

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE TRANSMISSÃO ENTRE ÁREAS
CONSIDERANDO SEGURANÇA OPERATIVA DO SISTEMA ELÉTRICO DE
POTÊNCIA.**

CLAUDIO TEIXEIRA JUNQUEIRA

Itajubá, 18 de fevereiro de 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE TRANSMISSÃO ENTRE ÁREAS
CONSIDERANDO SEGURANÇA OPERATIVA DO SISTEMA ELÉTRICO DE
POTÊNCIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Itajubá como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração:
Sistemas Elétricos de Potência

Orientador:
Prof. Dr. Zulmar Soares Machado Júnior

CLAUDIO TEIXEIRA JUNQUEIRA

Itajubá, 18 de fevereiro de 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

CLAUDIO TEIXEIRA JUNQUEIRA

**DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE TRANSMISSÃO ENTRE ÁREAS
CONSIDERANDO SEGURANÇA OPERATIVA DO SISTEMA ELÉTRICO DE
POTÊNCIA**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 18 de fevereiro de 2019, conferindo ao autor o título de **Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.**

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Zulmar Soares Machado Júnior

Prof. Dr. João Guilherme de Carvalho Costa (UNIFEI)

Prof. Dr. João Alberto Passos Filho (UFJF)

Itajubá, 18 de fevereiro de 2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho,

Ao meu orientador pela confiança em mim depositada e pelo suporte dado nestes anos; pela dedicação e sabedoria. Agradeço às conversas e observações que sempre agregaram, e motivaram neste trabalho.

Agradeço aos meus pais, são meu norte e os maiores exemplos de vivência que tenho, serem pessoas presentes em todas as fases da minha vida, com muito amor, orientação, suporte, compreensão e dedicação.

À FAPEMIG, pelo apoio financeiro prestado através da bolsa de estudos, que durante o período do mestrado foi de grande importância.

Agradeço ao senhor Jorge Jardim (HPPA) pela disponibilização de uma versão acadêmica do programa ORGANON utilizado nas simulações dinâmicas realizadas nesse trabalho.

Por fim, agradeço a todos os amigos e colegas que compartilharam momentos nestes anos certamente ajudaram a confecção do trabalho.

RESUMO

O trabalho apresenta a elaboração de um método computacional para determinar uma máxima quantidade de potência a ser transferida entre áreas, ou linhas de transmissão, do sistema elétrico. Este método utiliza um processo iterativo que leva em consideração a análise de estabilidade angular, tendo seu início através de uma aplicação de um algoritmo de fluxo de potência ótimo (FPO) cuja função objetivo é a máxima transferência de potência entre ramos da rede, e o método de pontos interiores para solução da otimização. Com o caso convergido, simulações no domínio do tempo são realizadas para verificar a estabilidade angular do ponto de operação obtido frente a contingências. Índices que apontam a margem de estabilidade transitória são calculados baseado no princípio do critério das áreas iguais. Uma variação do método “single machine equivalent” (SIME), que calcula a margem de energia considerando a energia pós-falta disponível e a energia cinética acrescentada aos rotores. Para assim, validar o ponto de operação do sistema elétrico.

Diferentes metodologias para restrição são abordadas e implementadas no algoritmo. Desde simples limitações em variáveis de otimização a redespacho de potência mais coerentes entre as unidades geradoras de todo o sistema. O algoritmo foi implementado em uma plataforma computacional que integra todas essas ferramentas permitindo uma ampla flexibilidade. Os resultados obtidos com diferentes sistemas testes e diferentes métodos de restrição mostram a necessidade de se levar em conta critérios de segurança na determinação máxima capacidade de transferência.

Palavras chave: Otimização de Sistemas de Potência, Planejamento de Sistemas Elétricos, Segurança Operativa

ABSTRACT

The calculation of the available transfer capability in electrical power systems has always been an important aspect in planning the electric operation. Considering the extension of the national interconnected system (SIN), and the difference between power generation and consumption of the interconnected regions during the different seasons, evaluating the power transfer limits between the SIN areas directly, impacts the operational flexibility. Determining this limit quickly that does not compromise safety against disturbances has become increasingly important for making decisions during real-time electrical operation.

This work presents the elaboration of a computational method to determine a maximum amount of transfer power between areas, or transmission lines, of an electric system. Based on the response of an iterative process that takes into account transient angular stability conditions, the process starts with the application of an optimum power flow algorithm (OPF) with objective function maximum power transfer between branches of the network, with resolution by interior points method.

With the case converged, simulations in the time domain are performed to verify the angular stability of the optimal operating point against most severe contingencies. Energy margins that indicates the transient stability margin are calculated based on the principle of the criterion of equal areas. A variation of the equivalent single machine method (SIME), which calculates the energy margin by relating the available post-fault energy with the kinetic energy added to the rotors by the contingency.

By evaluating the energy margins based in security criteria of the algorithm. If criteria meet, the determined point is safe, and the transfer power is determined to be maximum. Otherwise, several constraints are formulated for feedback in the FPO optimization parameters and another process iteration is performed. Until a secure operation point is found.

