1.00000,	0.00000,	0.00000,	360.00,	0.00,	360.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,
0.00000,	0.00000												
1.00000,	0.00000												
132,	1130,	0,'1 '	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '	'	1,	0,	1.00000			
0.00000E+00,	-0.25000E-02,	100.000											
1.00000,	0.00000,	0.00000,	360.00,	0.00,	360.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,
0.00000,	0.00000												
1.00000,	0.00000												
133,	1130,	0,'1 '	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '	'	1,	0,	1.00000			
0.00000E+00,	0.37500E-01,	100.000											
1.00000,	0.00000,	0.00000,	120.00,	0.00,	120.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,
0.00000,	0.00000												
1.00000,	0.00000												
150,	151,	0,'1 '	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '	'	1,	0,	1.00000			
0.00000E+00,	0.46400E-01,	100.000											
1.00000,	0.00000,	0.00000,	300.00,	0.00,	300.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,
0.00000,	0.00000												
1.00000,	0.00000												
160,	161,	0,'1 '	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '	'	1,	0,	1.00000			
0.00000E+00,	0.39200E-01,	100.000											
1.00000,	0.00000,	0.00000,	240.00,	0.00,	240.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,
0.00000,	0.00000												
1.00000,	0.00000												
170,	171,	0,'1 '	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '	'	1,	0,	1.00000			
0.00000E+00,	0.88000E-01,	100.000											
1.00000,	0.00000,	0.00000,	100.00,	0.00,	100.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,
0.00000,	0.00000												
1.00000,	0.00000												
180,	1180,	0,'1 '	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '	'	1,	0,	1.00000			
0.00000E+00,	0.74800E-01,	100.000											
1.00000,	0.00000,	0.00000,	200.00,	0.00,	200.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,
0.00000,	0.00000												
1.00000,	0.00000												
181,	1180,	0,'1 '	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1, '	'	1,	0,	1.00000			
0.00000E+00,	0.20000E-03,	100.000											

APÊNDICE A

1.00000,	0.00000,	0.00000,	200.00,	0.00,	200.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,
0.00000,	0.00000												
1.00000,	0.00000												
182,	1180,	0,'1'	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1,	'	'	1,	0,	1.00000		
0.00000E+00,	0.22000E-01,		100.000										
1.00000,	0.00000,	0.00000,	70.00,	0.00,	70.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,
0.00000,	0.00000												
1.00000,	0.00000												
190,	191,	0,'1'	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1,	'	'	1,	0,	1.00000		
0.00000E+00,	0.13270E+00,		100.000										
1.00000,	0.00000,	0.00000,	130.00,	0.00,	130.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,
0.00000,	0.00000												
1.00000,	0.00000												
220,	224,	0,'1'	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1,	'	'	1,	0,	1.00000		
0.00000E+00,	0.92500E-01,		100.000										
1.00000,	0.00000,	0.00000,	150.00,	0.00,	150.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,
0.00000,	0.00000												
1.00000,	0.00000												
220,	1220,	0,'1'	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1,	'	'	1,	0,	1.00000		
0.00000E+00,	0.49200E-01,		100.000										
1.00000,	0.00000,	0.00000,	360.00,	0.00,	360.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,
0.00000,	0.00000												
1.00000,	0.00000												
222,	1220,	0,'1'	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1,	'	'	1,	0,	1.00000		
0.00000E+00,	-0.25000E-02,		100.000										
1.00000,	0.00000,	0.00000,	360.00,	0.00,	360.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,
0.00000,	0.00000												
1.00000,	0.00000												
223,	1220,	0,'1'	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1,	'	'	1,	0,	1.00000		
0.00000E+00,	0.37500E-01,		100.000										
1.00000,	0.00000,	0.00000,	120.00,	0.00,	120.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,
0.00000,	0.00000												
1.00000,	0.00000												
230,	1230,	0,'1'	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1,	'	'	1,	0,	1.00000		
0.00000E+00,	0.49200E-01,		100.000										
1.00000,	0.00000,	0.00000,	360.00,	0.00,	360.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,
0.00000,	0.00000												
1.00000,	0.00000												
231,	1230,	0,'1'	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1,	'	'	1,	0,	1.00000		
0.00000E+00,	-0.25000E-02,		100.000										
1.00000,	0.00000,	0.00000,	360.00,	0.00,	360.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,
0.00000,	0.00000												
1.00000,	0.00000												
232,	1230,	0,'1'	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1,	'	'	1,	0,	1.00000		
0.00000E+00,	0.37500E-01,		100.000										
1.00000,	0.00000,	0.00000,	120.00,	0.00,	120.00,	0,	0,	1.00000,	1.00000,	0.00000,	0.00000,	0,	0,
0.00000,	0.00000												
1.00000,	0.00000												
250,	251,	0,'1'	1, 1, 1,	0.000,	0.000,	1,	'	'	1,	0,	1.00000		
0.00000E+00,	0.12920E+00,		100.000										

```

1.00000, 0.00000, 0.00000, 100.00, 0.00, 100.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000, 0, 0,
0.00000, 0.00000
1.00000, 0.00000
16, 160, 0,'1 ', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, '-TRF_PARDAL-', 1, 0, 1.00000
0.00000E+00, 0.80000E-01, 100.000
1.00000, 0.00000, 0.00000, 12.00, 0.00, 12.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000, 0, 0,
0.00000, 0.00000
1.00000, 0.00000
24, 240, 0,'1 ', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, '-TRF_CORUJA-', 1, 0, 1.00000
0.00000E+00, 0.80000E-01, 100.000
1.00000, 0.00000, 0.00000, 12.00, 0.00, 12.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000, 0, 0,
0.00000, 0.00000
1.00000, 0.00000
0 / END OF TRANSFORMER DATA, BEGIN AREA DATA
1, 0, 0.000, 0.000, 'AREA A '
2, 0, 0.000, 0.000, 'AREA B '
0 / END OF AREA DATA, BEGIN TWO-TERMINAL DC DATA
0 / END OF TWO-TERMINAL DC DATA, BEGIN VSC DATA
0 / END OF VSC DATA, BEGIN IMPEDANCE CORRECTION DATA
0 / END OF IMPEDANCE CORRECTION DATA, BEGIN MULTI-TERMINAL DC DATA
0 / END OF MULTI-TERMINAL DC DATA, BEGIN MULTI-SECTION LINE DATA
0 / END OF MULTI-SECTION LINE DATA, BEGIN ZONE DATA
0 / END OF ZONE DATA, BEGIN INTER-AREA TRANSFER DATA
0 / END OF INTER-AREA TRANSFER DATA, BEGIN OWNER DATA
0 / END OF OWNER DATA, BEGIN FACTS CONTROL DEVICE DATA
0 / END OF FACTS CONTROL DEVICE DATA, BEGIN SWITCHED SHUNT DATA
0 / END OF SWITCHED SHUNT DATA

```

**(.DYR) – Arquivo de Dados Dinâmicos**

```

SM04
10 2 1 3 0 0.0000 0.0000 0.0000 0 0 10 'xxxxxxxx'
1.014 0.314 0.280 0.770 0.000 0.280 0.005 100.0 0.163 0.000 6.550 0.039 0.000 3.120
2.00 0.071 0.000 0.000 /
15.0 0.02 0.010 1.06 -999. 999. -6.73 6.73 -6.73 6.73 0.0 1.0 /
0.15 0.15 0.03 0.03 0.0001 0.0001 1.5 1.00 -0.1 0.1 1 /
1.2 0.5 1.5 0.05 7.0 0.38 0.05 -2.0 0.98 -2.0 2.0 0.15 0.0 1.0 0.5
1.0 /
SM05
11 2 0 9 0 0.0000 0.0000 0.0100 0 0 10 'xxxxxxxx'
1.050 0.185 0.130 0.980 0.360 0.130 0.0031 75.0 0.070 0.000 6.100 0.038 0.300 6.187
2.000 0.099 0.000 0.000 /
15.0 0.02 0.010 1.06 -999. 999. -6.73 6.73 -6.73 6.73 0.0 /
0.05 0.2 1.2 0.0 0.0 0.3 /
SM04
20 2 1 3 0 0.0000 0.0000 0.0000 0 0 10 'xxxxxxxx'

```



APÉNDICE A

```

2.000      1.060      0.315      0.250      0.610      0.000      0.250      0.0024      115.0      0.147      0.000      8.680      0.040      0.000      3.817
0.080      0.000      0.000      /
15.0      0.02      0.010      1.06      -999.      999.      -6.73      6.73      -6.73      6.73      0.0      /
0.15      0.15      0.03      0.03      0.0001      0.0001      1.5      1.00      -0.1      0.1      1      /
1.2      0.5      1.5      0.05      7.0      0.38      0.05      -2.0      0.98      -2.0      2.0      /
1.0      /
SM04
21  4  1  3  0  0.0000  0.0000  0.0000  0  0  10  'xxxxxxxx'
0.920      0.300      0.220      0.510      0.000      0.220      0.002      158.0      0.130      0.000      5.200      0.029      0.000      3.177
2.000      0.034      0.000      0.000      /
187.0      0.89      1.0      1.15      1.0      1.0      0.058      0.62      -1.7      1.7      1.0      0.0      1.2      0.0      1.0
1.0      /
0.15      0.15      0.03      0.03      0.0001      0.0001      1.5      1.00      -0.1      0.1      1      /
1.2      0.5      1.5      0.05      7.0      0.38      0.05      -2.0      0.98      -2.0      2.0      /
1.0      /
WGEN01
! (Bus) GRP (-Bus-Name-)
  16 10 'xxxxxx'
! (-Base-) (-Prate) (-Xll-) (-Tc-) (-Kvi-) (XQmx) (XQmn) (-Kqi-) (IPmx) (-T5-) (-Tpc-) (-Pmx-) (-Pmn-) (-dPmx-) (-dPmn-) (-Kpt-) (-Kit-) (-Kpc-) (-
Kic-) (-Kpp-) (-Kip-) (-Tp-) (Tmx) (Tmn) (dTmx) (dTmn) (-Ht-) (-Hg-) (-Dtg-) (-Ktg-) (-Wb-) (--Kar--) (--Kb--) (--Vw--)
33.      30.      0.55      0.02      15.      0.3      -0.35      0.05      1.1      5.      0.05      1.12      0.1      0.45      -0.45      3.0      0.6      3.0
30.      150.      25.      0.3      27.      1.      10.      -10.      3.82      0.57      1.5      1.246      125.66      0.00159      56.6      14. /
WGEN01
! (Bus) GRP (-Bus-Name-)
  24 10 'xxxxxx'
! (-Base-) (-Prate) (-Xll-) (-Tc-) (-Kvi-) (XQmx) (XQmn) (-Kqi-) (IPmx) (-T5-) (-Tpc-) (-Pmx-) (-Pmn-) (-dPmx-) (-dPmn-) (-Kpt-) (-Kit-) (-Kpc-) (-
Kic-) (-Kpp-) (-Kip-) (-Tp-) (Tmx) (Tmn) (dTmx) (dTmn) (-Ht-) (-Hg-) (-Dtg-) (-Ktg-) (-Wb-) (--Kar--) (--Kb--) (--Vw--)
33.      30.      0.55      0.02      15.      0.3      -0.35      0.05      1.1      5.      0.05      1.12      0.1      0.45      -0.45      3.0      0.6      3.0
30.      150.      25.      0.3      27.      1.      10.      -10.      3.82      0.57      1.5      1.246      125.66      0.00159      56.6      14. /
-999 /
  1 A 2  1.00  0.0  0.00  1.0  0.0  0.0  0.0  0.  2.  1.  0.  2.  1.  0.
  2 A 2  1.00  0.0  0.00  1.0  0.0  0.0  0.0  0.  2.  1.  0.  2.  1.  0.
-999 /
  1 0.8 0.08 13.8  1 1.2 0.2 138.      1 0.6 13.8      1 1.3 13.8  1 0.1 13.8  1 1 0.35 1 140. 70. 10 /
-999 /
/

```

# APÊNDICE B

## RESULTADOS PARA O SISTEMA

### *BRAZILIAN BIRDS*

#### B.1 CASO 1: BASE

ANÁLISE ESTÁTICA: Contingências "N-1"							
BARRA	NOME	EVENTO 1	LS	Status	RLS	Status	ILHAMENTO
10	CANARIO-18	TRNOR:10-100-1	357,21		357,21		Barra Ger.
11	SABIA---13	TRNOR:11-110-1	200,00		200,00		Barra Ger.
100	CANARIO230	TRNOR:10-100-1	357,21		357,21		Barra Ger.
110	SABIA--230	TRNOR:11-110-1	200,00		200,00		Barra Ger.
120	CARDEAL230	TRNOR:120-121-1	120,00		120,00		Barra Carga
121	CARDEAL-88	TRNOR:120-121-1	120,00		120,00		Barra Carga
130	CURIO--230	TRNOR:130-134-1	1,84	C	1,84	C	
130	CURIO--230	TRNOR:130-134-2	1,84	C	1,84	C	
130	CURIO--230	TRNOR:130-135-1	110,00		110,00		Barra Carga
134	CURIO---69	TLINE:134-140-1	70,00		70,00		Barra Carga
134	CURIO---69	TRNOR:130-134-1	1,84	C	1,84	C	
134	CURIO---69	TRNOR:130-134-2	1,84	C	1,84	C	
135	CURIO--138	TRNOR:130-135-1	110,00		110,00		Barra Carga
140	SANHACO-69	TLINE:134-140-1	70,00		70,00		Barra Carga
150	TIZIU--230	TRNOR:150-151-1	110,97	C	110,97	C	
151	TIZIU--138	TRNOR:150-151-1	110,97	C	110,97	C	
160	PARDAL-138	TRNOR:160-161-1	40,00		40,00		Barra Carga
161	PARDAL--69	TRNOR:160-161-1	40,00		40,00		Barra Carga
170	AZULAO-138	TRNOR:170-171-1	40,00		40,00		Barra Carga
171	AZULAO--69	TRNOR:170-171-1	40,00		40,00		Barra Carga
180	BICUDO-440	TRNOR:180-1180-1	130,00		130,00		Subsistema
181	BICUDO--69	TRNOR:181-1180-1	130,00		130,00		Barra Carga
190	CHOPIN-440	TRNOR:190-191-1	90,00		90,00		Barra Carga
191	CHOPIN-138	TRNOR:190-191-1	90,00		90,00		Barra Carga
1180	BICUDO-FIC	TRNOR:180-1180-1	130,00		130,00		Subsistema
1180	BICUDO-FIC	TRNOR:181-1180-1	130,00		130,00		Barra Carga
20	TUCANO--13	TRNOR:20-200-1	400,00		400,00		Barra Ger.
21	GAVIAO--13	TRNOR:21-210-1	300,00		300,00		Barra Ger.
200	TUCANO-230	TRNOR:20-200-1	400,00		400,00		Barra Ger.
210	GAVIAO-230	TRNOR:21-210-1	300,00		300,00		Barra Ger.
220	ARARA--230	TRNOR:220-224-1	110,00		110,00		Barra Carga

BARRA	NOME	EVENTO 1	LS	Status	RLS	Status	ILHAMENTO
224	ARARA--138	TRNOR:220-224-1	110,00		110,00		Barra Carga
230	PELICAN230	TLINE:230-240-1	90,00		90,00		Barra Carga
240	CORUJA-230	TLINE:230-240-1	90,00		90,00		Barra Carga
250	URUBU--230	TRNOR:250-251-1	80,00		80,00		Barra Carga
251	URUBU--138	TRNOR:250-251-1	80,00		80,00		Barra Carga

ANÁLISE ESTÁTICA: Contingências "N-2"								
BARRA	NOME	EVENTO 1	EVENTO 2	LS	Status	RLS	Status	ILHAMENTO
100	CANARIO230	TLINE:100-120-1	TLINE:100-150-1	45,57	C	0	C	
100	CANARIO230	TLINE:100-120-1	TLINE:100-150-2	45,57	C	0	C	
100	CANARIO230	TLINE:100-120-1	TRNOR:10-100-1	357,21		357,21		Barra Ger.
100	CANARIO230	TLINE:100-150-1	TLINE:100-150-2	48,04	C	0	C	
100	CANARIO230	TLINE:100-150-1	TRNOR:10-100-1	357,21		357,21		Barra Ger.
100	CANARIO230	TLINE:100-150-2	TRNOR:10-100-1	357,21		357,21		Barra Ger.
110	SABIA--230	TLINE:110-130-1	TRNOR:11-110-1	200,00		200,00		Barra Ger.
110	SABIA--230	TLINE:110-150-1	TRNOR:11-110-1	200,00		200,00		Barra Ger.
110	SABIA--230	TRNOR:11-110-1	TRNOR:110-111-1	200,00		200,00		Barra Ger.
110	SABIA--230	TRNOR:11-110-1	TRNOR:110-1110-1	200,00		200,00		Barra Ger.
111	SABIA--138	TLINE:111-170-1	TRNOR:110-111-1	87,12		87,12		Barra Carga
112	SABIA--440	TLINE:112-180-1	TRNOR:112-1110-1	90,59		90,59		Barra Isolada
120	CARDEAL230	TLINE:100-120-1	TRNOR:120-121-1	157,93		157,93		Barra Carga
120	CARDEAL230	TLINE:120-130-1	TRNOR:120-121-1	134,77		134,77		Barra Carga
120	CARDEAL230	TLINE:120-130-2	TRNOR:120-121-1	134,77		134,77		Barra Carga
120	CARDEAL230	TLINE:120-150-1	TRNOR:120-121-1	128,40		128,40		Barra Carga
130	CURIO--230	TLINE:110-130-1	TRNOR:130-134-1	1,84	C	1,84	C	
130	CURIO--230	TLINE:110-130-1	TRNOR:130-134-2	1,84	C	1,84	C	
130	CURIO--230	TLINE:110-130-1	TRNOR:130-135-1	110,00		110,00		Barra Carga
130	CURIO--230	TLINE:120-130-1	TRNOR:130-134-1	1,84	C	1,84	C	
130	CURIO--230	TLINE:120-130-1	TRNOR:130-134-2	1,84	C	1,84	C	
130	CURIO--230	TLINE:120-130-1	TRNOR:130-135-1	110,00		110,00		Barra Carga
130	CURIO--230	TLINE:120-130-2	TRNOR:130-134-1	1,84	C	1,84	C	
130	CURIO--230	TLINE:120-130-2	TRNOR:130-134-2	1,84	C	1,84	C	
130	CURIO--230	TLINE:120-130-2	TRNOR:130-135-1	110,00		110,00		Barra Carga
130	CURIO--230	TRNOR:130-134-1	TRNOR:130-134-2	71,84		71,84		Subsistema
130	CURIO--230	TRNOR:130-134-1	TRNOR:130-135-1	158,24		158,24		Barra Carga
130	CURIO--230	TRNOR:130-134-1	TRNOR:130-1130-1	1,84	C	1,84	C	
130	CURIO--230	TRNOR:130-134-2	TRNOR:130-135-1	133,60		133,60		Barra Carga
130	CURIO--230	TRNOR:130-134-2	TRNOR:130-1130-1	1,84	C	1,84	C	
130	CURIO--230	TRNOR:130-135-1	TRNOR:130-1130-1	132,69		132,69		Barra Carga
131	CURIO--CS5	TLINE:131-132-1	TLINE:131-221-1	132,69		132,69		Barra Isolada
134	CURIO---69	TLINE:134-140-1	TRNOR:130-134-1	71,84		71,84		Barra Carga
134	CURIO---69	TLINE:134-140-1	TRNOR:130-134-2	71,84		71,84		Barra Carga