Keywords: Optimization, Security, Power System Planning

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Exportação de Energia em tempo real	3
Figura 3.1 - <i>Available Transfer Capability</i>	10
Figura 4.1 - Operadores independentes da América do Norte.	15
Figura 4.2 - Sistema 9 Barras.	21
Figura 5.1 - <i>One Machine Infinite Bus</i>	26
Figura 5.2 - Critério das áreas iguais.....	28
Figura 5.3 - Exemplo caso Estável.....	30
Figura 5.4 - Exemplo caso Instável.....	31
Figura 5.5 – Sistema teste 9 Barras	34
Figura 5.6 – Simulação no domínio do tempo Sistema 9 Barras.	35
Figura 6.1 -Fluxograma da metodologia do cálculo do ATC.	38
Figura 6.2 - Áreas de desaceleração criadas pelo redespacho de <i>Pm</i>	40
Figura 6.3 – Divisão de potência.....	42
Figura 7.4 – Simulação no domínio do tempo	43
Figura 7.1 - Sistema teste <i>Brazilian Birds</i>	45
Figura 7.2– Região de segurança <i>Brazilian Birds</i>	50
Figura 7.3 - Sistema 65 Barras equivalente sul-sudeste Brasileiro	52
Figura 7.4 – Região de Segurança 65 Barras.	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Otimização do Sistema 9 barras	21
Tabela 5.1 – Avaliação de segurança do Sistema 9 Barras	35
Tabela 7.1- Margem de Potência Instável	43
Tabela 6.2 - Divisão de potência entre as máquinas	44
Tabela 7.1 - Sumário das Áreas	46
Tabela 7.2 - Margem de segurança da contingências <i>BB</i>	47
Tabela 7.3 – Resultado da 2ª otimização.....	49
Tabela 7.4 – Transferência entre áreas e Margem de Potência	51
Tabela 7.5 – Sumário 65 Barras.	53
Tabela 7.6- Contingência mais severa para caso base	53
Tabela 7.7 – Resultado da otimização para 1ª iteração.	54
Tabela 7.8 – Avaliação de segurança 65 Barras.....	54
Tabela 7.9 – Redespacho de potência iteração 1.....	56
Tabela 7.10 – Resultado da otimização da segunda iteração.	57
Tabela 7.11 – Avaliação de segurança da 2ª iteração.....	57
Tabela 7.12 – Redistribuição de potência 2ª iteração.....	58
Tabela 7.13 – Resultado da otimização 3ª iteração.	58
Tabela 7.14 – Avaliação de segurança 3ª iteração.	59
Tabela 7.15 – Resultados 65 Barras.	61

LISTA DE SIGLAS

ACOPF	<i>Alternate Current Optimal Power Flow</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ATC	<i>Available Transfer Capability</i>
AVR	<i>Automatic Voltage Regulator</i>
CAISO	<i>California Independent System Operator</i>
DCOPF	<i>Direct Current Optimal Power Flow</i>
EPE	Empresa de Pesquisas Energéticas
EPNS	<i>Expected Power Not Supplied</i>
ETC	<i>Expected Transfer Capacity</i>
FERC	<i>Federal Energy Regulatory Commission</i>
FPO	Fluxo de Potência Ótimo
GH	Geração Hidráulica
GT	Geração Térmica
MME	Ministério de Minas e Energia
NERC	<i>National Energy Reliability Council</i>
OMIB	<i>One Machine Infinite Bus</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PJM	<i>Pennsylvania New Jersey and Maryland Independent System Operator</i>
PSS	<i>Power System Stabilizer</i>
SEB	Sistema Elétrico Brasileiro
SEG	Segurança (Região de Segurança)
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SIME	<i>Single Machine Equivalent</i>
SIN	Sistema Interligado Nacional

TRM	<i>Transfer Reliability Margin</i>
TTC	<i>Total Transfer Capability</i>
UHE	Usina Hidrelétrica
UTE	Usina Termelétrica

LISTA DE VARIÁVEIS

A_{acc}	Área de aceleração do critério das áreas iguais
A_{dec}	Área de desaceleração do critério das áreas iguais
B_{kj}	Suceptância do ramo kj
E_M	Tensão na barra da máquina do OMIB
E_∞	Tensão na barra infinita do OMIB
F_{il}	Fluxo de potência ativa na linha $i - l$
G_{kj}	Condutância do ramo $k - j$
H	Constante de inércia das máquinas rotativas
M	Momento de inércia das máquinas rotativas
P_a	Potência acelerante
P_e	Potência elétrica da máquina
P_{eo}	Potência elétrica pré-falta
P_{edf}	Potência elétrica durante a falta
P_{epf}	Potência elétrica pós-falta
P_m	Potência mecânica da máquina
P_k	Potência ativa na barra k
X_e	Reatância equivalente
δ	Ângulo do rotor da máquina em relação a barramento infinito
δ_0	Ângulo do rotor de equilíbrio pré-falta

δ_{ch}	Ângulo do rotor pós-falta, em que a potência acelerante muda de positiva para negativa
δ_{clr}	Ângulo do rotor na eliminação da falta
δ_r	Ângulo do rotor na eliminação da falta
δ_s	Ângulo do rotor no equilíbrio pós-falta
δ_u	Ângulo do rotor definida a instabilidade
η_e	Margem de energia estável
η_u	Margem de energia instável
θ_{kj}	Ângulo de tensão na barra k em relação a barra j
ω	Velocidade angular do rotor
ω_u	Velocidade angular no ponto de instabilidade
ω_s	Velocidade angular síncrona

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Considerações Iniciais	1
1.2	Objetivos da Pesquisa	3
1.3	Estrutura da Dissertação	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1	Considerações Iniciais	5
2.2	Cálculo do ATC através da Avaliação de Segurança	5
2.3	Cálculo do ATC por Avaliação Probabilística	6
2.4	Avaliação do ATC por Métodos Inteligentes	6
2.5	Cálculo do ATC por Redespacho em Máquinas Críticas	7
3	CAPACIDADE DE TRANSFERÊNCIA DE POTÊNCIA DISPONÍVEL.....	8
3.1	Considerações Iniciais	8
3.2	Conceituação de ATC.....	8
3.3	Conceituação teórica.....	10
3.3.1	Conceito da transferência de potência entre áreas	10
3.3.2	Cálculo do ATC com Restrições de Segurança.....	10
3.3.3	Análise de Robustez e Eficiência Computacional	11
3.4	Considerações Finais	12
4	FLUXO DE POTENCIA ÓTIMO.....	13
4.1	Considerações Iniciais	13
4.2	Conceituação Teórica	13

4.3	Utilização de algoritmos de otimização por Operadores dos Sistemas	14
4.4	Formulação Matemática do Fluxo de Potência Ótimo	16
4.4.1	Máxima Capacidade de Transmissão via FPO	17
4.4.2	Métodos de solução do fluxo de potência ótimo.	18
4.5	Exemplo Otimização	20
4.6	Considerações finais	22
5	SEGURANÇA DINÂMICA.....	23
5.1	Considerações Iniciais	23
5.2	Introdução à Análise de Segurança.....	23
5.3	Avaliação de Segurança.....	23
5.3.1	Avaliação de Segurança Estática:.....	23
5.3.2	Avaliação de Segurança Dinâmica	24
5.4	Conceituação Teórica	25
5.4.1	“ <i>One Machine Infinite Bus</i> ”	25
5.4.2	Critério de Igualdade das Áreas.....	26
5.4.3	O Método da Máquina Equivalente.....	28
5.4.4	Margens de Estabilidade.....	31
5.5	Exemplo Avaliação de Segurança: Sistema 9 Barras	33
5.6	Considerações Finais	36
6	METODOLOGIA DE CÁLCULO DO ATC.....	37
6.1	Considerações Iniciais	37
6.2	Metodologia.....	37
6.2.1	Critério de Parada:	38
6.2.2	Tipos de condições	39

6.3	Redistribuição de Margem entre as Máquinas Críticas.....	39
6.4	Redistribuição de potência elétrica entre as máquinas críticas.....	41
6.4.1	Exemplo do processo de redespacho com distribuição proporcional.....	42
6.5	Considerações Finais	44
7	ESTUDO DE CASOS	45
7.1	Considerações Iniciais	45
7.2	Sistema 1: <i>Brazilian Birds</i>	45
7.2.1	Construção das restrições: Despacho modificado	48
7.2.2	Verificação da metodologia via Região de Segurança	49
7.3	Sistema 2: Equivalente Brasileiro 65 Barras	51
7.3.1	Construção das restrições: Redespacho Proporcional	55
7.3.2	Verificação do ATC na região de Segurança	59
7.4	Considerações Finais	61
8	CONCLUSÕES	62
8.1	Considerações Finais	62
8.2	Futuros trabalhos	62
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
	ANEXOS	67

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Devido as atuais características do setor elétrico, muitos fatores para a operação de sistemas elétricos de potência (SEP's) foram e estão sendo alterados. É fato que os sistemas têm operado cada vez mais carregados e mais próximos aos seus limites. Portanto, uma rápida avaliação da capacidade de transferência de potência disponível entre áreas, aliada a um uso ótimo da rede elétrica, é primordial, garantindo a segurança operativa mesma. Por outro lado, as devidas circunstâncias criam cenários de operação altamente complexos (rígidos) exigindo cada vez mais planejamento da operação de sistemas de energia. Em contra partida, os consumidores estão cada vez mais exigentes, requerendo energia mais confiável e menos interrupções. Para enfrentar os desafios dessa operação exigente, “softwares” cada vez mais robustos, são utilizados para simular essas condições. Valores limite de intercâmbio fornecem subsídios, para o planejamento energético e elétrico.

O planejamento energético busca identificar a melhor estratégia para utilização dos recursos naturais, baseado nas afluências futuras, nas diferentes bacias. A melhor estratégia deve encontrar a solução ótima de equilíbrio entre o benefício presente da utilização da água ou de seu armazenamento nos reservatórios da usinas em relação do preço dos combustíveis das usinas termelétricas. Para modelagem desses cenários são utilizados dados da rede elétrica para a solução, o limite de intercambio de potência entre áreas é fator limitante da análise. Dado que grandes níveis de produção de energia, não podem ser transmitidos para centros de carga, causando uma variação no preço da energia em diferentes regiões do SIN. Embora os estudos energéticos apontem para as soluções eficientes, muitas vezes restrições elétricas impedem a realização dos despachos programados.

A determinação da capacidade de transferência, tem se tornado cada vez mais relevante no planejamento e operação elétrica dos sistemas de potência. O conhecimento da quantidade de energia que pode ser transferida entre áreas possibilita medidas preventivas durante o planejamento elétrico, ações corretivas durante a operação em tempo real, e identificação de áreas carentes de reforços no sistema de transmissão no planejamento da expansão.

Na etapa de planejamento da operação, o uso ótimo da rede para minimizar custos de geração, é o principal objetivo, portanto, grandes transferências de energia, permitem que grupos geradores distantes, porém com baixos custos operativos, possam se tornar competitivos em grandes centros consumidores, por meio de transferência de potência entre as áreas. Durante a operação em tempo real, identificar a quantidade de energia que pode ser manobrada para socorrer áreas que sofreram contingências, de forma rápida e segura, pode evitar o mau fornecimento, ou, em casos mais extremos, “*blackouts*”. E em um horizonte de planejamento da expansão, identificar linhas que futuramente podem se tornar sobrecarregadas, para avaliar a necessidade de empreendimentos futuros.

A otimização dos recursos deve ser sempre almejada, porém nunca abandonando os critérios de segurança. O valor da capacidade de transferência deve ser atualizado regularmente, garantindo sempre a segurança operativa, mesmo para pequenas mudanças da rede. Critérios de segurança muito permissivos podem determinar a operação em um ponto inseguro, porém a utilização de critérios muito rígidos pode significar um uso ineficiente da rede, aumentando os custos operativos. A figura 1.1 demonstra a quantidade transferência de potência em MW entre as áreas do SIN. Áreas com fontes de geração mais competitivas, Região Norte por exemplo, não se limitam a atender a carga local, dada a possibilidade de escoar energia para outros subsistemas, via grandes capacidades de transferência do SIN, essa energia mais barata, pode ser utilizada em

outros centros consumidores, regiões com unidades geradoras menos competitivas, diminuindo assim, o custo margina de operação (CMO) global do sistema inteligado.