BARRA	NOME	EVENTO 1	EVENTO 2	LS	Status	RLS	Status	ILHAMENTO
134	CURIO---69	TRNOR:130-134-1	TRNOR:130-134-2	71,84		71,84		Subsistema
150	TIZIU--230	TLINE:100-150-1	TLINE:100-150-2	48,04	C	0	C	
150	TIZIU--230	TLINE:100-150-1	TRNOR:150-151-1	110,97	C	110,97	C	
150	TIZIU--230	TLINE:100-150-2	TRNOR:150-151-1	110,97	C	110,97	C	
150	TIZIU--230	TLINE:110-150-1	TRNOR:150-151-1	110,97	C	110,97	C	
150	TIZIU--230	TLINE:120-150-1	TRNOR:150-151-1	110,97	C	110,97	C	
151	TIZIU--138	TLINE:151-160-1	TRNOR:150-151-1	110,97	C	110,97	C	
151	TIZIU--138	TLINE:151-160-2	TRNOR:150-151-1	110,97	C	110,97	C	
160	PARDAL-138	TLINE:151-160-1	TRNOR:160-161-1	40,00		40,00		Barra Carga
160	PARDAL-138	TLINE:151-160-2	TRNOR:160-161-1	40,00		40,00		Barra Carga
160	PARDAL-138	TLINE:160-170-1	TRNOR:160-161-1	40,00		40,00		Barra Carga
170	AZULAO-138	TLINE:111-170-1	TLINE:160-170-1	40,00		40,00		Subsistema
170	AZULAO-138	TLINE:111-170-1	TRNOR:170-171-1	46,51		46,51		Barra Carga
170	AZULAO-138	TLINE:160-170-1	TRNOR:170-171-1	46,51		46,51		Barra Carga
180	BICUDO-440	TLINE:112-180-1	TLINE:180-190-1	130,00		130,00		Subsistema
180	BICUDO-440	TLINE:112-180-1	TRNOR:180-1180-1	39,47		39,47		Subsistema
180	BICUDO-440	TLINE:180-190-1	TRNOR:180-1180-1	90,53		90,53		Subsistema
190	CHOPIN-440	TLINE:180-190-1	TLINE:190-231-1	90,00		90,00		Subsistema
190	CHOPIN-440	TLINE:180-190-1	TRNOR:190-191-1	129,51		129,51		Barra Carga
190	CHOPIN-440	TLINE:190-231-1	TRNOR:190-191-1	129,51		129,51		Barra Carga
1180	BICUDO-FIC	TRNOR:180-1180-1	TRNOR:182-1180-1	130,00		130,00		Subsistema
1180	BICUDO-FIC	TRNOR:181-1180-1	TRNOR:182-1180-1	130,00		130,00		Barra Carga
200	TUCANO-230	TLINE:200-210-1	TLINE:200-220-1	50,00	D	0	C	
200	TUCANO-230	TLINE:200-210-1	TLINE:200-220-2	50,00	D	0	C	
200	TUCANO-230	TLINE:200-210-1	TRNOR:20-200-1	400,00		400,00		Barra Ger.
200	TUCANO-230	TLINE:200-220-1	TLINE:200-220-2	183,79	D	0,00	C	
200	TUCANO-230	TLINE:200-220-1	TRNOR:20-200-1	400,00		400,00		Barra Ger.
200	TUCANO-230	TLINE:200-220-2	TRNOR:20-200-1	400,00		400,00		Barra Ger.
210	GAVIAO-230	TLINE:200-210-1	TRNOR:21-210-1	327,82		327,82		Barra Ger.
210	GAVIAO-230	TLINE:210-260-1	TLINE:210-260-2	139,65	C	0	C	
210	GAVIAO-230	TLINE:210-260-1	TRNOR:21-210-1	300,00		300,00		Barra Ger.
210	GAVIAO-230	TLINE:210-260-2	TRNOR:21-210-1	300,00		300,00		Barra Ger.
220	ARARA--230	TLINE:200-220-1	TLINE:200-220-2	183,79	D	0	C	
220	ARARA--230	TLINE:200-220-1	TRNOR:220-224-1	178,04		178,04		Barra Carga
220	ARARA--230	TLINE:200-220-2	TRNOR:220-224-1	178,04		178,04		Barra Carga
220	ARARA--230	TLINE:220-230-1	TRNOR:220-224-1	222,33		222,33		Barra Carga
220	ARARA--230	TLINE:220-230-1	TRNOR:220-1220-1	57,84	D	0	C	
220	ARARA--230	TRNOR:220-224-1	TRNOR:220-1220-1	243,74		243,74		Barra Carga
221	ARARA--CS5	TLINE:131-221-1	TLINE:221-222-1	133,74		133,74		Barra Isolada
230	PELICAN230	TLINE:220-230-1	TLINE:230-240-1	109,14		109,14		Barra Carga
230	PELICAN230	TLINE:230-240-1	TLINE:230-250-1	111,77		111,77		Barra Carga
230	PELICAN230	TLINE:230-240-1	TRNOR:230-1230-1	220,91		220,91		Barra Carga
231	PELICAN440	TLINE:190-231-1	TRNOR:231-1230-1	130,04		130,04		Barra Isolada
250	URUBU--230	TLINE:230-250-1	TRNOR:250-251-1	193,98		193,98		Barra Carga

BARRA	NOME	EVENTO 1	EVENTO 2	LS	Status	RLS	Status	ILHAMENTO
250	URUBU--230	TLINE:250-260-1	TRNOR:250-251-1	96,99		96,99		Barra Carga
250	URUBU--230	TLINE:250-260-2	TRNOR:250-251-1	96,99		96,99		Barra Carga
260	GARCA--230	TLINE:210-260-1	TLINE:210-260-2	139,65	C	0	C	

CLASSIFICAÇÃO ESTÁTICA DE SUBESTAÇÕES (COMPLETO)							
BARRA	NOME	CTG	LS	RLS	TOTAL	PESOS	SPI
200	TUCANO-230	(N-1)	400,00	400,00	800,00	0,10	
200	TUCANO-230	(N-2)	1483,79	1200,00	2683,79	0,01	106,84
100	CANARIO230	(N-1)	357,21	357,21	714,43	0,10	
100	CANARIO230	(N-2)	1210,82	1071,64	2282,46	0,01	94,27
20	TUCANO--13	(N-1)	400,00	400,00	800,00	0,10	
20	TUCANO--13	(N-2)				0,01	80,00
210	GAVIAO-230	(N-1)	300,00	300,00	600,00	0,10	
210	GAVIAO-230	(N-2)	1067,47	927,82	1995,29	0,01	79,95
10	CANARIO-18	(N-1)	357,21	357,21	714,43	0,10	
10	CANARIO-18	(N-2)				0,01	71,44
21	GAVIAO--13	(N-1)	300,00	300,00	600,00	0,10	
21	GAVIAO--13	(N-2)				0,01	60,00
1180	BICUDO-FIC	(N-1)	260,00	260,00	520,00	0,10	
1180	BICUDO-FIC	(N-2)	260,00	260,00	520,00	0,01	57,20
110	SABIA--230	(N-1)	200,00	200,00	400,00	0,10	
110	SABIA--230	(N-2)	800,00	800,00	1600,00	0,01	56,00
220	ARARA--230	(N-1)	110,00	110,00	220,00	0,10	
220	ARARA--230	(N-2)	1063,78	822,14	1885,92	0,01	40,86
11	SABIA---13	(N-1)	200,00	200,00	400,00	0,10	
11	SABIA---13	(N-2)				0,01	40,00
130	CURIO--230	(N-1)	113,68	113,68	227,36	0,10	
130	CURIO--230	(N-2)	841,08	841,08	1682,17	0,01	39,56
120	CARDEAL230	(N-1)	120,00	120,00	240,00	0,10	
120	CARDEAL230	(N-2)	555,87	555,87	1111,73	0,01	35,12
150	TIZIU--230	(N-1)	110,97	110,97	221,94	0,10	
150	TIZIU--230	(N-2)	491,93	443,88	935,81	0,01	31,55
180	BICUDO-440	(N-1)	130,00	130,00	260,00	0,10	
180	BICUDO-440	(N-2)	260,00	260,00	520,00	0,01	31,20
230	PELICAN230	(N-1)	90,00	90,00	180,00	0,10	
230	PELICAN230	(N-2)	441,82	441,82	883,65	0,01	26,84
151	TIZIU--138	(N-1)	110,97	110,97	221,94	0,10	
151	TIZIU--138	(N-2)	221,94	221,94	443,88	0,01	26,63
181	BICUDO--69	(N-1)	130,00	130,00	260,00	0,10	
181	BICUDO--69	(N-2)				0,01	26,00
190	CHOPIN-440	(N-1)	90,00	90,00	180,00	0,10	
190	CHOPIN-440	(N-2)	349,01	349,01	698,02	0,01	24,98

BARRA	NOME	CTG	LS	RLS	TOTAL	PESOS	SPI
121	CARDEAL-88	(N-1)	120,00	120,00	240,00	0,10	
121	CARDEAL-88	(N-2)				0,01	24,00
250	URUBU--230	(N-1)	80,00	80,00	160,00	0,10	
250	URUBU--230	(N-2)	387,96	387,96	775,91	0,01	23,76
135	CURIO--138	(N-1)	110,00	110,00	220,00	0,10	
135	CURIO--138	(N-2)				0,01	22,00
224	ARARA--138	(N-1)	110,00	110,00	220,00	0,10	
224	ARARA--138	(N-2)				0,01	22,00
134	CURIO---69	(N-1)	73,68	73,68	147,36	0,10	
134	CURIO---69	(N-2)	215,52	215,52	431,03	0,01	19,05
240	CORUJA-230	(N-1)	90,00	90,00	180,00	0,10	
240	CORUJA-230	(N-2)				0,01	18,00
191	CHOPIN-138	(N-1)	90,00	90,00	180,00	0,10	
191	CHOPIN-138	(N-2)				0,01	18,00
251	URUBU--138	(N-1)	80,00	80,00	160,00	0,10	
251	URUBU--138	(N-2)				0,01	16,00
140	SANHACO-69	(N-1)	70,00	70,00	140,00	0,10	
140	SANHACO-69	(N-2)				0,01	14,00
170	AZULAO-138	(N-1)	40,00	40,00	80,00	0,10	
170	AZULAO-138	(N-2)	133,02	133,02	266,04	0,01	10,66
160	PARDAL-138	(N-1)	40,00	40,00	80,00	0,10	
160	PARDAL-138	(N-2)	120,00	120,00	240,00	0,01	10,40
171	AZULAO--69	(N-1)	40,00	40,00	80,00	0,10	
171	AZULAO--69	(N-2)				0,01	8,00
161	PARDAL--69	(N-1)	40,00	40,00	80,00	0,10	
161	PARDAL--69	(N-2)				0,01	8,00
221	ARARA--CS5	(N-1)				0,10	
221	ARARA--CS5	(N-2)	133,74	133,74	267,49	0,01	2,67
131	CURIO--CS5	(N-1)				0,10	
131	CURIO--CS5	(N-2)	132,69	132,69	265,39	0,01	2,65
231	PELICAN440	(N-1)				0,10	
231	PELICAN440	(N-2)	130,04	130,04	260,07	0,01	2,60
112	SABIA--440	(N-1)				0,10	
112	SABIA--440	(N-2)	90,59	90,59	181,18	0,01	1,81
111	SABIA--138	(N-1)				0,10	
111	SABIA--138	(N-2)	87,12	87,12	174,25	0,01	1,74
260	GARCA--230	(N-1)				0,10	
260	GARCA--230	(N-2)	139,65		139,65	0,01	1,40

<b>CLASSIFICAÇÃO ESTÁTICA DE SUBESTAÇÕES (SIMPLIFICADO)</b>					
<b>BARRA</b>	<b>NOME</b>	<b>CTG</b>	<b>RLS</b>	<b>PESOS</b>	<b>SPI</b>
200	TUCANO-230	(N-1)	400,00	0,10	
200	TUCANO-230	(N-2)	1200,00	0,01	52,00
100	CANARIO230	(N-1)	357,21	0,10	
100	CANARIO230	(N-2)	1071,64	0,01	46,44
20	TUCANO--13	(N-1)	400,00	0,10	
20	TUCANO--13	(N-2)		0,01	40,00
210	GAVIAO-230	(N-1)	300,00	0,10	
210	GAVIAO-230	(N-2)	927,82	0,01	39,28
10	CANARIO-18	(N-1)	357,21	0,10	
10	CANARIO-18	(N-2)		0,01	35,72
21	GAVIAO--13	(N-1)	300,00	0,10	
21	GAVIAO--13	(N-2)		0,01	30,00
1180	BICUDO-FIC	(N-1)	260,00	0,10	
1180	BICUDO-FIC	(N-2)	260,00	0,01	28,60
110	SABIA--230	(N-1)	200,00	0,10	
110	SABIA--230	(N-2)	800,00	0,01	28,00
11	SABIA---13	(N-1)	200,00	0,10	
11	SABIA---13	(N-2)		0,01	20,00
130	CURIO--230	(N-1)	113,68	0,10	
130	CURIO--230	(N-2)	841,08	0,01	19,78
220	ARARA--230	(N-1)	110,00	0,10	
220	ARARA--230	(N-2)	822,14	0,01	19,22
120	CARDEAL230	(N-1)	120,00	0,10	
120	CARDEAL230	(N-2)	555,87	0,01	17,56
180	BICUDO-440	(N-1)	130,00	0,10	
180	BICUDO-440	(N-2)	260,00	0,01	15,60
150	TIZIU--230	(N-1)	110,97	0,10	
150	TIZIU--230	(N-2)	443,88	0,01	15,54
230	PELICAN230	(N-1)	90,00	0,10	
230	PELICAN230	(N-2)	441,82	0,01	13,42
151	TIZIU--138	(N-1)	110,97	0,10	
151	TIZIU--138	(N-2)	221,94	0,01	13,32
181	BICUDO--69	(N-1)	130,00	0,10	
181	BICUDO--69	(N-2)		0,01	13,00
190	CHOPIN-440	(N-1)	90,00	0,10	
190	CHOPIN-440	(N-2)	349,01	0,01	12,49
121	CARDEAL-88	(N-1)	120,00	0,10	
121	CARDEAL-88	(N-2)		0,01	12,00
250	URUBU--230	(N-1)	80,00	0,10	
250	URUBU--230	(N-2)	387,96	0,01	11,88
224	ARARA--138	(N-1)	110,00	0,10	
224	ARARA--138	(N-2)		0,01	11,00

BARRA	NOME	CTG	RLS	PESOS	SPI
135	CURIO--138	(N-1)	110,00	0,10	
135	CURIO--138	(N-2)		0,01	11,00
134	CURIO--69	(N-1)	73,68	0,10	
134	CURIO--69	(N-2)	215,52	0,01	9,52
191	CHOPIN-138	(N-1)	90,00	0,10	
191	CHOPIN-138	(N-2)		0,01	9,00
240	CORUJA-230	(N-1)	90,00	0,10	
240	CORUJA-230	(N-2)		0,01	9,00
251	URUBU--138	(N-1)	80,00	0,10	
251	URUBU--138	(N-2)		0,01	8,00
140	SANHACO-69	(N-1)	70,00	0,10	
140	SANHACO-69	(N-2)		0,01	7,00
170	AZULAO-138	(N-1)	40,00	0,10	
170	AZULAO-138	(N-2)	133,02	0,01	5,33
160	PARDAL-138	(N-1)	40,00	0,10	
160	PARDAL-138	(N-2)	120,00	0,01	5,20
161	PARDAL--69	(N-1)	40,00	0,10	
161	PARDAL--69	(N-2)		0,01	4,00
171	AZULAO--69	(N-1)	40,00	0,10	
171	AZULAO--69	(N-2)		0,01	4,00
221	ARARA--CS5	(N-1)		0,10	
221	ARARA--CS5	(N-2)	133,74	0,01	1,34
131	CURIO--CS5	(N-1)		0,10	
131	CURIO--CS5	(N-2)	132,69	0,01	1,33
231	PELICAN440	(N-1)		0,10	
231	PELICAN440	(N-2)	130,04	0,01	1,30
112	SABIA--440	(N-1)		0,10	
112	SABIA--440	(N-2)	90,59	0,01	0,91
111	SABIA--138	(N-1)		0,10	
111	SABIA--138	(N-2)	87,12	0,01	0,87

CLASSIFICAÇÃO DE SUBESTAÇÕES (ESTABILIDADE TRANSITÓRIA) – Caso 1				
BARRA	NOME	CTG	AS	ANU
222	ARARA--440	(N-1)	0,1610	0
100	CANARIO230	(N-1)	0,1511	0
1220	ARARA--FIC	(N-1)	0,1080	0
231	PELICAN440	(N-1)	0,1055	0
10	CANARIO-18	(N-1)	0,1025	0
1230	PELICANFIC	(N-1)	0,0920	0
131	CURIO--CS5	(N-1)	0,0917	0
221	ARARA--CS5	(N-1)	0,0842	0