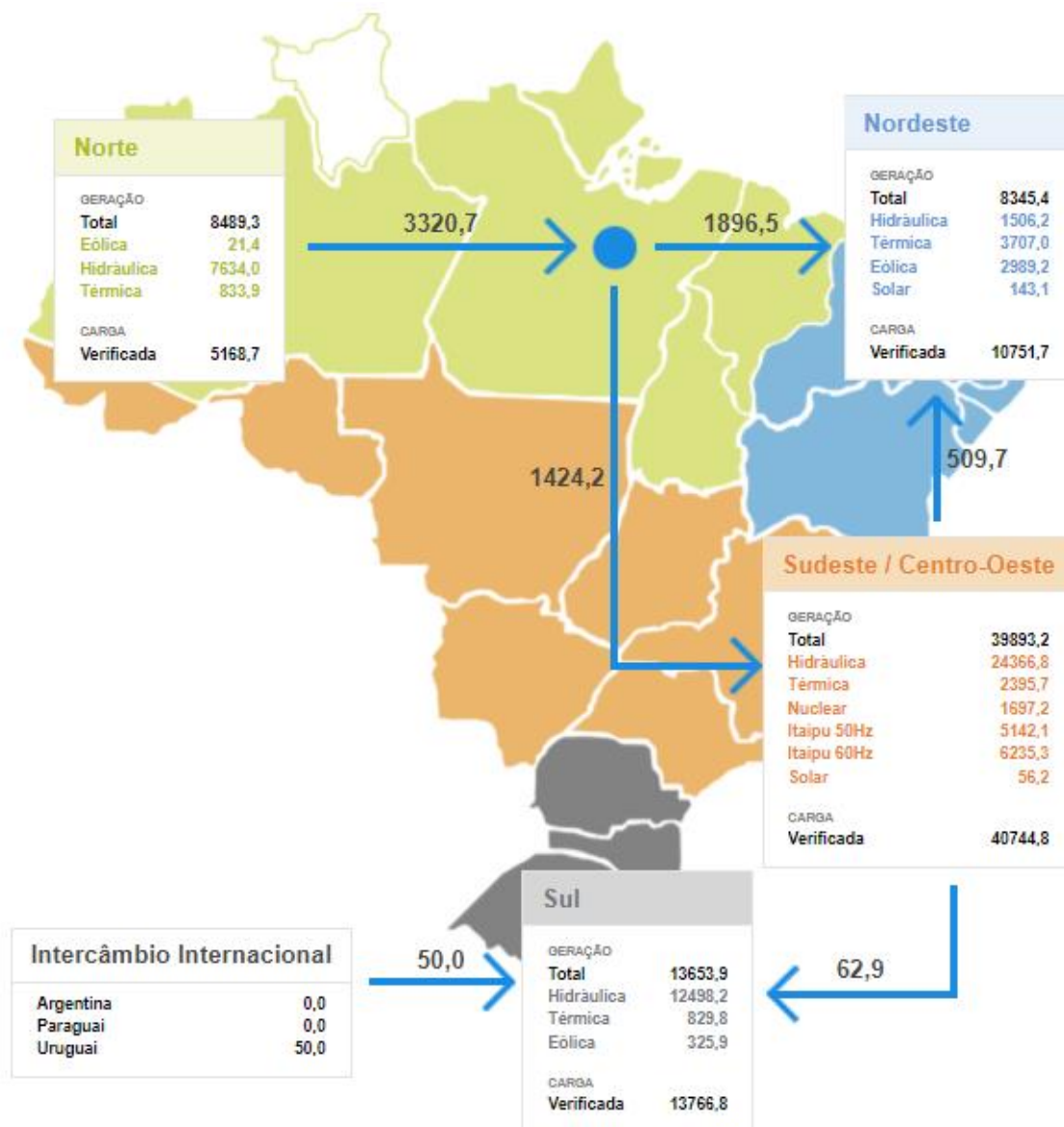


Figura 1.1 Exportação de Energia em tempo real em MW

Fonte: ONS (05/02/2018)

1.2 Objetivos da Pesquisa

Esse trabalho propõem-se à desenvolver uma metodologia que permite a determinação da capacidade de transmissão ótima, garantindo a segurança operativa do sistema elétrico, de forma

automática, visto que, o cálculo dos limites de intercâmbio entre áreas tem sido realizado com baixo grau de automatismo [SS09] [AF06]. Para determinação da máxima potência de transferência, será utilizado um algoritmo de fluxo de potência ótimo que leva em consideração avaliações de segurança estática e dinâmica do sistema. Para garantia da segurança estática, deve-se avaliar os níveis de tensão e os limites térmicos dos circuitos de transmissão. Por outro lado, para a avaliação de segurança dinâmica é usual realizar uma análise de estabilidade transitória que desenvolve simulações no domínio do tempo, avaliando a margem de potência em cada perturbação.

1.3 Estrutura da Dissertação

No Capítulo 2, uma revisão bibliográfica de trabalhos sobre o cálculo da capacidade de transferência (ATC), é apresentada e discutida.

No Capítulo 3, os principais conceitos para o cálculo do ATC, serão discutidos, assim como nomenclatura, e os principais desenvolvimentos para o cálculo.

No Capítulo 4, é descrito o fluxo de potência ótimo. Sua aplicação por operadores de sistemas elétricos em outros países, a formulação matemática, objetivos em seu uso, e aplicação para o cálculo da capacidade de transferência de potência.

O Capítulo 5 contém um breve histórico da análise de segurança em sistemas de potência, os principais conceitos, além de diferentes métodos de avaliação de segurança.

No capítulo 6, a metodologia proposta para o cálculo da capacidade de transferência de potência é apresentada, dos quais os conceitos das análises anteriores serão utilizados

No Capítulo 7, a metodologia é aplicada à sistemas testes para o cálculo da máxima transferência de potência.

O Capítulo 8, apresenta as considerações finais sobre o trabalho e sugestões de trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Considerações Iniciais

Dada a diversidade das definições de uma metodologia para o cálculo da capacidade disponível de transferência de potência, ou *available transfer capability* (ATC), várias metodologias têm sido utilizadas para sua determinação. Neste capítulo, é apresentada uma breve revisão bibliográfica sobre o cálculo e determinação do ATC, encontrados na literatura.

Neste trabalho, o valor de ATC é validado com base em critérios de segurança dinâmica, verificando índices de estabilidade angular transitória, e utilizando técnicas de redespacho de potência entre as máquinas críticas do sistema elétrico, quando o ponto de operação é dito inseguro. A técnica escolhida nesta pesquisa, desenvolvida por [PE00], consiste em redistribuir da margem de potência instável, verificada pelos critérios de estabilidade do SIME. O valor da margem de instabilidade é realocado das máquinas críticas para as máquinas não críticas, para assim buscar o sincronismo do conjunto.

2.2 Cálculo do ATC através da Avaliação de Segurança

Para assegurar um limite de transferência confiável, uma avaliação da segurança do sistema é realizada para validar a condição de transferência. Um valor adequado do ATC é obtido quando os requisitos de segurança forem atendidos; caso não ocorra o cumprimento dos parâmetros de segurança, o processo deve ser reiniciado. Existem inúmeras técnicas para determinar a segurança do sistema elétrico, avaliando diferentes aspectos do sistema elétrico, e diferentes formas de avaliação de segurança. A seguir, algumas são apresentadas:

a) Por Desempenho Estático

Avaliação estática considera apenas os modelos em regime permanente, sem variação no tempo. É utilizada com o objetivo de reduzir o esforço e acelerar o processo computacional, principalmente, nos casos onde os limites de transferência precisam ser atualizados de forma rápida, técnicas de avaliação estática são comumente empregadas. Para tanto, são utilizadas ferramentas de análise em regime permanente: fluxo de potência linearizado, fluxo de potência convencional, fluxo de potência continuado e fluxo de potência ótimo. Em [CJ18], um método de

determinação do valor da transferência de potência, considerando variações na demanda, é validado por uma avaliação de segurança estática.

b) Por Desempenho Dinâmico

A avaliação por Desempenho dinâmico modela o sistema elétrico considerando a dinâmica dos componentes do sistema elétrico, ou seja considera as variações no tempo. Levando-se em consideração a avaliação estática, os cálculos de ATC por desempenho dinâmico são geralmente mais restritivos, pois, introduzem mais complexidade à avaliação, aumentando, conseqüentemente, o esforço e tempo computacional. Em [PV99], o FPO é combinado com o método “*Single Machine Equivalent*”, para calcular a capacidade de transmissão em tempo real. Já, em [EB98], os autores formulam um problema de otimização que inclui restrições associadas à estabilidade transitória. Tais restrições são formuladas a partir da discretização da formulação do conjunto algébrico-diferencial.

2.3 Cálculo do ATC por Avaliação Probabilística

Outra maneira de se assegurar os limites de transferência, é validar o cálculo do ATC através de métodos probabilísticos. Considerando as probabilidades de falhas dos equipamentos dos sistemas de potência, que possivelmente, comprometeriam a capacidade de transmissão. Métodos estocásticos são desenvolvidos para a avaliação da disponibilidade de potência de transmissão, considerando as possíveis alterações da configuração do SEP. Vale ressaltar que essa avaliação probabilística, permite não apenas um valor determinístico e, sim, uma distribuição de valores, faixas de valores esperados de capacidade de transmissão.

Em [SC02], através de simulação de Monte Carlo, a função densidade de probabilidade da capacidade de transferência é obtida, e estudos estocásticos, permitem avaliar parâmetros de EPNS(*Expected Power Not Supplied*) e LOLP(*Loss of Load Probability*), considerando taxas de falhas típicas de equipamentos de geração e transmissão, para cada valor de transferência de potência entre áreas.

2.4 Avaliação do ATC por Métodos Inteligentes

Aplicações que utilizam técnicas de inteligência artificial são outra forma para determinar limites de capacidade de transferência, pois podem utilizar de informações de simulações

anteriores, para preverem as possíveis ocorrências no sistema real, e definir a capacidade de transmissão, utilizando da própria experiência, desenvolvida através do aprendizado de situações anteriores (*machine learning*) para tomada de decisão. Em [AF06] um sistema de inferência *fuzzy*, com base nas simulações de segurança, é utilizado para gerar restrições à capacidade de transferência de potência.

2.5 Cálculo do ATC por Redespacho em Máquinas Críticas

Em [KB95] é apresentada uma técnica de redespacho, fundamentado no conceito da maior coerência entre geradores, a metodologia baseia-se na aproximação da taxa de variação da velocidade das diversas máquinas, utilizando uma TEF, função de energia variável, para avaliação da segurança, e então um redespacho mais coerente entre as máquinas.

Já, em [ME97], é proposta uma metodologia para qual a redistribuição é determinada em função da sensibilidade da margem de energia do sistema em relação a geração de cada usina, utilizando um esquema heurístico para desenvolvido em um sistema multi-área.

No trabalho desenvolvido em [RB98] é apresentada uma metodologia de redespacho aliada a um FPO, utilizando a sensibilidade da trajetória, altera-se a geração das máquinas críticas na função objetivo.

3 CAPACIDADE DE TRANSFERÊNCIA DE POTÊNCIA DISPONÍVEL

3.1 Considerações Iniciais

O termo capacidade de transferência de potência disponível tem sua origem do termo em inglês “*Available Transfer Capability*”, também chamado por seu acrônimo, ATC. Neste capítulo, serão apresentadas as principais características do parâmetro.

3.2 Conceituação de ATC

A capacidade de transferência de potência de um sistema elétrico pode ser entendida como a máxima quantidade potência de transferida entre duas subáreas desse sistema, sem comprometer a segurança operativa. A determinação deste fator tem se tornado cada vez mais relevante, dadas grandes necessidades de intercâmbios nos sistemas de potência, justificados pela distância geográfica de usinas de geração e centros consumidores. Características da rede elétrica devem ser constantemente atualizadas para uma operação eletro-energética segura, econômica e transparente.

O parâmetro ATC pode ser considerado como um indicador da quantidade de potência que pode ser disponibilizada entre regiões elétricas distintas; sendo essas regiões, quaisquer subdivisões de um sistema de potência, como, por exemplo, submercados de energia, áreas consumidoras ou usinas geradoras. O cálculo da disponibilidade de transmissão de potência é um problema antigo [C62], sendo importante para o planejamento eletro-energético determinar os limites de transferência de potência, possibilitando a otimização dos recursos. A determinação deste fator tem se tornado cada vez mais relevante, dadas grandes necessidades de intercâmbios nos sistemas de potência, no planejamento e operação dos sistemas elétricos, o conhecimento da quantidade de energia que pode ser transferida entre áreas possibilita medidas preventivas durante o planejamento elétrico, e ações corretivas durante a operação em tempo real. Consequências de mudanças não planejadas na configuração da rede podem ser mitigadas, levando em consideração as informações do ATC.

A importância do cálculo do valor de ATC é justificado também, pela existência de um mercado de energia competitivo, restrições da rede elétrica devem ser constantemente atualizadas.

Com o processo de desverticalização dos sistemas elétricos, houve um aumento no interesse em quantificar a capacidade de transferência para a operação dos mercados de energia, a limitação da capacidade de transferência, ou ainda, o congestionamento do sistema da transmissão, traz um impacto econômico, sistemas com altas capacidades de transmissão, são mais competitivos. Portanto, os limites de transferência servem também como indicadores do mercado de energia. [N12].