BARRA	NOME	CTG	AS	ANU
11	SABIA---13	(N-1)	0,0710	0
132	CURIO--440	(N-1)	0,0595	0
150	TIZIU--230	(N-1)	0,0579	0
110	SABIA--230	(N-1)	0,0572	0
200	TUCANO-230	(N-1)	0,0534	0
120	CARDEAL230	(N-1)	0,0518	0
230	PELICAN230	(N-1)	0,0475	0
190	CHOPIN-440	(N-1)	0,0463	0
151	TIZIU--138	(N-1)	0,0437	0
1130	CURIO--FIC	(N-1)	0,0428	0
220	ARARA--230	(N-1)	0,0332	0
130	CURIO--230	(N-1)	0,0331	0
111	SABIA--138	(N-1)	0,0328	0
210	GAVIAO-230	(N-1)	0,0305	0
1110	SABIA--FIC	(N-1)	0,0292	0
121	CARDEAL-88	(N-1)	0,0290	0
160	PARDAL-138	(N-1)	0,0289	0
250	URUBU--230	(N-1)	0,0278	0
180	BICUDO-440	(N-1)	0,0273	0
170	AZULAO-138	(N-1)	0,0262	0
112	SABIA--440	(N-1)	0,0253	0
260	GARCA--230	(N-1)	0,0238	0
113	SABIA---13	(N-1)	0,0230	0
182	BICUDO--13	(N-1)	0,0180	0
133	CURIO---13	(N-1)	0,0150	0
251	URUBU--138	(N-1)	0,0140	0
161	PARDAL--69	(N-1)	0,0115	0
134	CURIO---69	(N-1)	0,0115	0
240	CORUJA-230	(N-1)	0,0110	0
171	AZULAO--69	(N-1)	0,0100	0
191	CHOPIN-138	(N-1)	0,0095	0
135	CURIO--138	(N-1)	0,0090	0
1180	BICUDO-FIC	(N-1)	0,0067	0
21	GAVIAO--13	(N-1)	0	0
20	TUCANO--13	(N-1)	0	0
140	SANHACO-69	(N-1)	0	0
224	ARARA--138	(N-1)	0	0
223	ARARA---13	(N-1)	0	0
181	BICUDO--69	(N-1)	0	0
232	PELICANO13	(N-1)	0	0

<b>CLASSIFICAÇÃO DE SUBESTAÇÕES (ESTABILIDADE TRANSITÓRIA) – Caso 1.a</b>				
<b>BARRA</b>	<b>NOME</b>	<b>CTG</b>	<b>AS</b>	<b>ANU</b>
100	CANARIO230	(N-1)	0,5229	0,7500
222	ARARA--440	(N-1)	0,1985	0
221	ARARA--CS5	(N-1)	0,1502	0
1220	ARARA--FIC	(N-1)	0,1412	0
231	PELICAN440	(N-1)	0,1410	0
11	SABIA---13	(N-1)	0,1370	0
131	CURIO--CS5	(N-1)	0,1362	0
1230	PELICANFIC	(N-1)	0,1223	0
150	TIZIU--230	(N-1)	0,1203	0
10	CANARIO-18	(N-1)	0,1180	0
120	CARDEAL230	(N-1)	0,1152	0
110	SABIA--230	(N-1)	0,1140	0
200	TUCANO-230	(N-1)	0,1124	0
151	TIZIU--138	(N-1)	0,0912	0
132	CURIO--440	(N-1)	0,0910	0
190	CHOPIN-440	(N-1)	0,0765	0
130	CURIO--230	(N-1)	0,0751	0
1130	CURIO--FIC	(N-1)	0,0740	0
111	SABIA--138	(N-1)	0,0680	0
230	PELICAN230	(N-1)	0,0644	0
121	CARDEAL-88	(N-1)	0,0605	0
160	PARDAL-138	(N-1)	0,0587	0
170	AZULAO-138	(N-1)	0,0547	0
161	PARDAL--69	(N-1)	0,0540	0
180	BICUDO-440	(N-1)	0,0520	0
210	GAVIAO-230	(N-1)	0,0516	0
113	SABIA---13	(N-1)	0,0505	0
1110	SABIA--FIC	(N-1)	0,0478	0
220	ARARA--230	(N-1)	0,0439	0
112	SABIA--440	(N-1)	0,0430	0
260	GARCA--230	(N-1)	0,0387	0
171	AZULAO--69	(N-1)	0,0380	0
182	BICUDO--13	(N-1)	0,0370	0
250	URUBU--230	(N-1)	0,0345	0
1180	BICUDO-FIC	(N-1)	0,0345	0
135	CURIO--138	(N-1)	0,0340	0
134	CURIO---69	(N-1)	0,0330	0
181	BICUDO--69	(N-1)	0,0305	0
133	CURIO---13	(N-1)	0,0305	0
223	ARARA---13	(N-1)	0,0215	0
240	CORUJA-230	(N-1)	0,0200	0
191	CHOPIN-138	(N-1)	0,0195	0

BARRA	NOME	CTG	AS	ANU
140	SANHACO-69	(N-1)	0,0185	0
251	URUBU--138	(N-1)	0,0160	0
20	TUCANO--13	(N-1)	0	0
21	GAVIAO--13	(N-1)	0	0
232	PELICANO13	(N-1)	0	0
224	ARARA--138	(N-1)	0	0

CLASSIFICAÇÃO DE SUBESTAÇÕES (ESTABILIDADE TRANSITÓRIA) – Caso 1.b				
BARRA	NOME	CTG	AS	ANU
150	TIZIU--230	(N-1)	0,6253	1,0000
100	CANARIO230	(N-1)	0,7795	0,7500
200	TUCANO-230	(N-1)	0,6495	0,7500
120	CARDEAL230	(N-1)	0,3363	0,2000
11	SABIA---13	(N-1)	0,2845	0
110	SABIA--230	(N-1)	0,2810	0
151	TIZIU--138	(N-1)	0,2008	0
131	CURIO--CS5	(N-1)	0,1990	0
231	PELICAN440	(N-1)	0,1970	0
130	CURIO--230	(N-1)	0,1890	0
1230	PELICANFIC	(N-1)	0,1888	0
210	GAVIAO-230	(N-1)	0,1801	0
190	CHOPIN-440	(N-1)	0,1363	0
111	SABIA--138	(N-1)	0,1265	0
121	CARDEAL-88	(N-1)	0,1265	0
160	PARDAL-138	(N-1)	0,1209	0
10	CANARIO-18	(N-1)	0,1120	0
180	BICUDO-440	(N-1)	0,1105	0
170	AZULAO-138	(N-1)	0,1032	0
113	SABIA---13	(N-1)	0,0995	0
1110	SABIA--FIC	(N-1)	0,0978	0
161	PARDAL--69	(N-1)	0,0965	0
221	ARARA--CS5	(N-1)	0,0953	0
112	SABIA--440	(N-1)	0,0917	0
171	AZULAO--69	(N-1)	0,0700	0
1180	BICUDO-FIC	(N-1)	0,0635	0
220	ARARA--230	(N-1)	0,0631	0
182	BICUDO--13	(N-1)	0,0630	0
135	CURIO--138	(N-1)	0,0590	0
181	BICUDO--69	(N-1)	0,0580	0
134	CURIO---69	(N-1)	0,0578	0
260	GARCA--230	(N-1)	0,0572	0
133	CURIO---13	(N-1)	0,0555	0

BARRA	NOME	CTG	AS	ANU
250	URUBU--230	(N-1)	0,0544	0
230	PELICAN230	(N-1)	0,0518	0
224	ARARA--138	(N-1)	0,0355	0
191	CHOPIN-138	(N-1)	0,0355	0
1130	CURIO--FIC	(N-1)	0,0340	0
140	SANHACO-69	(N-1)	0,0315	0
251	URUBU--138	(N-1)	0,0230	0
240	CORUJA-230	(N-1)	0,0175	0
1220	ARARA--FIC	(N-1)	0,0113	0
132	CURIO--440	(N-1)	0,0070	0
222	ARARA--440	(N-1)	0	0
223	ARARA---13	(N-1)	0	0
232	PELICANO13	(N-1)	0	0
20	TUCANO--13	(N-1)	0	0
21	GAVIAO--13	(N-1)	0	0

## B.2 CASO 2: BASE

ANÁLISE ESTÁTICA: Contingências "N-1"							
BARRA	NOME	EVENTO 1	LS	Status	RLS	Status	ILHAMENTO
10	CANARIO-18	TRNOR:10-100-1	281,94		281,94		Barra Ger.
11	SABIA---13	TRNOR:11-110-1	100,00		100,00		Barra Ger.
100	CANARIO230	TRNOR:10-100-1	281,94		281,94		Barra Ger.
110	SABIA--230	TRNOR:11-110-1	100,00		100,00		Barra Ger.
120	CARDEAL230	TRNOR:120-121-1	120,00		120,00		Barra Carga
121	CARDEAL-88	TRNOR:120-121-1	120,00		120,00		Barra Carga
130	CURIO--230	TRNOR:130-134-1	1,93	C	1,93	C	
130	CURIO--230	TRNOR:130-134-2	1,93	C	1,93	C	
130	CURIO--230	TRNOR:130-135-1	110,00		110,00		Barra Carga
130	CURIO--230	TRNOR:130-1130-1	73,73	D	0	C	
131	CURIO--CS5	TLINE:131-132-1	73,73	D	0	C	
131	CURIO--CS5	TLINE:131-221-1	76,65	D	0	C	
132	CURIO--440	TLINE:131-132-1	73,73	D	0	C	
132	CURIO--440	TRNOR:132-1130-1	73,73	D	0	C	
134	CURIO---69	TLINE:134-140-1	70,00		70,00		Barra Carga
134	CURIO---69	TRNOR:130-134-1	1,93	C	1,93	C	
134	CURIO---69	TRNOR:130-134-2	1,93	C	1,93	C	
135	CURIO--138	TRNOR:130-135-1	110,00		110,00		Barra Carga
140	SANHACO-69	TLINE:134-140-1	70,00		70,00		Barra Carga
150	TIZIU--230	TRNOR:150-151-1	111,16	C	111,16	C	
151	TIZIU--138	TRNOR:150-151-1	111,16	C	111,16	C	

BARRA	NOME	EVENTO 1	LS	Status	RLS	Status	ILHAMENTO
160	PARDAL-138	TRNOR:160-161-1	40,00		40,00		Barra Carga
161	PARDAL--69	TRNOR:160-161-1	40,00		40,00		Barra Carga
170	AZULAO-138	TRNOR:170-171-1	40,00		40,00		Barra Carga
171	AZULAO--69	TRNOR:170-171-1	40,00		40,00		Barra Carga
180	BICUDO-440	TRNOR:180-1180-1	130,00		130,00		Subsistema
181	BICUDO--69	TRNOR:181-1180-1	130,00		130,00		Barra Carga
190	CHOPIN-440	TLINE:190-231-1	76,65	D	0	C	
190	CHOPIN-440	TRNOR:190-191-1	90,00		90,00		Barra Carga
191	CHOPIN-138	TRNOR:190-191-1	90,00		90,00		Barra Carga
1130	CURIO--FIC	TRNOR:130-1130-1	73,73	D	0	C	
1130	CURIO--FIC	TRNOR:132-1130-1	73,73	D	0	C	
1180	BICUDO-FIC	TRNOR:180-1180-1	130,00		130,00		Subsistema
1180	BICUDO-FIC	TRNOR:181-1180-1	130,00		130,00		Barra Carga
20	TUCANO--13	TRNOR:20-200-1	400,00		400,00		Barra Ger.
21	GAVIAO--13	TRNOR:21-210-1	500,00		500,00		Barra Ger.
200	TUCANO-230	TLINE:200-220-1	95,44	D	0	C	
200	TUCANO-230	TLINE:200-220-2	95,44	D	0	C	
200	TUCANO-230	TRNOR:20-200-1	400,00		400,00		Barra Ger.
210	GAVIAO-230	TLINE:210-260-1	74,23	C	0	C	
210	GAVIAO-230	TLINE:210-260-2	74,23	C	0	C	
210	GAVIAO-230	TRNOR:21-210-1	500,00		500,00		Barra Ger.
220	ARARA--230	TLINE:200-220-1	95,44	D	0	C	
220	ARARA--230	TLINE:200-220-2	95,44	D	0	C	
220	ARARA--230	TRNOR:220-224-1	110,00		110,00		Barra Carga
220	ARARA--230	TRNOR:220-1220-1	76,65	D	0	C	
221	ARARA--CS5	TLINE:131-221-1	76,65	D	0	C	
221	ARARA--CS5	TLINE:221-222-1	76,65	D	0	C	
222	ARARA--440	TLINE:221-222-1	76,65	D	0	C	
222	ARARA--440	TRNOR:222-1220-1	76,65	D	0	C	
224	ARARA--138	TRNOR:220-224-1	110,00		110,00		Barra Carga
230	PELICAN230	TLINE:230-240-1	90,00		90,00		Barra Carga
230	PELICAN230	TRNOR:230-1230-1	76,65	D	0	C	
231	PELICAN440	TLINE:190-231-1	76,65	D	0	C	
231	PELICAN440	TRNOR:231-1230-1	76,65	D	0	C	
240	CORUJA-230	TLINE:230-240-1	90,00		90,00		Barra Carga
250	URUBU--230	TRNOR:250-251-1	80,00		80,00		Barra Carga
251	URUBU--138	TRNOR:250-251-1	80,00		80,00		Barra Carga
260	GARCA--230	TLINE:210-260-1	74,23	C	0	C	
260	GARCA--230	TLINE:210-260-2	74,23	C	0	C	
1220	ARARA--FIC	TRNOR:220-1220-1	76,65	D	0	C	
1220	ARARA--FIC	TRNOR:222-1220-1	76,65	D	0	C	
1230	PELICANFIC	TRNOR:230-1230-1	76,65	D	0	C	
1230	PELICANFIC	TRNOR:231-1230-1	76,65	D	0	C	

ANÁLISE ESTÁTICA: Contingências "N-2"								
BARRA	NOME	EVENTO 1	EVENTO 2	LS	Status	RLS	Status	ILHAMENTO
100	CANARIO230	TLINE:100-120-1	TRNOR:10-100-1	281,94		281,94		Barra Ger.
100	CANARIO230	TLINE:100-150-1	TRNOR:10-100-1	281,94		281,94		Barra Ger.
100	CANARIO230	TLINE:100-150-2	TRNOR:10-100-1	281,94		281,94		Barra Ger.
110	SABIA--230	TLINE:110-130-1	TRNOR:11-110-1	123,06		123,06		Barra Ger.
110	SABIA--230	TLINE:110-150-1	TRNOR:11-110-1	100,00		100,00		Barra Ger.
110	SABIA--230	TRNOR:11-110-1	TRNOR:110-111-1	100,00		100,00		Barra Ger.
110	SABIA--230	TRNOR:11-110-1	TRNOR:110-1110-1	100,00		100,00		Barra Ger.
111	SABIA--138	TLINE:111-170-1	TRNOR:110-111-1	93,66		93,66		Barra Carga
112	SABIA--440	TLINE:112-180-1	TRNOR:112-1110-1	3,99		3,99		Barra Isolada
120	CARDEAL230	TLINE:100-120-1	TRNOR:120-121-1	120,80		120,80		Barra Carga
120	CARDEAL230	TLINE:120-130-1	TRNOR:120-121-1	120,00		120,00		Barra Carga
120	CARDEAL230	TLINE:120-130-2	TRNOR:120-121-1	120,00		120,00		Barra Carga
120	CARDEAL230	TLINE:120-150-1	TRNOR:120-121-1	131,47		131,47		Barra Carga
130	CURIO--230	TLINE:110-130-1	TRNOR:130-134-1	1,93	C	1,93	C	
130	CURIO--230	TLINE:110-130-1	TRNOR:130-134-2	1,93	C	1,93	C	
130	CURIO--230	TLINE:110-130-1	TRNOR:130-135-1	133,16		133,16		Barra Carga
130	CURIO--230	TLINE:110-130-1	TRNOR:130-1130-1	73,82	D	0	C	
130	CURIO--230	TLINE:120-130-1	TRNOR:130-134-1	1,93	C	1,93	C	
130	CURIO--230	TLINE:120-130-1	TRNOR:130-134-2	1,93	C	1,93	C	
130	CURIO--230	TLINE:120-130-1	TRNOR:130-135-1	115,37		115,37		Barra Carga
130	CURIO--230	TLINE:120-130-1	TRNOR:130-1130-1	73,75	D	0	C	
130	CURIO--230	TLINE:120-130-2	TRNOR:130-134-1	1,93	C	1,93	C	
130	CURIO--230	TLINE:120-130-2	TRNOR:130-134-2	1,93	C	1,93	C	
130	CURIO--230	TLINE:120-130-2	TRNOR:130-135-1	115,37		115,37		Barra Carga
130	CURIO--230	TLINE:120-130-2	TRNOR:130-1130-1	73,75	D	0	C	
130	CURIO--230	TRNOR:130-134-1	TRNOR:130-134-2	71,93		71,93		Subsistema
130	CURIO--230	TRNOR:130-134-1	TRNOR:130-135-1	158,30		158,30		Barra Carga
130	CURIO--230	TRNOR:130-134-1	TRNOR:130-1130-1	73,73	D	1,93	C	
130	CURIO--230	TRNOR:130-134-2	TRNOR:130-135-1	133,63		133,63		Barra Carga
130	CURIO--230	TRNOR:130-134-2	TRNOR:130-1130-1	73,73	D	1,93	C	
130	CURIO--230	TRNOR:130-135-1	TRNOR:130-1130-1	215,82		215,82		Barra Carga
131	CURIO--CS5	TLINE:131-132-1	TLINE:131-221-1	215,82		215,82		Barra Isolada
134	CURIO---69	TLINE:134-140-1	TRNOR:130-134-1	71,93		71,93		Barra Carga
134	CURIO---69	TLINE:134-140-1	TRNOR:130-134-2	71,93		71,93		Barra Carga
134	CURIO---69	TRNOR:130-134-1	TRNOR:130-134-2	71,93		71,93		Subsistema
150	TIZIU--230	TLINE:100-150-1	TRNOR:150-151-1	111,16	C	111,16	C	
150	TIZIU--230	TLINE:100-150-2	TRNOR:150-151-1	111,16	C	111,16	C	
150	TIZIU--230	TLINE:110-150-1	TRNOR:150-151-1	111,16	C	111,16	C	
150	TIZIU--230	TLINE:120-150-1	TRNOR:150-151-1	111,16	C	111,16	C	
151	TIZIU--138	TLINE:151-160-1	TRNOR:150-151-1	111,16	C	111,16	C	
151	TIZIU--138	TLINE:151-160-2	TRNOR:150-151-1	111,16	C	111,16	C	
160	PARDAL-138	TLINE:151-160-1	TRNOR:160-161-1	40,00		40,00		Barra Carga