A definição desta grandeza, foi padronizada pelo “*North America Electric Reliability Council*” (NERC), em um relatório em 1996 [NERC96]. Segundo essas definições, o ATC é uma medida da capacidade de potência disponível em uma rede de transmissão física, para fins técnicos ou comerciais. Diversas são as aplicabilidades do conceito, porém em suma, essa é a ideia principal: Máxima capacidade de transmissão segura. O ATC pode ser calculado de forma didática, conforme a equação (3.1), como a capacidade total de transferência (TTC), ou seja, a potência total que pode ser disponibilizada para conexão, subtraindo o valor da margem necessária de confiabilidade para transferência (TRM), menos a soma de todas parcelas de transmissão já comprometidas previamente (ETC), para quaisquer outras atividades agendadas.

$$ATC = TTC - TRM - ETC \quad (3.1)$$

A figura 3.1 exemplifica o cálculo baseado na equação 3.1, mostrando que a avaliação do parâmetro deve ser feita de forma periódica, dada a dinâmica dos sistemas elétricos de potência e variações das restrições de segurança.

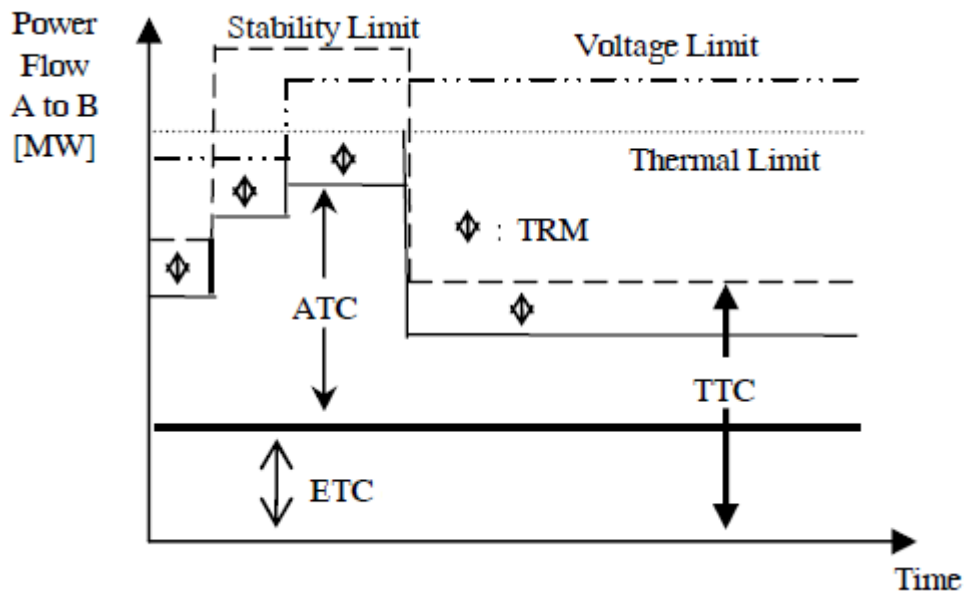


Figura 3.1 - Available Transfer Capability

Fonte: [NERC96]

3.3 Conceituação teórica

3.3.1 Conceito da transferência de potência entre áreas

Para determinar a capacidade de transmissão entre duas áreas, o primeiro fator que deve ser definido está ligado a função de cada área nessa avaliação, um subsistema é o exportador, ou fonte de energia e o outro subsistema é o importador de energia, ou consumidor. O intercâmbio entre os dois subsistemas é dado pelo somatório dos fluxos de potência ativa nas linhas de interligação.

Para calcular a capacidade de transmissão, a transferência de potência deve ser aumentada, e os critérios de avaliação de segurança observados. O aumento de transferência, poder feito com o aumento de geração da área exportadora e diminuição de geração na área de carga.

3.3.2 Cálculo do ATC com Restrições de Segurança

O ATC deve ser calculado com base em critérios de segurança. A segurança de sistema de potência pode ser definida como a capacidade de suportar distúrbios, sem que haja danos sérios a operação. Desta forma, um sistema é dito seguro se, basicamente, após uma eventualidade, não é

levado a condição de não suprimento de energia. Dependendo da modelagem, e das técnicas utilizadas, a avaliação pode ser classificada como: estática ou dinâmica. A primeira avalia as condições do sistema em regime permanente, no que diz respeito a níveis de tensão e limites térmicos dos circuitos de transmissão. E a segurança dinâmica engloba outros aspectos relativos ao sincronismo das máquinas durante as ocorrências, geralmente, o critério de segurança dinâmica avaliado é o chamado: ‘N-1’, que estabelece que o sistema deve suportar, pelo menos, a saída de qualquer um elemento da rede.

3.3.3 Análise de Robustez e Eficiência Computacional

O ATC entre duas áreas dá ideia da robustez do sistema no que diz respeito ao dado momento da análise, define a quantidade de energia que pode ser transferida entre as duas áreas nas atuais condições operativas. Esse parâmetro, varia de forma dinâmica, dada a relação com outras grandezas do sistema elétrico, e deve ser determinado para cada ponto de operação do mesmo, portanto, deve ser regularmente recalculado. A precisão do cálculo está altamente relacionada com a exatidão dos modelos de rede escolhidos.

Embora o conceito seja simples, o cálculo não é trivial, o grande número de cenários envolvidos, a necessidade de considerar diversas contingências, além de diversos critérios de análises de segurança. Da mesma forma, no ambiente de tempo real, a alta velocidade de processamento é fundamental para uma tomada de decisão rápida. Uma forma confiável de calcular o ATC, de forma rápida e confiável, ainda é um desafio.

Um aspecto de suma importância nas aplicações dos métodos para determinar o ATC, que deve ser levado em consideração, é o tempo computacional. Normalmente há interesse de estudar diferentes cenários, nos quais, um conjunto de ocorrências deverá ser considerado. Dependendo das ferramentas de análise empregadas e do porte do sistema analisado, o custo computacional pode ser inviável. Estar ciente do horizonte de planejamento/tempo de operação, é imprescindível para uma avaliação. De forma a evitar a análise de todas as contingências, os estudos são realizados para que, apenas uma lista de contingência, contendo apenas as mais severas, e ou prováveis, sejam simuladas. Essa lista, pode ser definida por programas computacionais como demonstrado por [RE00] ou através da experiência dos operadores. Limitando assim o tempo de computação, e eliminando contingências que pouco alterariam o cálculo da capacidade de transmissão.

3.4 Considerações Finais

Apesar das definições do relatório do NERC, o Conselho não explicita uma metodologia do cálculo, mas fornece apenas alguns pilares para o desenvolvimento metodológico como:

- 1) Segurança Estática: Deve ser definido em situações normais de operação, todas as barras não podem ter suas tensões violadas, e limites de carregamentos ultrapassados.
- 2) Segurança Dinâmica: Sistema tem de manter o sincronismo para todas contingências simples.
- 3) Segurança de Tensão: Após contingências simples, barras de tensão e limites de carregamentos não podem ultrapassar os limites emergenciais.

São definições muito amplas, mas podem ser consideradas como pilares para o desenvolvimento de uma metodologia. Basicamente, as definições convergem com os parâmetros de análise de segurança. Segurança Estática, Segurança Dinâmica e Segurança de Tensão, respectivamente.

Em suma, neste capítulo foram apresentadas as principais características do parâmetro “*available transfer capability*”, a importância de sua determinação em sistemas elétricos atuais, e as principais fatores para o cálculo da grandeza.

4 FLUXO DE POTÊNCIA ÓTIMO

4.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo será realizada a apresentação dos conceitos sobre o fluxo de potência ótimo, seu objetivo, formulação matemática. Será abordado, como a otimização está sendo utilizada na operação de sistemas elétricos. Posteriormente será apresentado o desenvolvimento do fluxo de potência ótimo para o cálculo da capacidade máxima de transmissão. Por fim, um exemplo do fluxo de potência ótimo para máxima transmissão será discutido.

4.2 Conceituação Teórica

O uso de métodos de otimização de sistemas de potência tem seu desenvolvimento ligado com o das ferramentas computacionais. Tanto a função objetivo, quanto as restrições de igualdade e boa parte das restrições de desigualdade, são não lineares. Essa característica, somada ao tamanho das redes elétricas modernas, demanda problemas de grande porte e difícil resolução. Na primeira metade do século 20, a ideia de uma solução ótima para o problema do fluxo de potência já existia, porém não existiam ferramentas para resolução, muito da experiência dos operadores era utilizado na tentativa de atingir um ponto de operação ótimo. Gradualmente, com o desenvolvimento da computação, algumas ferramentas foram introduzidas para auxiliar na experiência dos operadores. O problema despacho econômico foi primeiramente desenvolvido nos anos 60 [C62], mas foi provado um problema muito difícil para a época. Com o avanço das técnicas de programação matemática, desempenho dos recursos computacionais e linguagens de programação estruturadas e orientadas a objeto, tornou-se possível a manipulação de matrizes esparsas, e a resolução de problemas de otimização de forma eficiente e rápida, nos modernos computadores. Hoje, o problema de fluxo de potência ótimo completo, ou uma aproximação linear, é resolvido muitas vezes em pequenos intervalos de tempo em muitos ambientes de planejamento e operação de SEP's.

O fluxo de potência ótimo (FPO) busca a melhor solução para um objetivo, sujeita as restrições do fluxo de potência e outras restrições operativas, como parâmetros dos geradores, limites de carregamento, limites de tensão das barras, taps dos transformadores e limites de controle. Entre suas diferentes formulações o FPO pode ser chamado como despacho econômico

seguro. Porém, as restrições de segurança, nessas aplicações, são apenas restrições térmicas e limites de tensão. Sendo assim, existe uma variedade de diferentes formulações, restrições, objetivos e resoluções que são chamados de FPO.

Formulações que utilizam equações não lineares para representar as equações da rede são chamados de ACOPF, enquanto formulações simplificadas, modelando o fluxo entre os barramentos de forma linear, são comumente chamadas de DCOPF. Formulações linearizadas utilizam simplificações na modelagem, assumem hipóteses para linearizarem o problema do fluxo de carga.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi escolhida a formulação AC, devido à possibilidade de incorporar as restrições de segurança ao FPO. A formulação AC, mesmo apresentando um esforço computacional maior que a aplicação DC, permite informações sobre potência reativa e magnitude de tensão das barras, que são essenciais para as simulações no domínio no tempo e posterior avaliação de segurança dinâmica

4.3 Utilização de algoritmos de otimização por Operadores dos Sistemas

O FPO é uma ferramenta amplamente utilizada no planejamento e operação de sistemas elétricos, em 2011, o FERC, “*Federal Energy Regulatory Commission*”, elaborou um documento chamado “*Recent ISO Software Enhancements and future software and modeling plans*”, onde, são relatadas as ferramentas computacionais utilizadas pelos operadores independentes do sistema norte americano (ISO’s), e as futuras melhorias propostas pelos mesmo[FERC11].

Na América do Norte, a estrutura do setor elétrico, possui características particulares, que refletem a organização de Estados Unidos e Canadá, como nações, ou seja, os estados e as províncias possuem grande autonomia. Dada esta liberdade, cada região opera seus agentes de

forma independente, porém sob a tutela do órgão regulador, o FERC. A figura 4.1 mostra alguns ISO's, no caso os que participaram dos estudos.