BARRA	NOME	EVENTO 1	EVENTO 2	LS	Status	RLS	Status	ILHAMENTO
160	PARDAL-138	TLINE:151-160-2	TRNOR:160-161-1	40,00		40,00		Barra Carga
160	PARDAL-138	TLINE:160-170-1	TRNOR:160-161-1	40,00		40,00		Barra Carga
170	AZULAO-138	TLINE:111-170-1	TLINE:160-170-1	40,00		40,00		Subsistema
170	AZULAO-138	TLINE:111-170-1	TRNOR:170-171-1	52,80		52,80		Barra Carga
170	AZULAO-138	TLINE:160-170-1	TRNOR:170-171-1	52,80		52,80		Barra Carga
180	BICUDO-440	TLINE:112-180-1	TLINE:180-190-1	130,00		130,00		Subsistema
180	BICUDO-440	TLINE:112-180-1	TRNOR:180-1180-1	126,01		126,01		Subsistema
180	BICUDO-440	TLINE:180-190-1	TRNOR:180-1180-1	3,99		3,99		Subsistema
190	CHOPIN-440	TLINE:180-190-1	TLINE:190-231-1	90,00		90,00		Subsistema
190	CHOPIN-440	TLINE:180-190-1	TRNOR:190-191-1	216,36		216,36		Barra Carga
190	CHOPIN-440	TLINE:190-231-1	TRNOR:190-191-1	216,36		216,36		Barra Carga
1180	BICUDO-FIC	TRNOR:180-1180-1	TRNOR:182-1180-1	130,00		130,00		Subsistema
1180	BICUDO-FIC	TRNOR:181-1180-1	TRNOR:182-1180-1	130,00		130,00		Barra Carga
200	TUCANO-230	TLINE:200-210-1	TLINE:200-220-1	50,00	D	0	C	
200	TUCANO-230	TLINE:200-210-1	TLINE:200-220-2	50,00	D	0	C	
200	TUCANO-230	TLINE:200-210-1	TRNOR:20-200-1	466,67		466,67		Barra Ger.
200	TUCANO-230	TLINE:200-220-1	TLINE:200-220-2	366,52	D	0	C	
200	TUCANO-230	TLINE:200-220-1	TRNOR:20-200-1	400,00		400,00		Barra Ger.
200	TUCANO-230	TLINE:200-220-2	TRNOR:20-200-1	400,00		400,00		Barra Ger.
210	GAVIAO-230	TLINE:200-210-1	TLINE:210-260-1	150,00	D	0	C	
210	GAVIAO-230	TLINE:200-210-1	TLINE:210-260-2	150,00	D	0	C	
210	GAVIAO-230	TLINE:200-210-1	TRNOR:21-210-1	500,00		500,00		Barra Ger.
210	GAVIAO-230	TLINE:210-260-1	TLINE:210-260-2	199,01	D	0	C	
210	GAVIAO-230	TLINE:210-260-1	TRNOR:21-210-1	500,00		500,00		Barra Ger.
210	GAVIAO-230	TLINE:210-260-2	TRNOR:21-210-1	500,00		500,00		Barra Ger.
220	ARARA--230	TLINE:200-220-1	TLINE:200-220-2	366,52	D	0	C	
220	ARARA--230	TLINE:200-220-1	TLINE:220-230-1	16,52	D	0	C	
220	ARARA--230	TLINE:200-220-1	TRNOR:220-224-1	220,51		220,51		Barra Carga
220	ARARA--230	TLINE:200-220-1	TRNOR:220-1220-1	89,48	D	0	C	
220	ARARA--230	TLINE:200-220-2	TLINE:220-230-1	16,52	D	0	C	
220	ARARA--230	TLINE:200-220-2	TRNOR:220-224-1	220,51		220,51		Barra Carga
220	ARARA--230	TLINE:200-220-2	TRNOR:220-1220-1	89,48	D	0	C	
220	ARARA--230	TLINE:220-230-1	TRNOR:220-224-1	222,28		222,28		Barra Carga
220	ARARA--230	TLINE:220-230-1	TRNOR:220-1220-1	230,87	D	0	C	
220	ARARA--230	TRNOR:220-224-1	TRNOR:220-1220-1	328,74		328,74		Barra Carga
221	ARARA--CS5	TLINE:131-221-1	TLINE:221-222-1	218,74		218,74		Barra Isolada
230	PELICAN230	TLINE:220-230-1	TLINE:230-240-1	108,98		108,98		Barra Carga
230	PELICAN230	TLINE:220-230-1	TLINE:230-250-1	174,97	D	0	C	
230	PELICAN230	TLINE:220-230-1	TRNOR:230-1230-1	79,95	D	0	C	
230	PELICAN230	TLINE:230-240-1	TLINE:230-250-1	199,85		199,85		Barra Carga
230	PELICAN230	TLINE:230-240-1	TRNOR:230-1230-1	308,83		308,83		Barra Carga
230	PELICAN230	TLINE:230-250-1	TRNOR:230-1230-1	84,05	D	0	C	
231	PELICAN440	TLINE:190-231-1	TRNOR:231-1230-1	217,91		217,91		Barra Isolada
250	URUBU--230	TLINE:230-250-1	TRNOR:250-251-1	287,25		287,25		Barra Carga

BARRA	NOME	EVENTO 1	EVENTO 2	LS	Status	RLS	Status	ILHAMENTO
250	URUBU--230	TLINE:250-260-1	TLINE:250-260-2	58,82	D	0	C	
250	URUBU--230	TLINE:250-260-1	TRNOR:250-251-1	143,62		143,62		Barra Carga
250	URUBU--230	TLINE:250-260-2	TRNOR:250-251-1	143,62		143,62		Barra Carga
260	GARCA--230	TLINE:210-260-1	TLINE:210-260-2	199,01	D	0	C	
260	GARCA--230	TLINE:210-260-1	TLINE:250-260-1	31,80	C	0	C	
260	GARCA--230	TLINE:210-260-1	TLINE:250-260-2	31,80	C	0	C	
260	GARCA--230	TLINE:210-260-2	TLINE:250-260-1	31,80	C	0	C	
260	GARCA--230	TLINE:210-260-2	TLINE:250-260-2	31,80	C	0	C	
260	GARCA--230	TLINE:250-260-1	TLINE:250-260-2	58,82	D	0	C	

CLASSIFICAÇÃO ESTÁTICA DE SUBESTAÇÕES (COMPLETO)							
BARRA	NOME	CTG	LS	RLS	TOTAL	PESOS	SPI
210	GAVIAO-230	(N-1)	648,46	500,00	1148,46	0,10	
210	GAVIAO-230	(N-2)	1999,01	1500,00	3499,01	0,01	149,84
200	TUCANO-230	(N-1)	590,89	400,00	990,89	0,10	
200	TUCANO-230	(N-2)	1733,19	1266,67	2999,87	0,01	129,09
21	GAVIAO--13	(N-1)	500,00	500,00	1000,00	0,10	
21	GAVIAO--13	(N-2)				0,01	100,00
20	TUCANO--13	(N-1)	400,00	400,00	800,00	0,10	
20	TUCANO--13	(N-2)				0,01	80,00
220	ARARA--230	(N-1)	377,54	110,00	487,54	0,10	
220	ARARA--230	(N-2)	1801,42	992,04	2793,46	0,01	76,69
100	CANARIO230	(N-1)	281,94	281,94	563,88	0,10	
100	CANARIO230	(N-2)	845,82	845,82	1691,65	0,01	73,30
1180	BICUDO-FIC	(N-1)	260,00	260,00	520,00	0,10	
1180	BICUDO-FIC	(N-2)	260,00	260,00	520,00	0,01	57,20
10	CANARIO-18	(N-1)	281,94	281,94	563,88	0,10	
10	CANARIO-18	(N-2)				0,01	56,39
130	CURIO--230	(N-1)	187,58	113,85	301,44	0,10	
130	CURIO--230	(N-2)	1323,91	958,98	2282,89	0,01	52,97
230	PELICAN230	(N-1)	166,65	90,00	256,65	0,10	
230	PELICAN230	(N-2)	956,63	617,66	1574,29	0,01	41,41
190	CHOPIN-440	(N-1)	166,65	90,00	256,65	0,10	
190	CHOPIN-440	(N-2)	522,73	522,73	1045,45	0,01	36,12
120	CARDEAL230	(N-1)	120,00	120,00	240,00	0,10	
120	CARDEAL230	(N-2)	492,27	492,27	984,54	0,01	33,85
180	BICUDO-440	(N-1)	130,00	130,00	260,00	0,10	
180	BICUDO-440	(N-2)	260,00	260,00	520,00	0,01	31,20
150	TIZIU--230	(N-1)	111,16	111,16	222,32	0,10	
150	TIZIU--230	(N-2)	444,63	444,63	889,26	0,01	31,12
110	SABIA--230	(N-1)	100,00	100,00	200,00	0,10	
110	SABIA--230	(N-2)	423,06	423,06	846,13	0,01	28,46



BARRA	NOME	CTG	LS	RLS	TOTAL	PESOS	SPI
250	URUBU--230	(N-1)	80,00	80,00	160,00	0,10	
250	URUBU--230	(N-2)	633,31	574,50	1207,81	0,01	28,08
151	TIZIU--138	(N-1)	111,16	111,16	222,32	0,10	
151	TIZIU--138	(N-2)	222,32	222,32	444,63	0,01	26,68
181	BICUDO--69	(N-1)	130,00	130,00	260,00	0,10	
181	BICUDO--69	(N-2)				0,01	26,00
121	CARDEAL-88	(N-1)	120,00	120,00	240,00	0,10	
121	CARDEAL-88	(N-2)				0,01	24,00
224	ARARA--138	(N-1)	110,00	110,00	220,00	0,10	
224	ARARA--138	(N-2)				0,01	22,00
135	CURIO--138	(N-1)	110,00	110,00	220,00	0,10	
135	CURIO--138	(N-2)				0,01	22,00
11	SABIA---13	(N-1)	100,00	100,00	200,00	0,10	
11	SABIA---13	(N-2)				0,01	20,00
221	ARARA--CS5	(N-1)	153,30		153,30	0,10	
221	ARARA--CS5	(N-2)	218,74	218,74	437,48	0,01	19,71
231	PELICAN440	(N-1)	153,30		153,30	0,10	
231	PELICAN440	(N-2)	217,91	217,91	435,82	0,01	19,69
131	CURIO--CS5	(N-1)	150,38		150,38	0,10	
131	CURIO--CS5	(N-2)	215,82	215,82	431,63	0,01	19,35
134	CURIO---69	(N-1)	73,85	73,85	147,71	0,10	
134	CURIO---69	(N-2)	215,78	215,78	431,56	0,01	19,09
260	GARCA--230	(N-1)	148,46		148,46	0,10	
260	GARCA--230	(N-2)	385,03		385,03	0,01	18,70
240	CORUJA-230	(N-1)	90,00	90,00	180,00	0,10	
240	CORUJA-230	(N-2)				0,01	18,00
191	CHOPIN-138	(N-1)	90,00	90,00	180,00	0,10	
191	CHOPIN-138	(N-2)				0,01	18,00
251	URUBU--138	(N-1)	80,00	80,00	160,00	0,10	
251	URUBU--138	(N-2)				0,01	16,00
1220	ARARA--FIC	(N-1)	153,30		153,30	0,10	
1220	ARARA--FIC	(N-2)				0,01	15,33
1230	PELICANFIC	(N-1)	153,30		153,30	0,10	
1230	PELICANFIC	(N-2)				0,01	15,33
222	ARARA--440	(N-1)	153,30		153,30	0,10	
222	ARARA--440	(N-2)				0,01	15,33
1130	CURIO--FIC	(N-1)	147,46		147,46	0,10	
1130	CURIO--FIC	(N-2)				0,01	14,75
132	CURIO--440	(N-1)	147,46		147,46	0,10	
132	CURIO--440	(N-2)				0,01	14,75
140	SANHACO-69	(N-1)	70,00	70,00	140,00	0,10	
140	SANHACO-69	(N-2)				0,01	14,00
170	AZULAO-138	(N-1)	40,00	40,00	80,00	0,10	
170	AZULAO-138	(N-2)	145,60	145,60	291,21	0,01	10,91

BARRA	NOME	CTG	LS	RLS	TOTAL	PESOS	SPI
160	PARDAL-138	(N-1)	40,00	40,00	80,00	0,10	
160	PARDAL-138	(N-2)	120,00	120,00	240,00	0,01	10,40
161	PARDAL--69	(N-1)	40,00	40,00	80,00	0,10	
161	PARDAL--69	(N-2)				0,01	8,00
171	AZULAO--69	(N-1)	40,00	40,00	80,00	0,10	
171	AZULAO--69	(N-2)				0,01	8,00
111	SABIA--138	(N-1)				0,10	
111	SABIA--138	(N-2)	93,66	93,66	187,33	0,01	1,87
112	SABIA--440	(N-1)				0,10	
112	SABIA--440	(N-2)	3,99	3,99	7,98	0,01	0,08

CLASSIFICAÇÃO ESTÁTICA DE SUBESTAÇÕES (SIMPLIFICADO)						
BARRA	NOME	CTG	RLS	PESOS	SPI	
210	GAVIAO-230	(N-1)	500,00	0,10		
210	GAVIAO-230	(N-2)	1500,00	0,01	65,00	
200	TUCANO-230	(N-1)	400,00	0,10		
200	TUCANO-230	(N-2)	1266,67	0,01	52,67	
21	GAVIAO--13	(N-1)	500,00	0,10		
21	GAVIAO--13	(N-2)		0,01	50,00	
20	TUCANO--13	(N-1)	400,00	0,10		
20	TUCANO--13	(N-2)		0,01	40,00	
100	CANARIO230	(N-1)	281,94	0,10		
100	CANARIO230	(N-2)	845,82	0,01	36,65	
1180	BICUDO-FIC	(N-1)	260,00	0,10		
1180	BICUDO-FIC	(N-2)	260,00	0,01	28,60	
10	CANARIO-18	(N-1)	281,94	0,10		
10	CANARIO-18	(N-2)		0,01	28,19	
130	CURIO--230	(N-1)	113,85	0,10		
130	CURIO--230	(N-2)	958,98	0,01	20,98	
220	ARARA--230	(N-1)	110,00	0,10		
220	ARARA--230	(N-2)	992,04	0,01	20,92	
120	CARDEAL230	(N-1)	120,00	0,10		
120	CARDEAL230	(N-2)	492,27	0,01	16,92	
180	BICUDO-440	(N-1)	130,00	0,10		
180	BICUDO-440	(N-2)	260,00	0,01	15,60	
150	TIZIU--230	(N-1)	111,16	0,10		
150	TIZIU--230	(N-2)	444,63	0,01	15,56	
230	PELICAN230	(N-1)	90,00	0,10		
230	PELICAN230	(N-2)	617,66	0,01	15,18	
110	SABIA--230	(N-1)	100,00	0,10		
110	SABIA--230	(N-2)	423,06	0,01	14,23	
190	CHOPIN-440	(N-1)	90,00	0,10		

BARRA	NOME	CTG	RLS	PESOS	SPI
190	CHOPIN-440	(N-2)	522,73	0,01	14,23
250	URUBU--230	(N-1)	80,00	0,10	
250	URUBU--230	(N-2)	574,50	0,01	13,74
151	TIZIU--138	(N-1)	111,16	0,10	
151	TIZIU--138	(N-2)	222,32	0,01	13,34
181	BICUDO--69	(N-1)	130,00	0,10	
181	BICUDO--69	(N-2)		0,01	13,00
121	CARDEAL-88	(N-1)	120,00	0,10	
121	CARDEAL-88	(N-2)		0,01	12,00
135	CURIO--138	(N-1)	110,00	0,10	
135	CURIO--138	(N-2)		0,01	11,00
224	ARARA--138	(N-1)	110,00	0,10	
224	ARARA--138	(N-2)		0,01	11,00
11	SABIA---13	(N-1)	100,00	0,10	
11	SABIA---13	(N-2)		0,01	10,00
134	CURIO---69	(N-1)	73,85	0,10	
134	CURIO---69	(N-2)	215,78	0,01	9,54
191	CHOPIN-138	(N-1)	90,00	0,10	
191	CHOPIN-138	(N-2)		0,01	9,00
240	CORUJA-230	(N-1)	90,00	0,10	
240	CORUJA-230	(N-2)		0,01	9,00
251	URUBU--138	(N-1)	80,00	0,10	
251	URUBU--138	(N-2)		0,01	8,00
140	SANHACO-69	(N-1)	70,00	0,10	
140	SANHACO-69	(N-2)		0,01	7,00
170	AZULAO-138	(N-1)	40,00	0,10	
170	AZULAO-138	(N-2)	145,60	0,01	5,46
160	PARDAL-138	(N-1)	40,00	0,10	
160	PARDAL-138	(N-2)	120,00	0,01	5,20
171	AZULAO--69	(N-1)	40,00	0,10	
171	AZULAO--69	(N-2)		0,01	4,00
161	PARDAL--69	(N-1)	40,00	0,10	
161	PARDAL--69	(N-2)		0,01	4,00
221	ARARA--CS5	(N-1)		0,10	
221	ARARA--CS5	(N-2)	218,74	0,01	2,19
231	PELICAN440	(N-1)		0,10	
231	PELICAN440	(N-2)	217,91	0,01	2,18
131	CURIO--CS5	(N-1)		0,10	
131	CURIO--CS5	(N-2)	215,82	0,01	2,16
111	SABIA--138	(N-1)		0,10	
111	SABIA--138	(N-2)	93,66	0,01	0,94
112	SABIA--440	(N-1)		0,10	
112	SABIA--440	(N-2)	3,99	0,01	0,04

<b>CLASSIFICAÇÃO DE SUBESTAÇÕES (ESTABILIDADE TRANSITÓRIA) – Caso 2</b>				
<b>BARRA</b>	<b>NOME</b>	<b>CTG</b>	<b>AS</b>	<b>ANU</b>
222	ARARA--440	(N-1)	0,7840	1,0000
221	ARARA--CS5	(N-1)	0,7537	1,0000
231	PELICAN440	(N-1)	0,6590	1,0000
1220	ARARA--FIC	(N-1)	0,5460	0,6667
1230	PELICANFIC	(N-1)	0,5310	0,6667
131	CURIO--CS5	(N-1)	0,5797	0,5000
190	CHOPIN-440	(N-1)	0,2575	0,3333
230	PELICAN230	(N-1)	0,2739	0,2500
220	ARARA--230	(N-1)	0,2554	0,2000
132	CURIO--440	(N-1)	0,4235	0
10	CANARIO-18	(N-1)	0,3015	0
1130	CURIO--FIC	(N-1)	0,3007	0
210	GAVIAO-230	(N-1)	0,1996	0
100	CANARIO230	(N-1)	0,1623	0
250	URUBU--230	(N-1)	0,1318	0
260	GARCA--230	(N-1)	0,1050	0
180	BICUDO-440	(N-1)	0,0743	0
110	SABIA--230	(N-1)	0,0659	0
130	CURIO--230	(N-1)	0,0639	0
20	TUCANO--13	(N-1)	0,0545	0
223	ARARA---13	(N-1)	0,0430	0
150	TIZIU--230	(N-1)	0,0408	0
111	SABIA--138	(N-1)	0,0400	0
120	CARDEAL230	(N-1)	0,0355	0
133	CURIO---13	(N-1)	0,0340	0
251	URUBU--138	(N-1)	0,0330	0
224	ARARA--138	(N-1)	0,0320	0
240	CORUJA-230	(N-1)	0,0295	0
151	TIZIU--138	(N-1)	0,0280	0
232	PELICANO13	(N-1)	0,0255	0
200	TUCANO-230	(N-1)	0,0244	0
170	AZULAO-138	(N-1)	0,0240	0
121	CARDEAL-88	(N-1)	0,0220	0
160	PARDAL-138	(N-1)	0,0199	0
113	SABIA---13	(N-1)	0,0165	0
182	BICUDO--13	(N-1)	0,0160	0
161	PARDAL--69	(N-1)	0,0150	0
135	CURIO--138	(N-1)	0,0105	0
134	CURIO---69	(N-1)	0,0102	0
140	SANHACO-69	(N-1)	0,0060	0
191	CHOPIN-138	(N-1)	0,0055	0
1180	BICUDO-FIC	(N-1)	0,0048	0

BARRA	NOME	CTG	AS	ANU
1110	SABIA--FIC	(N-1)	0	0
11	SABIA---13	(N-1)	0	0
112	SABIA--440	(N-1)	0	0
171	AZULAO--69	(N-1)	0	0
21	GAVIAO--13	(N-1)	0	0
181	BICUDO--69	(N-1)	0	0

CLASSIFICAÇÃO DE SUBESTAÇÕES (ESTABILIDADE TRANSITÓRIA) – Caso 2.a				
BARRA	NOME	CTG	AS	ANU
222	ARARA--440	(N-1)	0,7590	1,0000
221	ARARA--CS5	(N-1)	0,7530	1,0000
231	PELICAN440	(N-1)	0,6955	1,0000
131	CURIO--CS5	(N-1)	0,6318	1,0000
132	CURIO--440	(N-1)	0,5212	1,0000
1220	ARARA--FIC	(N-1)	0,5475	0,6667
1230	PELICANFIC	(N-1)	0,5442	0,6667
1130	CURIO--FIC	(N-1)	0,3710	0,6667
190	CHOPIN-440	(N-1)	0,3203	0,3333
100	CANARIO230	(N-1)	0,4387	0,2500
210	GAVIAO-230	(N-1)	0,4036	0,2500
230	PELICAN230	(N-1)	0,2294	0,2500
220	ARARA--230	(N-1)	0,3391	0,2000
130	CURIO--230	(N-1)	0,1079	0,1429
10	CANARIO-18	(N-1)	0,3300	0
250	URUBU--230	(N-1)	0,2051	0
260	GARCA--230	(N-1)	0,1913	0
20	TUCANO--13	(N-1)	0,1815	0
110	SABIA--230	(N-1)	0,1308	0
150	TIZIU--230	(N-1)	0,1232	0
200	TUCANO-230	(N-1)	0,1228	0
151	TIZIU--138	(N-1)	0,0977	0
120	CARDEAL230	(N-1)	0,0967	0
180	BICUDO-440	(N-1)	0,0943	0
111	SABIA--138	(N-1)	0,0838	0
160	PARDAL-138	(N-1)	0,0688	0
223	ARARA---13	(N-1)	0,0685	0
121	CARDEAL-88	(N-1)	0,0605	0
170	AZULAO-138	(N-1)	0,0553	0
171	AZULAO--69	(N-1)	0,0530	0
161	PARDAL--69	(N-1)	0,0520	0
224	ARARA--138	(N-1)	0,0470	0

---

<b>BARRA</b>	<b>NOME</b>	<b>CTG</b>	<b>AS</b>	<b>ANU</b>
251	URUBU--138	(N-1)	0,0445	0
133	CURIO---13	(N-1)	0,0430	0
240	CORUJA-230	(N-1)	0,0405	0
134	CURIO---69	(N-1)	0,0352	0
232	PELICANO13	(N-1)	0,0345	0
113	SABIA---13	(N-1)	0,0295	0
182	BICUDO--13	(N-1)	0,0285	0
135	CURIO--138	(N-1)	0,0270	0
1180	BICUDO-FIC	(N-1)	0,0237	0
181	BICUDO--69	(N-1)	0,0210	0
11	SABIA---13	(N-1)	0,0185	0
140	SANHACO-69	(N-1)	0,0140	0
112	SABIA--440	(N-1)	0	0
21	GAVIAO--13	(N-1)	0	0
191	CHOPIN-138	(N-1)	0	0
1110	SABIA--FIC	(N-1)	0	0

# APÊNDICE C

## RESULTADOS DO SISTEMA *BRAZILIAN BIRDS* CONSIDERANDO INCERTEZAS NA CARGA

### C.1 CASO 1

ANÁLISE ESTÁTICA: $\sigma = 5\%$							
Caso Base		Classificação Média <sup>†</sup>			Classificação Média <sup>‡</sup>		
Barra	SPI	Barra	SPI	$\beta$ [%]	Barra	SPI	$\beta$ [%]
200	106,84	200	107,07	0,25	200	106,82	0,04
100	94,27	100	94,03	0,26	100	94,21	0,06
20	80,00	20	79,91	0,18	20	79,98	0,04
210	79,95	210	79,73	0,20	210	79,87	0,04
10	71,44	10	71,27	0,24	10	71,40	0,05
21	60,00	21	60,22	0,20	21	60,08	0,05
1180	57,20	1180	57,18	0,19	1180	57,31	0,14
110	56,00	110	56,11	0,21	110	56,02	0,04
220	40,86	220	41,23	0,40	220	40,85	0,10
11	40,00	11	39,97	0,18	11	40,00	0,04
130	39,56	130	39,92	0,32	130	39,91	0,18
120	35,12	120	35,09	0,20	120	35,15	0,12
150	31,55	150	31,51	0,50	150	31,55	0,23
180	31,20	180	31,19	0,19	180	31,26	0,14
230	26,84	230	26,89	0,20	230	26,88	0,11
151	26,63	151	26,61	0,49	151	26,64	0,23
181	26,00	181	25,99	0,19	181	26,05	0,14
190	24,98	190	24,99	0,19	190	24,98	0,13
121	24,00	121	23,99	0,19	121	24,03	0,14
250	23,76	250	23,77	0,19	250	23,80	0,11
135	22,00	135	21,99	0,19	224	21,98	0,15
224	22,00	224	21,99	0,19	135	21,97	0,14
134	19,05	134	19,30	0,39	134	19,34	0,29
240	18,00	191	17,99	0,19	240	18,01	0,14
191	18,00	240	17,99	0,19	191	17,99	0,14
251	16,00	251	15,99	0,19	251	16,03	0,15
140	14,00	140	13,99	0,19	140	14,01	0,14
170	10,66	170	10,66	0,19	170	10,66	0,13

Barra	SPI	Barra	SPI	$\beta$ [%]	Barra	SPI	$\beta$ [%]
160	10,40	160	10,40	0,19	160	10,41	0,14
171	8,00	161	8,00	0,19	161	8,01	0,14
161	8,00	171	8,00	0,19	171	8,00	0,14
221	2,67	221	2,68	0,16	221	2,68	0,10
131	2,65	131	2,66	0,15	131	2,66	0,10
231	2,60	231	2,61	0,17	231	2,61	0,12
112	1,81	111	1,86	1,25	112	1,81	0,20
111	1,74	112	1,80	0,23	111	1,75	0,20
260	1,40	260	0,90	2,00	260	1,22	1,00
113	0	113	0	100	113	0	100
132	0	132	0	100	132	0	100
133	0	133	0	100	133	0	100
182	0	182	0	100	182	0	100
222	0	222	0	100	222	0	100
223	0	223	0	100	223	0	100
232	0	232	0	100	232	0	100
1110	0	1110	0	100	1110	0	100
1130	0	1130	0	100	1130	0	100
1220	0	1220	0	100	1220	0	100
1230	0	1230	0	100	1230	0	100

† Cargas correlacionadas:  $\beta < 2\%$  para todas as barras;

‡ Cargas independentes:  $\beta < 1\%$  para todas as barras.

ANÁLISE ESTÁTICA: $\sigma = 10\%$							
Caso Base		Classificação Média <sup>†</sup>			Classificação Média <sup>‡</sup>		
Barra	SPI	Barra	SPI	$\beta$ [%]	Barra	SPI	$\beta$ [%]
200	106,84	200	108,51	0,56	200	106,82	0,12
100	94,27	100	93,99	0,51	100	94,20	0,15
20	80,00	210	79,92	0,42	20	79,97	0,11
210	79,95	20	79,75	0,36	210	79,76	0,11
10	71,44	10	71,20	0,47	10	71,39	0,14
21	60,00	21	60,37	0,40	21	60,16	0,12
1180	57,20	1180	57,10	0,38	1180	57,41	0,36
110	56,00	110	56,79	0,48	110	56,40	0,15
220	40,86	220	42,81	0,95	220	40,93	0,26
11	40,00	130	40,58	0,60	130	40,58	0,44
130	39,56	11	39,91	0,36	11	40,00	0,11
120	35,12	120	35,04	0,40	120	35,21	0,32
150	31,55	150	31,43	1,00	150	31,67	0,61
180	31,20	180	31,15	0,38	180	31,31	0,36
230	26,84	230	26,93	0,39	230	26,92	0,29
151	26,63	151	26,52	0,98	151	26,74	0,61
181	26,00	181	25,95	0,38	181	26,10	0,36
190	24,98	190	24,96	0,37	190	24,95	0,33



Barra	SPI	Barra	SPI	$\beta$ [%]	Barra	SPI	$\beta$ [%]
121	24,00	121	23,96	0,38	121	24,08	0,37
250	23,76	250	23,76	0,38	250	23,83	0,28
135	22,00	135	21,96	0,38	224	22,03	0,39
224	22,00	224	21,96	0,38	135	21,88	0,36
134	19,05	134	19,78	0,71	134	19,90	0,71
240	18,00	191	17,97	0,38	240	17,99	0,38
191	18,00	240	17,97	0,38	191	17,95	0,38
251	16,00	251	15,97	0,38	251	16,04	0,38
140	14,00	140	13,98	0,38	140	14,00	0,38
170	10,66	170	10,65	0,38	170	10,68	0,36
160	10,40	160	10,38	0,38	160	10,42	0,39
171	8,00	161	7,99	0,38	161	8,02	0,39
161	8,00	171	7,99	0,38	171	8,00	0,38
221	2,67	221	2,68	0,31	221	2,68	0,26
131	2,65	131	2,66	0,31	131	2,66	0,26
231	2,60	231	2,61	0,33	231	2,61	0,30
112	1,81	111	2,45	3,02	111	2,03	1,84
111	1,74	112	1,80	0,46	112	1,81	0,51
260	1,40	260	0,90	3,99	260	1,00	2,00
113	0	113	0	100	113	0	100
132	0	132	0	100	132	0	100
133	0	133	0	100	133	0	100
182	0	182	0	100	182	0	100
222	0	222	0	100	222	0	100
223	0	223	0	100	223	0	100
232	0	232	0	100	232	0	100
1110	0	1110	0	100	1110	0	100
1130	0	1130	0	100	1130	0	100
1220	0	1220	0	100	1220	0	100
1230	0	1230	0	100	1230	0	100

†Cargas correlacionadas:  $\beta < 4\%$  para todas as barras;

\*Cargas independentes:  $\beta < 2\%$  para todas as barras.

ESTABILIDADE TRANSITÓRIA (Caso 1: 100ms) com $\sigma = 5\%$										
Caso Base			Classificação Média <sup>†</sup>				Classificação Média <sup>‡</sup>			
Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]
222	0,1610	0	222	0,1741	0	1,49	222	0,1657	0	0,29
100	0,1511	0	100	0,1513	0	0,92	100	0,1519	0	0,20
1220	0,1080	0	1220	0,1160	0	1,50	1220	0,1103	0	0,31
231	0,1055	0	231	0,1084	0	0,78	231	0,1069	0	0,23
10	0,1025	0	10	0,1053	0	1,19	10	0,1033	0	0,22
1230	0,0920	0	221	0,0956	0	2,00	1230	0,0930	0	0,28
131	0,0917	0	1230	0,0945	0	0,94	131	0,0920	0	0,23
221	0,0842	0	131	0,0923	0	0,83	221	0,0845	0	0,30
11	0,0710	0	11	0,0745	0	0,46	11	0,0745	0	0,17
132	0,0595	0	132	0,0612	0	0,54	132	0,0606	0	0,19
150	0,0579	0	110	0,0574	0	0,65	110	0,0583	0	0,10
110	0,0572	0	150	0,0571	0	0,78	150	0,0579	0	0,17
200	0,0534	0	200	0,0537	0	0,67	200	0,0535	0	0,12
120	0,0518	0	230	0,0527	0	0,63	120	0,0518	0	0,19
230	0,0475	0	120	0,0511	0	0,83	230	0,0511	0	0,35
190	0,0463	0	190	0,0450	0	0,63	190	0,0463	0	0,17
151	0,0437	0	1130	0,0447	0	0,73	1130	0,0434	0	0,23
1130	0,0428	0	151	0,0422	0	0,68	151	0,0433	0	0,18
220	0,0332	0	220	0,0341	0	1,51	111	0,0337	0	0,12
130	0,0331	0	111	0,0331	0	0,59	220	0,0333	0	0,29
111	0,0328	0	210	0,0313	0	0,83	210	0,0306	0	0,14
210	0,0305	0	121	0,0287	0	0,66	121	0,0291	0	0,15
1110	0,0292	0	1110	0,0282	0	0,35	1110	0,0289	0	0,16
121	0,0290	0	250	0,0279	0	0,85	160	0,0284	0	0,23
160	0,0289	0	160	0,0278	0	0,70	130	0,0283	0	1,00
250	0,0278	0	130	0,0268	0	2,10	250	0,0277	0	0,26

Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]
180	0,0273	0	180	0,0267	0	0,38	180	0,0268	0	0,11
170	0,0262	0	170	0,0258	0	0,54	170	0,0263	0	0,28
112	0,0253	0	112	0,0245	0	0,43	112	0,0250	0	0,21
260	0,0238	0	113	0,0242	0	0,50	260	0,0238	0	0,20
113	0,0230	0	260	0,0237	0	0,86	113	0,0234	0	0,15
182	0,0180	0	182	0,0184	0	0,64	182	0,0183	0	0,19
133	0,0150	0	251	0,0141	0	0,61	133	0,0147	0	0,81
251	0,0140	0	134	0,0119	0	0,76	251	0,0139	0	0,24
161	0,0115	0	133	0,0114	0	3,28	134	0,0117	0	0,28
134	0,0115	0	161	0,0113	0	0,93	161	0,0114	0	0,20
240	0,0110	0	240	0,0112	0	0,29	240	0,0109	0	0,75
171	0,0100	0	135	0,0089	0	1,07	191	0,0094	0	0,37
191	0,0095	0	171	0,0089	0	2,43	171	0,0091	0	1,38
135	0,0090	0	191	0,0070	0	3,87	135	0,0090	0	0,34
1180	0,0067	0	1180	0,0067	0	0,88	1180	0,0067	0	0,16
21	0	0	232	0,0006	0	27,33	140	0	0	57,68
20	0	0	223	0,0006	0	27,03	20	0	0	100
140	0	0	140	0,0004	0	19,44	21	0	0	100
224	0	0	21	0,0002	0	37,43	181	0	0	100
223	0	0	181	0,0002	0	50,00	223	0	0	100
181	0	0	20	0	0	100	224	0	0	100
232	0	0	224	0	0	100	232	0	0	100

† Cargas correlacionadas:  $\beta < 2\%$  para as dez primeiras barras;

‡ Cargas independentes:  $\beta < 1\%$  para as vinte e cinco primeiras barras.

ESTABILIDADE TRANSITÓRIA (Caso 1.a: 200ms)														
Caso Base			Classificação Média <sup>I</sup> ( $\sigma = 5\%$ )				Classificação Média <sup>II</sup> ( $\sigma = 5\%$ )				Classificação Média <sup>III</sup> ( $\sigma = 10\%$ )			
Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]
100	0,5229	0,7500	100	0,4809	0,5673	1,00	100	0,5029	0,7086	0,45	100	0,4984	0,6327	0,87
222	0,1985	0	222	0,2070	0	0,92	222	0,2013	0	0,31	222	0,2057	0	0,75
221	0,1502	0	1220	0,1463	0	0,84	1220	0,1427	0	0,31	1220	0,1455	0	0,71
1220	0,1412	0	231	0,1414	0	0,51	231	0,1410	0	0,22	231	0,1424	0	0,50
231	0,1410	0	11	0,1392	0	0,34	11	0,1401	0	0,12	11	0,1408	0	0,26
11	0,1370	0	131	0,1362	0	0,54	221	0,1354	0	0,73	131	0,1368	0	0,48
131	0,1362	0	221	0,1321	0	0,62	131	0,1354	0	0,21	1230	0,1260	0	0,61
1230	0,1223	0	1230	0,1251	0	0,69	1230	0,1239	0	0,27	221	0,1249	0	1,00
150	0,1203	0	150	0,1183	0	0,40	150	0,1201	0	0,15	150	0,1200	0	0,30
10	0,1180	0	10	0,1173	0	0,65	10	0,1175	0	0,17	10	0,1174	0	0,41
120	0,1152	0	200	0,1139	0	0,57	110	0,1140	0	0,11	110	0,1143	0	0,29
110	0,1140	0	110	0,1125	0	0,43	120	0,1138	0	0,14	200	0,1139	0	0,39
200	0,1124	0	120	0,1121	0	0,49	200	0,1130	0	0,17	120	0,1138	0	0,36
151	0,0912	0	132	0,0931	0	0,38	132	0,0927	0	0,17	132	0,0937	0	0,39
132	0,0910	0	151	0,0891	0	0,41	151	0,0908	0	0,13	151	0,0903	0	0,31
190	0,0765	0	130	0,0756	0	0,31	130	0,0761	0	0,10	130	0,0768	0	0,20
130	0,0751	0	190	0,0749	0	0,31	190	0,0760	0	0,14	190	0,0758	0	0,30
1130	0,0740	0	1130	0,0736	0	0,50	1130	0,0740	0	0,16	1130	0,0746	0	0,38
111	0,0680	0	111	0,0687	0	0,38	111	0,0687	0	0,18	111	0,0693	0	0,30
230	0,0644	0	230	0,0669	0	0,35	230	0,0632	0	0,31	230	0,0637	0	0,51
121	0,0605	0	121	0,0609	0	0,31	121	0,0604	0	0,10	121	0,0613	0	0,22
160	0,0587	0	160	0,0592	0	0,41	160	0,0590	0	0,16	160	0,0595	0	0,34
170	0,0547	0	170	0,0553	0	0,42	170	0,0555	0	0,12	170	0,0558	0	0,32
161	0,0540	0	161	0,0529	0	0,43	161	0,0537	0	0,21	161	0,0533	0	0,36
180	0,0520	0	210	0,0528	0	0,56	180	0,0523	0	0,13	180	0,0530	0	0,30
210	0,0516	0	180	0,0520	0	0,39	210	0,0519	0	0,15	210	0,0524	0	0,34

Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]
113	0,0505	0	113	0,0508	0	0,37	113	0,0506	0	0,18	113	0,0511	0	0,33
1110	0,0478	0	1110	0,0483	0	0,36	1110	0,0489	0	0,10	1110	0,0489	0	0,28
220	0,0439	0	112	0,0412	0	0,43	112	0,0420	0	0,11	112	0,0418	0	0,30
112	0,0430	0	171	0,0407	0	0,39	171	0,0409	0	0,22	171	0,0411	0	0,30
260	0,0387	0	220	0,0393	0	1,33	220	0,0400	0	1,00	260	0,0387	0	0,17
171	0,0380	0	260	0,0389	0	0,31	260	0,0386	0	0,07	220	0,0375	0	1,47
182	0,0370	0	182	0,0369	0	0,37	182	0,0371	0	0,14	182	0,0373	0	0,31
250	0,0345	0	250	0,0355	0	0,53	250	0,0348	0	0,12	250	0,0352	0	0,36
1180	0,0345	0	1180	0,0337	0	0,67	1180	0,0347	0	0,15	1180	0,0347	0	0,30
135	0,0340	0	134	0,0327	0	0,34	135	0,0331	0	0,18	134	0,0330	0	0,33
134	0,0330	0	135	0,0319	0	0,36	134	0,0330	0	0,17	135	0,0325	0	0,28
181	0,0305	0	181	0,0304	0	0,70	181	0,0311	0	0,16	133	0,0311	0	0,40
133	0,0305	0	133	0,0286	0	1,26	133	0,0308	0	0,17	181	0,0311	0	0,32
223	0,0215	0	191	0,0192	0	0,36	223	0,0210	0	0,55	191	0,0196	0	0,20
240	0,0200	0	140	0,0176	0	0,40	191	0,0195	0	0,09	140	0,0180	0	0,38
191	0,0195	0	240	0,0171	0	0,86	140	0,0182	0	0,20	223	0,0180	0	2,24
140	0,0185	0	223	0,0159	0	2,65	240	0,0178	0	0,78	240	0,0171	0	1,02
251	0,0160	0	251	0,0158	0	0,30	251	0,0157	0	0,09	251	0,0157	0	0,18
20	0	0	224	0,0042	0	7,41	224	0,0011	0	16,00	224	0,0036	0	9,17
21	0	0	232	0,0026	0	11,95	232	0	0	100	232	0,0006	0	27,99
232	0	0	20	0	0	100	20	0	0	100	20	0	0	100
224	0	0	21	0	0	100	21	0	0	100	21	0	0	100

<sup>I</sup>Cargas correlacionadas:  $\beta < 1\%$  para as dez primeiras barras;

<sup>II</sup>Cargas independentes:  $\beta < 1\%$  para as quarenta e uma primeiras barras;

<sup>III</sup>Cargas independentes:  $\beta < 1\%$  para as dez primeiras barras.

ESTABILIDADE TRANSITÓRIA (Caso 1.b: 400ms) com $\sigma = 5\%$										
Caso Base			Classificação Média <sup>†</sup>				Classificação Média <sup>‡</sup>			
Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]
150	0,6253	1,0000	100	0,7806	0,7500	0,02	150	0,6175	0,9212	0,58
100	0,7795	0,7500	200	0,6479	0,7500	0,16	100	0,7802	0,7500	0,01
200	0,6495	0,7500	150	0,5494	0,6602	1,16	200	0,6530	0,7500	0,06
120	0,3363	0,2000	120	0,3350	0,1978	1,03	120	0,3322	0,1793	0,37
11	0,2845	0	210	0,1814	0,0132	0,49	110	0,2810	0	0,17
110	0,2810	0	110	0,2823	0,0074	0,49	11	0,2806	0	0,14
151	0,2008	0	220	0,0479	0,0026	1,32	231	0,2004	0	0,24
131	0,1990	0	1220	0,1040	0,0024	3,38	151	0,1960	0	0,14
231	0,1970	0	222	0,1004	0,0024	5,00	131	0,1918	0	0,60
130	0,1890	0	221	0,1012	0,0012	1,10	1230	0,1901	0	0,27
1230	0,1888	0	11	0,2766	0	0,29	130	0,1899	0	0,14
210	0,1801	0	231	0,2011	0	0,40	210	0,1770	0	0,11
190	0,1363	0	151	0,1941	0	0,27	190	0,1345	0	0,15
111	0,1265	0	1230	0,1900	0	0,44	121	0,1301	0	0,12
121	0,1265	0	130	0,1855	0	0,35	111	0,1290	0	0,18
160	0,1209	0	131	0,1854	0	0,74	160	0,1217	0	0,24
10	0,1120	0	190	0,1325	0	0,33	180	0,1119	0	0,18
180	0,1105	0	111	0,1287	0	0,35	10	0,1113	0	0,20
170	0,1032	0	121	0,1287	0	0,27	170	0,1015	0	0,20
113	0,0995	0	160	0,1195	0	0,38	1110	0,0990	0	0,24
1110	0,0978	0	180	0,1111	0	0,36	161	0,0965	0	0,23
161	0,0965	0	10	0,1108	0	0,52	113	0,0963	0	0,13
221	0,0953	0	170	0,1009	0	0,39	221	0,0960	0	0,16
112	0,0917	0	1110	0,0974	0	0,41	1220	0,0924	0	4,99
171	0,0700	0	161	0,0958	0	0,37	112	0,0921	0	0,24
1180	0,0635	0	113	0,0953	0	0,28	171	0,0703	0	0,20

Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]
220	0,0631	0	112	0,0909	0	0,47	1130	0,0667	0	3,57
182	0,0630	0	1130	0,0762	0	1,99	230	0,0651	0	0,61
135	0,0590	0	171	0,0706	0	0,33	1180	0,0645	0	0,13
181	0,0580	0	230	0,0690	0	0,65	182	0,0637	0	0,18
134	0,0578	0	1180	0,0634	0	0,33	135	0,0616	0	0,14
260	0,0572	0	182	0,0633	0	0,40	181	0,0604	0	0,17
133	0,0555	0	135	0,0609	0	0,29	134	0,0572	0	0,14
250	0,0544	0	181	0,0602	0	0,27	260	0,0569	0	0,21
230	0,0518	0	132	0,0580	0	3,95	220	0,0554	0	1,64
224	0,0355	0	134	0,0563	0	0,27	133	0,0547	0	0,16
191	0,0355	0	260	0,0556	0	0,50	250	0,0373	0	2,88
1130	0,0340	0	133	0,0532	0	0,55	191	0,0354	0	0,15
140	0,0315	0	250	0,0390	0	1,81	224	0,0339	0	1,12
251	0,0230	0	191	0,0343	0	0,60	140	0,0317	0	0,21
240	0,0175	0	140	0,0321	0	0,37	251	0,0233	0	0,07
1220	0,0113	0	224	0,0314	0	1,24	132	0,0224	0	11,04
132	0,0070	0	251	0,0239	0	0,40	222	0,0202	0	18,15
222	0	0	240	0,0180	0	0,46	240	0,0181	0	0,25
223	0	0	232	0,0118	0	4,88	232	0,0066	0	10,97
232	0	0	223	0,0081	0	6,83	223	0	0	44,73
20	0	0	20	0	0	100	20	0	0	100
21	0	0	21	0	0	100	21	0	0	100

† Cargas correlacionadas:  $\beta < 5\%$  para as dez primeiras barras;

\* Cargas independentes:  $\beta < 5\%$  para as vinte e cinco primeiras barras.

## C.2 CASO 2

ANÁLISE ESTÁTICA: $\sigma = 5\%$							
Caso Base		Classificação Média <sup>†</sup>			Classificação Média <sup>‡</sup>		
Barra	SPI	Barra	SPI	$\beta$ [%]	Barra	SPI	$\beta$ [%]
210	149,84	210	149,33	0,40	210	149,72	0,14
200	129,09	200	126,28	0,32	200	124,59	0,12
21	100,00	21	99,75	0,17	21	99,97	0,05
20	80,00	20	79,90	0,17	20	80,00	0,05
220	76,69	220	73,99	0,50	100	73,32	0,09
100	73,30	100	73,30	0,30	220	72,42	0,21
1180	57,20	1180	57,15	0,18	1180	57,34	0,19
10	56,39	10	56,35	0,30	10	56,40	0,09
130	52,97	130	53,04	0,37	130	53,26	0,24
230	41,41	230	41,36	0,33	230	41,39	0,14
190	36,12	190	35,94	0,27	190	36,10	0,19
120	33,85	120	33,84	0,19	120	33,91	0,18
180	31,2	180	31,18	0,19	180	31,33	0,19
150	31,12	150	31,07	0,47	150	31,17	0,31
110	28,46	110	28,89	0,28	110	28,59	0,08
250	28,08	250	28,25	0,29	250	28,13	0,13
151	26,68	151	26,62	0,47	151	26,72	0,31
181	26,00	181	25,98	0,18	181	26,06	0,19
121	24,00	121	23,98	0,18	121	24,03	0,19
224	22,00	135	21,98	0,18	224	22,02	0,20
135	22,00	224	21,98	0,18	135	21,95	0,19
11	20,00	11	20,20	0,22	11	20,07	0,07
221	19,71	221	19,41	0,56	221	19,68	0,39
231	19,69	231	19,39	0,56	231	19,67	0,39
131	19,35	134	19,32	0,39	134	19,37	0,41
134	19,09	131	19,06	0,56	131	19,33	0,39
260	18,70	260	18,75	2,29	260	18,62	0,86
240	18,00	191	17,98	0,18	240	18,00	0,19
191	18,00	240	17,98	0,18	191	17,98	0,20
251	16,00	251	15,99	0,18	251	16,04	0,20
1230	15,33	222	15,05	0,69	222	15,31	0,48
1220	15,33	1220	15,05	0,69	1220	15,31	0,48
222	15,33	1230	15,05	0,69	1230	15,31	0,48
1130	14,75	132	14,47	0,70	132	14,72	0,49
132	14,75	1130	14,47	0,70	1130	14,72	0,49
140	14,00	140	13,99	0,18	140	14,00	0,20
170	10,91	170	10,90	0,17	170	10,92	0,18
160	10,4	160	10,39	0,18	160	10,41	0,20



Barra	SPI	Barra	SPI	$\beta$ [%]	Barra	SPI	$\beta$ [%]
161	8,00	161	7,99	0,18	161	8,01	0,20
171	8,00	171	7,99	0,18	171	8,00	0,20
111	1,87	111	1,99	1,13	111	1,89	0,30
112	0,08	112	0,09	3,00	112	0,12	3,00
113	0	113	0	100	113	0	100
133	0	133	0	100	133	0	100
182	0	182	0	100	182	0	100
223	0	223	0	100	223	0	100
232	0	232	0	100	232	0	100
1110	0	1110	0	100	1110	0	100

† Cargas correlacionadas:  $\beta < 3\%$  para todas as barras;

\* Cargas independentes:  $\beta < 3\%$  para todas as barras.

ANÁLISE ESTÁTICA: $\sigma = 10\%$							
Caso Base		Classificação Média <sup>†</sup>			Classificação Média <sup>‡</sup>		
Barra	SPI	Barra	SPI	$\beta$ [%]	Barra	SPI	$\beta$ [%]
210	149,84	210	147,29	0,51	210	149,61	0,27
200	129,09	200	126,63	0,54	200	124,24	0,22
21	100,00	21	99,01	0,27	21	99,93	0,10
20	80,00	20	79,39	0,28	20	80,00	0,11
220	76,69	220	74,30	0,83	100	73,41	0,19
100	73,30	100	73,16	0,50	220	72,07	0,39
1180	57,20	1180	56,77	0,30	1180	57,46	0,37
10	56,39	10	56,13	0,49	10	56,46	0,18
130	52,97	130	52,73	0,57	130	53,92	0,45
230	41,41	230	41,20	0,56	230	41,43	0,30
190	36,12	190	35,35	0,45	190	36,24	0,39
120	33,85	120	33,64	0,31	120	34,00	0,36
180	31,2	180	31,03	0,30	180	31,66	0,38
150	31,12	150	30,61	0,78	150	31,24	0,63
110	28,46	110	29,62	0,52	110	29,10	0,25
250	28,08	250	28,89	0,54	250	28,24	0,27
151	26,68	151	26,18	0,77	151	26,78	0,63
181	26,00	181	25,80	0,30	181	26,12	0,37
121	24,00	121	23,82	0,30	121	24,07	0,38
224	22,00	135	21,83	0,30	224	22,03	0,40
135	22,00	224	21,83	0,30	135	21,90	0,37
11	20,00	11	20,25	0,35	11	20,14	0,14
221	19,71	134	19,62	0,56	134	19,94	0,73
231	19,69	221	18,58	0,94	221	19,64	0,78
131	19,35	231	18,57	0,94	231	19,62	0,78
134	19,09	131	18,23	0,94	131	19,28	0,79
260	18,70	260	18,23	2,67	260	18,64	1,66

Barra	SPI	Barra	SPI	$\beta$ [%]	Barra	SPI	$\beta$ [%]
240	18,00	191	17,86	0,30	240	17,99	0,39
191	18,00	240	17,86	0,30	191	17,95	0,39
251	16,00	251	15,88	0,30	251	16,06	0,39
1230	15,33	222	14,26	1,16	222	15,27	0,96
1220	15,33	1220	14,26	1,16	1220	15,27	0,96
222	15,33	1230	14,26	1,16	1230	15,27	0,96
1130	14,75	140	13,90	0,30	132	14,68	0,98
132	14,75	132	13,68	1,19	1130	14,68	0,98
140	14,00	1130	13,68	1,19	140	14,00	0,39
170	10,91	170	10,83	0,28	170	10,92	0,35
160	10,4	160	10,32	0,30	160	10,43	0,40
161	8,00	161	7,94	0,30	161	8,02	0,40
171	8,00	171	7,94	0,30	171	8,00	0,39
111	1,87	111	2,48	2,13	111	2,17	1,81
112	0,08	112	0,13	3,00	112	0,20	3,00
113	0	113	0	100	113	0	100
133	0	133	0	100	133	0	100
182	0	182	0	100	182	0	100
223	0	223	0	100	223	0	100
232	0	232	0	100	232	0	100
1110	0	1110	0	100	1110	0	100

† Cargas correlacionadas:  $\beta < 3\%$  para todas as barras;

\* Cargas independentes:  $\beta < 3\%$  para todas as barras.

ESTABILIDADE TRANSITÓRIA (Caso 2: 100ms) com $\sigma = 5\%$										
Caso Base			Classificação Média <sup>†</sup>				Classificação Média <sup>‡</sup>			
Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]
222	0,7840	1,0000	222	0,7819	0,9961	0,38	222	0,7859	1,0000	0,04
221	0,7537	1,0000	221	0,7446	0,9922	0,42	221	0,7529	1,0000	0,04
231	0,6590	1,0000	231	0,6479	0,8223	0,67	231	0,6537	0,8758	0,11
1220	0,5460	0,6667	1220	0,5444	0,6641	0,38	1220	0,5462	0,6667	0,04
1230	0,5310	0,6667	1230	0,5196	0,6641	0,43	1230	0,5287	0,6667	0,04
131	0,5797	0,5000	131	0,5763	0,6465	0,90	131	0,5771	0,5796	0,18
190	0,2575	0,3333	132	0,4311	0,3242	1,93	190	0,2560	0,2779	0,24
230	0,2739	0,2500	230	0,2677	0,2520	0,61	230	0,2721	0,2500	0,07
220	0,2554	0,2000	190	0,2562	0,2213	1,23	132	0,4273	0,2031	0,46
132	0,4235	0	1130	0,2992	0,2136	2,00	220	0,2580	0,2000	0,07
10	0,3015	0	220	0,2611	0,1992	0,76	1130	0,3053	0,1535	0,42
1130	0,3007	0	210	0,2054	0,0762	1,26	210	0,2003	0,0294	0,21
210	0,1996	0	130	0,0895	0,0452	2,49	130	0,0642	0,0260	0,45
100	0,1623	0	10	0,2992	0,0117	1,64	10	0,3032	0	0,25
250	0,1318	0	200	0,0325	0,0117	12,18	100	0,1613	0	0,17
260	0,1050	0	250	0,1282	0,0039	0,93	250	0,1316	0	0,17
180	0,0743	0	100	0,1530	0,0029	0,98	260	0,1051	0	0,14
110	0,0659	0	180	0,0755	0,0013	1,70	180	0,0739	0	0,26
130	0,0639	0	260	0,1072	0	1,19	110	0,0656	0	0,08
20	0,0545	0	110	0,0585	0	1,93	20	0,0545	0	0,24
223	0,0430	0	20	0,0553	0	2,50	223	0,0430	0	0,09
150	0,0408	0	223	0,0433	0	1,16	150	0,0409	0	0,15
111	0,0400	0	150	0,0341	0	1,90	120	0,0354	0	0,17
120	0,0355	0	251	0,0333	0	1,17	111	0,0343	0	0,49
133	0,0340	0	224	0,0326	0	1,15	251	0,0333	0	0,10
251	0,0330	0	111	0,0300	0	1,74	224	0,0319	0	0,09

Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]
224	0,0320	0	232	0,0286	0	1,79	133	0,0296	0	1,00
240	0,0295	0	120	0,0260	0	3,13	240	0,0296	0	0,11
151	0,0280	0	240	0,0233	0	3,23	151	0,0280	0	0,14
232	0,0255	0	151	0,0231	0	1,87	232	0,0257	0	0,07
200	0,0244	0	133	0,0220	0	4,80	200	0,0243	0	0,25
170	0,0240	0	121	0,0203	0	1,27	170	0,0242	0	0,19
121	0,0220	0	170	0,0201	0	1,73	121	0,0222	0	0,13
160	0,0199	0	182	0,0155	0	0,63	160	0,0178	0	0,30
113	0,0165	0	160	0,0127	0	3,60	182	0,0160	0	0,07
182	0,0160	0	161	0,0110	0	3,46	113	0,0153	0	0,88
161	0,0150	0	113	0,0102	0	4,64	161	0,0150	0	0,17
135	0,0105	0	134	0,0100	0	1,56	135	0,0106	0	0,19
134	0,0102	0	135	0,0081	0	3,42	134	0,0098	0	0,19
140	0,0060	0	191	0,0056	0	1,05	140	0,0061	0	0,21
191	0,0055	0	1180	0,0055	0	1,38	191	0,0054	0	0,16
1180	0,0048	0	1110	0,0054	0	13,50	1180	0,0052	0	0,51
1110	0	0	140	0,0051	0	2,83	181	0,0003	0	13,49
11	0	0	112	0,0032	0	27,51	1110	0,0001	0	24,96
112	0	0	181	0,0004	0	29,40	112	0,0001	0	31,52
171	0	0	21	0,0002	0	37,45	11	0	0	100
21	0	0	11	0	0	100	21	0	0	100
181	0	0	171	0	0	100	171	0	0	100

† Cargas correlacionadas:  $\beta < 2\%$  para as dez primeiras barras;

‡ Cargas independentes:  $\beta < 1\%$  para as vinte e nove primeiras barras.

ESTABILIDADE TRANSITÓRIA (Caso 2.a: 200ms)														
Caso Base			Classificação Média <sup>I</sup> ( $\sigma = 5\%$ )				Classificação Média <sup>II</sup> ( $\sigma = 5\%$ )				Classificação Média <sup>III</sup> ( $\sigma = 10\%$ )			
Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]
222	0,7590	1,0000	222	0,7735	0,9971	0,27	222	0,7780	1,0000	0,10	222	0,7769	1,0000	0,08
221	0,7530	1,0000	221	0,7481	0,9971	0,30	221	0,7522	1,0000	0,08	221	0,7514	1,0000	0,09
231	0,6955	1,0000	231	0,6800	0,8957	0,49	231	0,6926	0,9909	0,21	231	0,6877	0,9345	0,33
131	0,6318	1,0000	131	0,5989	0,7594	0,69	131	0,5914	0,8082	0,79	131	0,5837	0,7949	0,84
132	0,5212	1,0000	1220	0,5595	0,6648	0,30	1220	0,5595	0,6667	0,10	1220	0,5596	0,6667	0,10
1220	0,5475	0,6667	1230	0,5310	0,6648	0,29	1230	0,5348	0,6667	0,10	1230	0,5341	0,6667	0,08
1230	0,5442	0,6667	132	0,4800	0,5043	1,42	132	0,4777	0,5753	1,02	132	0,4854	0,5534	1,08
1130	0,3710	0,6667	210	0,4309	0,4333	0,95	100	0,4524	0,3699	0,96	210	0,4303	0,4114	0,71
190	0,3203	0,3333	1130	0,3480	0,3362	1,40	1130	0,3445	0,3653	0,94	1130	0,3523	0,3657	0,99
100	0,4387	0,2500	190	0,2691	0,2802	1,65	210	0,4147	0,3368	0,67	100	0,4287	0,3562	1,17
210	0,4036	0,2500	230	0,2688	0,2572	1,11	190	0,2759	0,3303	1,37	190	0,2771	0,3026	1,28
230	0,2294	0,2500	100	0,3676	0,2326	1,71	230	0,2348	0,2500	0,45	230	0,2475	0,2549	0,66
220	0,3391	0,2000	220	0,3467	0,2075	0,87	220	0,3386	0,2000	0,23	220	0,3433	0,2000	0,40
130	0,1079	0,1429	200	0,2156	0,1630	5,00	130	0,0840	0,0920	1,99	200	0,1742	0,0892	4,00
10	0,3300	0	130	0,1045	0,0750	2,46	200	0,1251	0,0034	1,60	130	0,0939	0,0857	2,20
250	0,2051	0	250	0,2026	0,0196	1,26	10	0,3293	0	0,49	250	0,2084	0,0079	0,72
260	0,1913	0	20	0,1878	0,0174	2,20	250	0,1967	0	0,93	10	0,3311	0	0,67
20	0,1815	0	10	0,3216	0,0116	1,27	260	0,1922	0	0,43	260	0,1957	0	0,66
110	0,1308	0	260	0,1964	0,0058	1,34	20	0,1815	0	0,67	20	0,1861	0	1,01
150	0,1232	0	180	0,0994	0,0039	1,70	110	0,1283	0	0,28	110	0,1204	0	0,90
200	0,1228	0	110	0,1045	0	2,00	150	0,1203	0	0,47	150	0,1130	0	0,89
151	0,0977	0	150	0,0992	0	1,48	120	0,0968	0	0,43	180	0,0970	0	0,88
120	0,0967	0	151	0,0860	0	0,77	151	0,0950	0	0,24	151	0,0925	0	0,49
180	0,0943	0	120	0,0821	0	1,13	180	0,0946	0	0,49	120	0,0920	0	0,72
111	0,0838	0	111	0,0764	0	0,61	111	0,0795	0	0,40	111	0,0791	0	0,47
160	0,0688	0	223	0,0726	0	1,37	160	0,0697	0	0,34	223	0,0702	0	0,56

Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]
223	0,0685	0	160	0,0647	0	0,78	223	0,0686	0	0,26	160	0,0679	0	0,42
121	0,0605	0	161	0,0563	0	0,93	121	0,0601	0	0,46	170	0,0564	0	0,34
170	0,0553	0	170	0,0554	0	0,74	170	0,0561	0	0,33	161	0,0562	0	0,55
171	0,0530	0	171	0,0519	0	0,84	161	0,0542	0	0,30	121	0,0558	0	1,16
161	0,0520	0	224	0,0495	0	1,41	171	0,0540	0	0,53	171	0,0542	0	0,57
224	0,0470	0	121	0,0486	0	1,89	224	0,0467	0	0,27	224	0,0478	0	0,56
251	0,0445	0	240	0,0482	0	2,24	251	0,0442	0	0,54	240	0,0441	0	1,36
133	0,0430	0	232	0,0429	0	2,37	133	0,0430	0	0,25	133	0,0428	0	1,19
240	0,0405	0	133	0,0393	0	2,91	240	0,0407	0	0,44	251	0,0402	0	1,59
134	0,0352	0	251	0,0333	0	2,86	134	0,0347	0	0,36	232	0,0375	0	1,41
232	0,0345	0	134	0,0308	0	0,86	232	0,0344	0	0,46	134	0,0334	0	0,59
113	0,0295	0	182	0,0280	0	1,02	113	0,0299	0	0,98	182	0,0290	0	0,43
182	0,0285	0	113	0,0255	0	2,37	182	0,0287	0	0,26	113	0,0281	0	1,54
135	0,0270	0	1180	0,0211	0	0,96	135	0,0270	0	0,54	135	0,0244	0	1,35
1180	0,0237	0	135	0,0209	0	2,33	1180	0,0232	0	0,24	1180	0,0223	0	0,64
181	0,0210	0	181	0,0166	0	1,56	181	0,0196	0	0,38	181	0,0181	0	1,19
11	0,0185	0	11	0,0130	0	3,24	11	0,0187	0	0,83	11	0,0169	0	1,78
140	0,0140	0	140	0,0100	0	3,09	140	0,0138	0	0,57	140	0,0124	0	1,60
112	0	0	1110	0,0064	0	23,03	191	0,0006	0	25,12	191	0,0026	0	8,76
21	0	0	191	0,0045	0	6,50	1110	0,0001	0	100	1110	0,0014	0	16,44
191	0	0	112	0,0045	0	40,71	21	0	0	100	21	0	0	100
1110	0	0	21	0	0	100	112	0	0	100	112	0	0	100

<sup>I</sup>Cargas correlacionadas:  $\beta < 5\%$  para as vinte e nove primeiras barras;

<sup>II</sup>Cargas independentes:  $\beta < 2\%$  para as vinte e nove primeiras barras;

<sup>III</sup>Cargas independentes:  $\beta < 4\%$  para as vinte e quatro primeiras barras.

## C.3 CASO REN.

ANÁLISE ESTÁTICA: $\sigma = 5\%$							
Caso Base		Classificação Média <sup>†</sup>			Classificação Média <sup>‡</sup>		
Barra	SPI	Barra	SPI	$\beta$ [%]	Barra	SPI	$\beta$ [%]
200	106,92	200	107,24	0,29	200	107,00	0,07
100	89,42	100	88,97	0,29	100	89,38	0,09
20	80,00	20	79,89	0,21	20	80,03	0,06
210	79,85	210	79,70	0,24	210	79,84	0,07
10	68,08	10	67,76	0,27	10	68,05	0,08
21	60,00	21	60,21	0,24	21	60,12	0,07
1180	57,20	1180	57,13	0,22	1180	57,32	0,22
110	56,00	110	56,00	0,23	110	56,03	0,06
220	40,98	220	41,45	0,44	220	41,05	0,16
11	40,00	11	39,96	0,21	11	40,02	0,06
130	39,63	130	39,94	0,38	130	40,01	0,29
120	34,86	120	34,80	0,23	120	34,95	0,19
180	31,20	180	31,16	0,22	180	31,27	0,22
150	29,25	150	29,16	0,61	150	29,20	0,38
181	26,00	181	25,97	0,22	181	26,05	0,22
190	25,15	190	25,14	0,22	190	25,19	0,19
151	24,80	151	24,73	0,59	151	24,75	0,38
121	24,00	121	23,97	0,22	121	24,07	0,22
250	23,72	250	23,72	0,22	250	23,76	0,17
230	22,02	230	22,07	0,24	230	22,05	0,18
135	22,00	135	21,97	0,22	224	22,01	0,24
224	22,00	224	21,97	0,22	135	21,97	0,22
240	19,80	240	19,78	0,22	240	19,80	0,23
134	19,05	134	19,27	0,46	134	19,36	0,48
191	18,00	191	17,98	0,22	191	18,03	0,23
251	16,00	251	15,98	0,22	251	16,02	0,23
140	14,00	140	13,98	0,22	140	14,01	0,23
160	13,80	160	13,78	0,22	160	13,82	0,21
170	10,61	170	10,60	0,22	170	10,61	0,22
171	8,00	161	7,99	0,22	161	8,01	0,24
161	8,00	171	7,99	0,22	171	8,00	0,23
221	2,75	221	2,75	0,19	221	2,75	0,15
131	2,72	131	2,73	0,19	131	2,73	0,15
231	2,68	231	2,69	0,20	231	2,69	0,17
112	1,73	111	1,76	0,94	112	1,73	0,32
111	1,71	112	1,72	0,26	111	1,71	0,15
24	1,50	16	1,49	0,20	16	1,50	0,06
16	1,50	24	1,49	0,20	24	1,50	0,06

Barra	SPI	Barra	SPI	$\beta$ [%]	Barra	SPI	$\beta$ [%]
260	1,31	260	0,91	2,00	260	1,16	1,50
113	0	113	0	100	113	0	100
132	0	132	0	100	132	0	100
133	0	133	0	100	133	0	100
182	0	182	0	100	182	0	100
222	0	222	0	100	222	0	100
223	0	223	0	100	223	0	100
232	0	232	0	100	232	0	100
1110	0	1110	0	100	1110	0	100
1130	0	1130	0	100	1130	0	100
1220	0	1220	0	100	1220	0	100
1230	0	1230	0	100	1230	0	100

† Cargas correlacionadas:  $\beta < 2\%$  para todas as barras;

‡ Cargas independentes:  $\beta < 1,50\%$  para todas as barras.

ANÁLISE ESTÁTICA: $\sigma = 10\%$							
Caso Base		Classificação Média <sup>†</sup>			Classificação Média <sup>‡</sup>		
Barra	SPI	Barra	SPI	$\beta$ [%]	Barra	SPI	$\beta$ [%]
200	106,92	200	108,63	0,55	200	107,23	0,19
100	89,42	100	88,75	0,51	100	89,45	0,22
20	80,00	210	80,00	0,45	20	80,12	0,16
210	79,85	20	79,73	0,37	210	79,87	0,17
10	68,08	10	67,51	0,47	10	68,10	0,20
21	60,00	21	60,37	0,42	21	60,28	0,18
1180	57,20	1180	57,03	0,39	1180	57,66	0,55
110	56,00	110	56,35	0,45	110	56,17	0,17
220	40,98	220	43,03	0,88	220	41,31	0,42
11	40,00	130	40,63	0,63	130	40,87	0,73
130	39,63	11	39,90	0,38	11	40,07	0,16
120	34,86	120	34,72	0,40	120	35,00	0,50
180	31,20	180	31,11	0,39	180	31,45	0,55
150	29,25	150	29,07	1,08	150	29,05	0,93
181	26,00	181	25,92	0,39	181	26,21	0,55
190	25,15	190	25,11	0,38	190	25,16	0,49
151	24,80	151	24,62	1,05	151	24,62	0,93
121	24,00	121	23,93	0,39	121	24,11	0,57
250	23,72	250	23,71	0,39	250	23,82	0,43
230	22,02	230	22,13	0,42	224	22,15	0,58
135	22,00	135	21,94	0,39	230	22,10	0,49
224	22,00	224	21,94	0,39	135	21,94	0,57
240	19,80	134	19,77	0,75	134	20,04	1,23
134	19,05	240	19,74	0,39	240	19,81	0,61
191	18,00	191	17,95	0,39	191	18,01	0,57



Barra	SPI	Barra	SPI	$\beta$ [%]	Barra	SPI	$\beta$ [%]
251	16,00	251	15,95	0,39	251	16,07	0,59
140	14,00	140	13,96	0,39	140	14,04	0,64
160	13,80	160	13,75	0,39	160	13,84	0,57
170	10,61	170	10,58	0,38	170	10,62	0,56
171	8,00	161	7,98	0,39	161	8,02	0,66
161	8,00	171	7,98	0,39	171	8,01	0,60
221	2,75	221	2,76	0,33	221	2,75	0,37
131	2,72	131	2,74	0,33	131	2,73	0,37
231	2,68	231	2,69	0,35	231	2,69	0,43
112	1,73	111	2,09	2,59	111	1,75	1,11
111	1,71	112	1,71	0,47	112	1,74	0,80
24	1,50	16	1,49	0,35	16	1,50	0,15
16	1,50	24	1,49	0,35	24	1,50	0,15
260	1,31	260	1,02	5,00	260	0,98	3,00
113	0	113	0	100	113	0	100
132	0	132	0	100	132	0	100
133	0	133	0	100	133	0	100
182	0	182	0	100	182	0	100
222	0	222	0	100	222	0	100
223	0	223	0	100	223	0	100
232	0	232	0	100	232	0	100
1110	0	1110	0	100	1110	0	100
1130	0	1130	0	100	1130	0	100
1220	0	1220	0	100	1220	0	100
1230	0	1230	0	100	1230	0	100

† Cargas correlacionadas:  $\beta < 5\%$  para todas as barras;

\* Cargas independentes:  $\beta < 3\%$  para todas as barras.

ESTABILIDADE TRANSITÓRIA (Caso Ren.: 100ms) com $\sigma = 5\%$										
Caso Base			Classificação Média <sup>†</sup>				Classificação Média <sup>‡</sup>			
Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]
222	0,1680	0	230	0,0251	0,0073	5,00	230	0,0310	0,0259	4,99
100	0,1329	0	222	0,1691	0	0,58	222	0,1686	0	0,23
1220	0,1123	0	100	0,1323	0	0,39	100	0,1317	0	0,12
231	0,1085	0	1220	0,1134	0	0,57	1220	0,1129	0	0,23
10	0,1000	0	231	0,1093	0	0,34	231	0,1089	0	0,19
221	0,0963	0	221	0,1083	0	0,53	221	0,1025	0	0,49
1230	0,0920	0	10	0,0989	0	0,42	10	0,0997	0	0,14
131	0,0920	0	131	0,0950	0	0,32	131	0,0937	0	0,16
11	0,0735	0	1230	0,0937	0	0,42	1230	0,0925	0	0,22
132	0,0640	0	11	0,0760	0	0,22	11	0,0751	0	0,12
200	0,0546	0	132	0,0640	0	0,26	132	0,0647	0	0,14
110	0,0537	0	110	0,0548	0	0,30	200	0,0547	0	0,08
150	0,0496	0	200	0,0539	0	0,39	110	0,0540	0	0,09
1130	0,0442	0	150	0,0500	0	0,41	150	0,0494	0	0,12
120	0,0431	0	1130	0,0450	0	0,31	1130	0,0451	0	0,13
190	0,0390	0	120	0,0438	0	0,43	120	0,0432	0	0,13
151	0,0390	0	190	0,0424	0	0,36	190	0,0408	0	0,23
160	0,0356	0	151	0,0397	0	0,33	151	0,0391	0	0,15
220	0,0323	0	220	0,0333	0	0,65	111	0,0327	0	0,10
111	0,0320	0	111	0,0331	0	0,25	220	0,0326	0	0,34
210	0,0317	0	210	0,0322	0	0,30	210	0,0318	0	0,10
170	0,0267	0	250	0,0265	0	0,37	250	0,0262	0	0,15
1110	0,0260	0	1110	0,0262	0	0,29	1110	0,0258	0	0,12
180	0,0258	0	121	0,0256	0	0,35	121	0,0255	0	0,12
250	0,0256	0	180	0,0251	0	0,31	180	0,0253	0	0,09
121	0,0255	0	170	0,0236	0	0,38	170	0,0240	0	0,39

Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]
260	0,0220	0	113	0,0231	0	0,31	113	0,0226	0	0,21
112	0,0218	0	260	0,0226	0	0,39	260	0,0224	0	0,13
113	0,0210	0	112	0,0220	0	0,56	112	0,0220	0	0,18
182	0,0185	0	130	0,0187	0	1,15	182	0,0182	0	0,15
130	0,0174	0	182	0,0177	0	0,29	130	0,0177	0	0,27
251	0,0140	0	251	0,0141	0	0,31	251	0,0142	0	0,08
134	0,0113	0	160	0,0113	0	3,86	160	0,0124	0	3,82
161	0,0105	0	134	0,0109	0	0,33	134	0,0111	0	0,10
1180	0,0067	0	161	0,0109	0	0,72	161	0,0106	0	0,17
240	0,0058	0	1180	0,0066	0	0,86	1180	0,0064	0	0,17
133	0,0045	0	133	0,0055	0	2,47	133	0,0046	0	0,18
224	0	0	191	0,0043	0	2,88	171	0,0036	0	3,80
232	0	0	240	0,0036	0	3,39	240	0,0031	0	3,29
230	0	0	232	0,0010	0	10,56	191	0,0022	0	5,21
140	0	0	171	0,0009	0	12,23	16	0	0	100
171	0	0	135	0,0004	0	20,19	20	0	0	100
135	0	0	181	0,0004	0	19,82	21	0	0	100
16	0	0	140	0,0002	0	20,18	24	0	0	100
24	0	0	223	0,0002	0	20,19	135	0	0	100
21	0	0	21	0	0	38,15	140	0	0	100
223	0	0	16	0	0	100	181	0	0	100
20	0	0	20	0	0	100	223	0	0	100
181	0	0	24	0	0	100	224	0	0	100
191	0	0	224	0	0	100	232	0	0	100

† Cargas correlacionadas:  $\beta < 5\%$  para as dez primeiras barras;

‡ Cargas independentes:  $\beta < 5\%$  para as dez primeiras barras.

ESTABILIDADE TRANSITÓRIA (Caso Ren.a: 200ms)														
Caso Base			Classificação Média <sup>I</sup> ( $\sigma = 5\%$ )				Classificação Média <sup>II</sup> ( $\sigma = 5\%$ )				Classificação Média <sup>III</sup> ( $\sigma = 10\%$ )			
Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]
100	0,3819	0,2500	100	0,3783	0,3293	0,93	100	0,3757	0,2526	0,34	100	0,3711	0,3000	0,67
222	0,1945	0	230	0,0419	0,0366	5,00	230	0,0462	0,0391	5,00	230	0,0467	0,0408	5,00
221	0,1470	0	222	0,1990	0	0,65	160	0,0154	0,0002	4,05	222	0,1990	0	0,52
231	0,1430	0	221	0,1496	0	0,53	222	0,1945	0	0,25	221	0,1504	0	0,49
11	0,1395	0	231	0,1411	0	0,37	221	0,1492	0	0,22	231	0,1414	0	0,36
1220	0,1352	0	1220	0,1407	0	0,55	231	0,1411	0	0,18	1220	0,1391	0	0,43
131	0,1310	0	131	0,1362	0	0,41	1220	0,1379	0	0,20	131	0,1364	0	0,34
1230	0,1290	0	11	0,1355	0	0,28	11	0,1359	0	0,10	11	0,1353	0	0,18
200	0,1175	0	1230	0,1259	0	0,43	131	0,1348	0	0,17	1230	0,1241	0	0,44
10	0,1150	0	200	0,1166	0	0,36	1230	0,1238	0	0,24	200	0,1175	0	0,23
150	0,1120	0	10	0,1114	0	0,45	200	0,1175	0	0,11	10	0,1118	0	0,27
110	0,1065	0	150	0,1112	0	0,31	10	0,1118	0	0,12	150	0,1109	0	0,18
120	0,0986	0	110	0,1064	0	0,35	150	0,1107	0	0,09	110	0,1056	0	0,19
132	0,0890	0	120	0,1016	0	0,38	110	0,1055	0	0,10	120	0,1011	0	0,23
151	0,0747	0	132	0,0936	0	0,31	120	0,1006	0	0,10	132	0,0937	0	0,29
130	0,0746	0	151	0,0766	0	0,37	132	0,0931	0	0,15	151	0,0770	0	0,26
1130	0,0688	0	130	0,0724	0	0,32	151	0,0756	0	0,16	130	0,0702	0	0,25
190	0,0673	0	190	0,0694	0	0,39	130	0,0709	0	0,23	190	0,0696	0	0,30
111	0,0653	0	1130	0,0681	0	0,42	190	0,0684	0	0,17	1130	0,0677	0	0,32
121	0,0550	0	111	0,0673	0	0,30	1130	0,0671	0	0,18	111	0,0672	0	0,21
210	0,0549	0	121	0,0576	0	0,26	111	0,0665	0	0,10	210	0,0571	0	0,17
170	0,0537	0	210	0,0551	0	0,35	121	0,0574	0	0,11	170	0,0553	0	0,22
113	0,0510	0	170	0,0532	0	0,35	210	0,0552	0	0,11	113	0,0532	0	0,26
180	0,0500	0	161	0,0503	0	0,39	170	0,0532	0	0,17	180	0,0506	0	0,31
161	0,0495	0	113	0,0499	0	0,23	113	0,0506	0	0,13	161	0,0494	0	0,17
1110	0,0450	0	180	0,0489	0	0,32	161	0,0499	0	0,18	1110	0,0486	0	0,19

Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]
220	0,0431	0	220	0,0453	0	0,39	180	0,0488	0	0,10	220	0,0435	0	0,51
250	0,0407	0	1110	0,0427	0	0,50	220	0,0445	0	0,17	1110	0,0426	0	0,40
182	0,0375	0	250	0,0393	0	0,60	1110	0,0436	0	0,27	250	0,0401	0	0,19
260	0,0372	0	171	0,0388	0	0,32	250	0,0406	0	0,06	171	0,0389	0	0,24
171	0,0365	0	260	0,0370	0	0,29	171	0,0390	0	0,15	260	0,0373	0	0,16
112	0,0365	0	182	0,0356	0	0,27	260	0,0372	0	0,09	182	0,0353	0	0,18
1180	0,0315	0	112	0,0353	0	0,56	112	0,0355	0	0,24	112	0,0351	0	0,37
134	0,0310	0	1180	0,0322	0	0,31	182	0,0354	0	0,17	1180	0,0318	0	0,14
181	0,0305	0	134	0,0308	0	0,30	1180	0,0316	0	0,08	134	0,0306	0	0,23
133	0,0285	0	135	0,0294	0	0,33	134	0,0304	0	0,13	135	0,0292	0	0,27
135	0,0280	0	181	0,0286	0	0,35	181	0,0288	0	0,17	181	0,0285	0	0,19
223	0,0225	0	223	0,0209	0	0,54	135	0,0285	0	0,16	223	0,0214	0	0,38
160	0,0222	0	191	0,0175	0	0,38	223	0,0218	0	0,15	191	0,0172	0	0,22
232	0,0180	0	251	0,0163	0	0,15	133	0,0174	0	2,08	251	0,0163	0	0,12
191	0,0180	0	133	0,0161	0	2,40	191	0,0173	0	0,17	133	0,0158	0	2,39
251	0,0165	0	140	0,0157	0	0,40	251	0,0164	0	0,07	140	0,0155	0	0,28
140	0,0165	0	160	0,0146	0	3,94	140	0,0156	0	0,18	160	0,0142	0	4,35
240	0,0133	0	232	0,0123	0	2,75	232	0,0141	0	2,13	232	0,0118	0	2,74
21	0	0	240	0,0065	0	3,51	240	0,0064	0	3,37	240	0,0061	0	3,69
24	0	0	224	0,0014	0	8,16	224	0	0	57,74	224	0,0009	0	13,72
16	0	0	21	0,0003	0	21,57	16	0	0	100	16	0	0	100
230	0	0	16	0	0	100	20	0	0	100	20	0	0	100
224	0	0	20	0	0	100	21	0	0	100	21	0	0	100
20	0	0	24	0	0	100	24	0	0	100	24	0	0	100

<sup>I</sup>Cargas correlacionadas:  $\beta < 5\%$  para as dez primeiras barras;

<sup>II</sup>Cargas independentes:  $\beta < 5\%$  para as dez primeiras barras;

<sup>III</sup>Cargas independentes:  $\beta < 5\%$  para as dez primeiras barras.

ESTABILIDADE TRANSITÓRIA (Caso Ren.b: 400ms) com $\sigma = 5\%$										
Caso Base			Classificação Média <sup>†</sup>				Classificação Média <sup>‡</sup>			
Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]
100	0,7794	0,7500	100	0,7799	0,7500	0,02	100	0,7797	0,7500	0,01
200	0,6587	0,7500	200	0,6565	0,7500	0,20	200	0,6610	0,7500	0,04
150	0,2946	0	150	0,3818	0,2481	1,65	230	0,0638	0,0613	5,00
11	0,2680	0	230	0,0679	0,0697	4,99	150	0,3078	0,0268	0,45
110	0,2612	0	120	0,2705	0,0583	1,46	11	0,2642	0	0,10
120	0,2426	0	110	0,2739	0,0269	1,27	110	0,2596	0	0,09
131	0,2160	0	210	0,1862	0,0149	0,41	120	0,2428	0	0,18
231	0,1878	0	222	0,0761	0,0014	2,85	131	0,1991	0	0,57
151	0,1858	0	1220	0,0473	0,0009	4,79	231	0,1889	0	0,20
210	0,1806	0	220	0,0382	0,0008	0,95	151	0,1854	0	0,11
1230	0,1777	0	221	0,0967	0,0007	0,75	210	0,1822	0	0,08
130	0,1714	0	130	0,1715	0,0006	0,48	1230	0,1774	0	0,21
132	0,1460	0	160	0,0211	0,0003	4,54	130	0,1694	0	0,08
190	0,1263	0	11	0,2646	0	0,34	132	0,1487	0	0,16
111	0,1245	0	231	0,1933	0	0,50	190	0,1261	0	0,14
1130	0,1225	0	151	0,1864	0	0,30	111	0,1250	0	0,13
121	0,1220	0	131	0,1815	0	0,77	1130	0,1225	0	0,15
10	0,1085	0	1230	0,1804	0	0,51	121	0,1211	0	0,13
222	0,1020	0	132	0,1376	0	1,00	10	0,1099	0	0,16
180	0,1018	0	190	0,1268	0	0,37	180	0,1022	0	0,12
170	0,0943	0	111	0,1255	0	0,38	222	0,0973	0	0,96
221	0,0917	0	121	0,1220	0	0,31	170	0,0961	0	0,14
161	0,0900	0	1130	0,1176	0	0,63	161	0,0919	0	0,17
113	0,0870	0	10	0,1099	0	0,53	221	0,0905	0	0,11
1110	0,0865	0	180	0,1038	0	0,37	113	0,0887	0	0,10
112	0,0785	0	170	0,0972	0	0,44	1110	0,0873	0	0,12

Barra	AS	ANU	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]	Barra	AS	ANU	$\beta$ [%]
1220	0,0683	0	161	0,0929	0	0,42	112	0,0797	0	0,14
171	0,0650	0	113	0,0906	0	0,33	171	0,0683	0	0,13
260	0,0650	0	1110	0,0888	0	0,44	260	0,0627	0	0,08
182	0,0610	0	112	0,0813	0	0,49	182	0,0609	0	0,13
1180	0,0597	0	171	0,0683	0	0,39	1180	0,0591	0	0,08
181	0,0545	0	260	0,0615	0	0,36	135	0,0560	0	0,12
135	0,0545	0	182	0,0611	0	0,28	181	0,0549	0	0,11
134	0,0515	0	1180	0,0600	0	0,32	134	0,0521	0	0,10
133	0,0485	0	135	0,0571	0	0,35	133	0,0486	0	0,11
223	0,0455	0	181	0,0560	0	0,37	1220	0,0373	0	3,15
224	0,0350	0	134	0,0529	0	0,35	223	0,0369	0	1,47
220	0,0337	0	133	0,0492	0	0,39	220	0,0346	0	0,28
191	0,0315	0	250	0,0368	0	2,46	250	0,0344	0	2,37
251	0,0295	0	191	0,0295	0	1,33	224	0,0303	0	1,41
140	0,0265	0	140	0,0286	0	0,45	251	0,0281	0	0,21
160	0,0219	0	251	0,0277	0	0,31	140	0,0277	0	0,18
240	0,0203	0	224	0,0237	0	2,55	191	0,0268	0	1,58
250	0,0127	0	223	0,0223	0	3,58	160	0,0209	0	4,17
24	0	0	232	0,0129	0	5,06	232	0,0106	0	5,31
16	0	0	240	0,0089	0	4,09	240	0,0094	0	3,41
21	0	0	16	0	0	100	16	0	0	100
20	0	0	20	0	0	100	20	0	0	100
232	0	0	21	0	0	100	21	0	0	100
230	0	0	24	0	0	100	24	0	0	100

† Cargas correlacionadas:  $\beta < 5\%$  para as dez primeiras barras;

‡ Cargas independentes:  $\beta < 5\%$  para as dez primeiras barra.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A seguir, apresentam-se as referências bibliográficas da Dissertação.

- [AF03] P.M. Anderson and A.A. Fouad, *Power System Control and Stability*, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2003.
- [AFPB03] C.I.F. Agreira, C.M.M. Ferreira, J.A.D. Pinto, and F.P.M. Barbosa, "Contingency Screening and Ranking Algorithm Using two Different sets of Security Performance Indices," *IEEE Bologna Power Tech Conference Proceedings*, Vol. 4, June 2003.
- [ATL10] G.J. Anders, A. Torres, and A.M. Leite da Silva, "Guide to Identify and Rank Critical Facilities," CEATI Report T083700-3357, 2010.
- [BA92] R. Billinton and R.N. Allan, *Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques*, 2nd ed. New York: Plenum Press, 1992.
- [BA96] R. Billinton and R.N. Allan, *Reliability Evaluation of Power Systems*, 2nd ed. New York: Plenum Press, 1996.
- [BL93] R. Billinton and G. Lian, "Station Reliability Evaluation using a Monte Carlo Approach," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 8, No. 3, pp. 1239-1245, Jul. 1993.
- [BV87] R. Billinton and P.K. Vohra, "Station Initiated Outages in Composite System Adequacy Evaluation," *Proc. Inst. Elect. Eng. C*, Vol. 134, No. 1, pp. 10-16, Jan. 1987.
- [C10] H.-D. Chiang, *Direct Methods for Stability Analysis of Electric Power Systems: Theoretical Foundation, BCU Methodologies, and Applications*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2010.
- [DC06] H.M. Dola and B.H. Chowdhury, "Intentional Islanding and Adaptive Load Shedding to Avoid Cascading Outages," *IEEE PES General Meeting*, 2006.
- [G94] S. Granville, "Optimal Reactive Dispatch through Interior Point Methods," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 9, No. 1, pp. 136-146, Feb. 1994.



- 
- [J94] J.L.A. Jardim, "Advances in Power System Transient Stability Assessment Using Transient Energy Functions," Imperial College of Science, Technology and Medicine, ICSTM, University of London, UK, Ph.D. Thesis, Oct. 1994.
- [L05] W. Li, *Risk Assessment of Power Systems: Models, Methods, and Applications*. New York: Wiley-IEEE Press, 2005.
- [L73] D.G. Luenberger, *Introduction to Linear and Nonlinear Programming*, 1st ed. New York: Addison-Wesley, 1973.
- [LJML13] A.M. Leite da Silva, J.L.A. Jardim, Z.S. Machado Jr., L.R. Lima et al., "Methodology and Computer Program for Ranking of Substations in Bulk Power Systems: Static and Dynamic Analyses - Hydro One," Research Report Feb. 2013.
- [LR08] A.M. Leite da Silva and L.S. Rezende, "Transmission Contingency Ranking – Hydro One," Research Report 1/2, Oct. 2007/Mar. 2008.
- [N03] N. Nighot, "Incorporating Substation and Switching Station Related Outages in Composite System Reliability Evaluation," University of Saskatchewan, Saskatoon, Master of Science Thesis, Sep. 2003.
- [P89] M.A. Pai, *Energy Function Analysis for Power System Stability*. Norwell, Massachusetts, USA: Kluwer Academic Publishers, 1989.
- [PBB11] F. Pasqualetti, A. Bicchi, and F. Bullo, "A Graph-theoretical Characterization of Power Network Vulnerabilities," *IEEE American Control Conference*, pp. 3918-3923, July 2011.
- [PER00] M. Pavella, D. Ernst, and D. Ruiz-Vega, *Transient Stability of Power Systems: A Unified Approach to Assessment and Control*. Norwell, Massachusetts, USA: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [PSPQ11] L.D. Penna, C.A. Silva Neto, M.C. Passaro, M.A. Quadros et al., "Utilização da Ferramenta ORGANON nos Processos do ONS," in XXI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - SNPTEE, Florianópolis, Out. 2011, p. 9.
- [R05] D.G. Robinson, "Reliability Analysis of Bulk Power Systems Using Swarm Intelligence," *Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 96-102, Jan. 2005.
- [RLJM00] A.M. Rei, A.M. Leite da Silva, J.L.A. Jardim, and J.C.O. Mello, "Static and Dynamic Aspects in Bulk Power System Reliability Evaluations," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 15, No. 1, pp. 189-195, Feb. 2000.
-

- [SAA85] B. Stott, O. Alsac, and F.L. Alvarado, "Analytical and Computational Improvements in Performance-index Ranking Algorithms for Networks," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 7, No. 3, pp. 154-160, July 1985.
- [SFCM05] G.K. Stefopoulos, Fang Yang, G.J. Cokkinides, and A.P.S. Meliopoulos, "Advanced Contingency Selection Methodology," *Proceedings of the 37th Annual North American Power Symposium*, pp. 67-73, Oct. 2005.
- [SS08] A.T. Saric and A.M. Stankovic, "Applications of Ellipsoidal Approximations to Polyhedral sets in Power System Optimization," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 23, No. 3, pp. 956-965, Aug. 2008.
- [SSAB11] K.C.O. Salim, C.A. Silva Neto, L.F.C. Alberto, N.G. Bretas et al., "Análise de Segurança do Sistema Elétrico Brasileiro Considerando Oscilações Sustentadas," in XXI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - SNPTEE, Florianópolis, Out. 2011, p. 7.
- [V14] A. Violin, "Avaliação da Confiabilidade de Subestações baseada nos Desempenhos Estático e Dinâmico dos Sistemas Elétricos de Potência," UNIFEI, Itajubá, Tese de Doutorado, Jan. 2014.
- [VLFM12] A. Violin, A.M. Leite da Silva, C. Ferreira e Z.S. Machado Jr., "Avaliação da Confiabilidade de Subestações baseada nos Impactos das Falhas de Equipamentos no Sistema Elétrico," in XIX Congresso Brasileiro de Automática - CBA, Campina Grande, PB, Set. 2012.
- [VLFM13] A. Violin, A.M. Leite da Silva, C. Ferreira e Z.S. Machado Jr., "Avaliação da Confiabilidade de Subestações baseada nos Desempenhos Estático e Dinâmico dos Sistemas Elétricos de Potência," in XXII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - SNPTEE, Brasília, DF, Out. 2013.