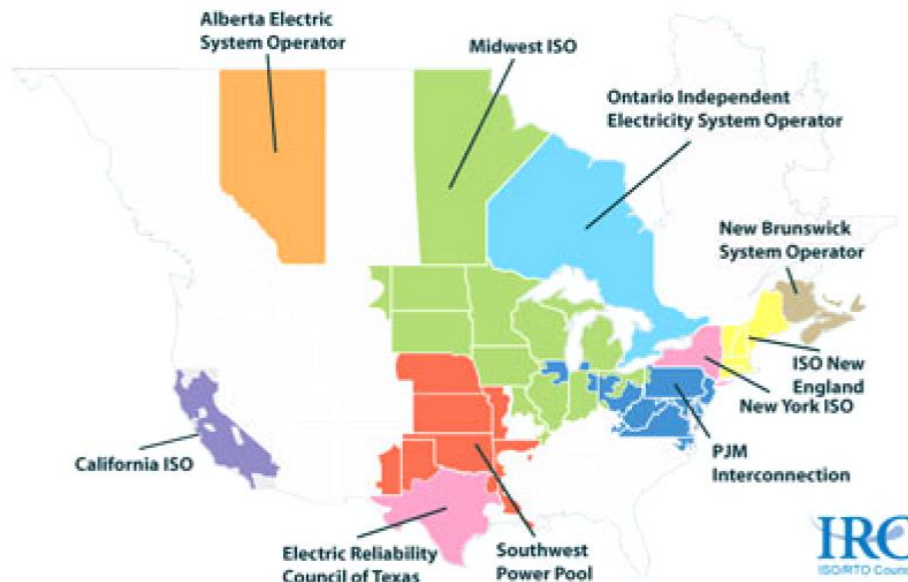


Figura 4.1 - Operadores independentes da América do Norte.

Fonte:[FERC11].

A grande maioria dos operadores, utiliza a formulação DC durante o despacho econômico em tempo real, porém, verifica-se que as não linearidades do modelo AC impossibilitam a utilização da ferramenta em um ambiente de mercado altamente competitivo e volátil como é o americano. Dada a convergência do modelo DC, um “check” da solução é realizado no modelo AC. A formulação AC é amplamente utilizada no ambiente de planejamento, os operadores das regiões Midwest, Califórnia e Nova Iorque, utilizam o ACOPF como parte do processo de planejamento elétrico. O NYISO também utiliza, o ACOPF, para estudos de perdas elétricas no sistema, que otimizam a potência reativa na área de controle de Nova Iorque com objetivo de minimizar as perdas em um horizonte de planejamento, e identificam as locações ótimas para fazer compensação de reativo. O departamento de planejamento do NYISO está trabalhando para implantar também o uso do ACOPF para cenários de despacho e determinar limites de transferência entre áreas[FERC11].

O documento apresenta diversas utilizações de “softwares” de otimização pelos ISO’s entre as muitas funções pode-se citar:

- O operador independente da região Pensilvânia, Nova Jersey e Maryland (PJM), utiliza um DCOPF e um AC desacoplado para uma avaliação futura do mercado de tempo real “*Real Time Market look-ahead*”.
- O operador independente da Califórnia (CAISO) utiliza primeiro um desacoplado rápido AC para perdas linearizadas para fazer a otimização não linear para definição do mercado do próximo dia.

A maioria dos operadores, geralmente, utiliza a formulação AC, mais complexa e mais lenta, para validar o ponto de operação encontrado pela otimização DC, mais simples e rápida. Este documento corrobora a grande usabilidade de softwares de otimização, principalmente o FPO na operação e planejamento do setor elétrico.

4.4 Formulação Matemática do Fluxo de Potência Ótimo

A premissa básica do Fluxo de Potência Ótimo é fornecer o melhor ponto de operação de um sistema elétrico segundo um objetivo principal. Respeitando os limites físicos dos equipamentos e restrições de operação. Este objetivo principal, é modelado por uma função e pode ser, por exemplo: mínimo custo de geração, máxima transferência entre barras, mínima perda nos circuitos, entre outros objetivos.

A formulação matemática do FPO consiste em um problema geral de programação não linear, e consiste na resolução do seguinte conjuntos de equações.

$$\text{Minimizar } f(u, x) \tag{4.1}$$

Sujeito a:

$$g(u, x) = 0 \tag{4.2}$$

$$h(u, x) \leq 0 \tag{4.3}$$

Onde:

u, x são as variáveis de controle e estado, respectivamente.

A equação (4.1) representa a modelagem do objetivo principal, é a função objetivo do FPO. As equações descritas em (4.2) representam as chamadas restrições de igualdade, que no FPO são as equações de balanço de potência na rede. O conjunto de equações (4.3) são as restrições de desigualdade, que na formulação do FPO, representam os limites operativos e das variáveis de controle.

4.4.1 Máxima Capacidade de Transmissão via FPO

Para o cálculo da capacidade de transmissão, a forma geral de problemas não lineares das equações (4.1) - (4.3), pode ser adequada para máxima transferência de potência:

$$\text{Maximizar } \sum_{il \in nc} F_{il} \quad (4.4)$$

Sujeito às restrições de igualdade:

$$P_k = \sum_{j \in \Omega} V_k V_j [G_{kj} \cos(\theta_{kj}) + B_{kj} \sin(\theta_{kj})], k \in N \quad (4.5)$$

$$Q_k = \sum_{j \in \Omega} V_k V_j [G_{kj} \sin(\theta_{kj}) - B_{kj} \cos(\theta_{kj})], k \in N \quad (4.6)$$

E as restrições de desigualdade

$$P_i^{Min} \leq P_i \leq P_i^{Máx}, i \in G \quad (4.7)$$

$$Q_i^{Min} \leq Q_i \leq Q_i^{Máx}, i \in G \quad (4.8)$$

$$V_k^{Min} \leq V_k \leq V_k^{Máx}, k \in N \quad (4.9)$$

$$|S_m| \leq S_m^{Máx}, m \in M \quad (4.10)$$

Onde:

F_{il} é o fluxo nas linhas de transmissão conectadas entre a barra i e l

P_k Potência ativa na barra k

Q_k Potência reativa na barra k

V_k Módulo de tensão na barra k

θ_{kj} Diferença angular da tensão na barra k em relação a barra j

G_{kj}, B_{kj} Elementos da matriz de admitâncias do sistema.

S_m Potência aparente no circuito m

E nc, N, G, Ω e M são, respectivamente, o conjunto de linhas de interligação entre as barra i e l , conjunto de barras, conjunto de barras de geração conjuntos de barras adjacentes a barra k e conjunto de linhas do sistema.

A função objetivo (4.4) busca maximizar a transferência de potência nos circuitos de interligação entre os sistemas, respeitando as equações de rede, ou seja, equações de igualdade, dadas por e os limites operativos e das variáveis de controle (4.7) – (4.10).

O conjunto das equações (4.9) – (4.10) por si, já impõem condições relativas à segurança estática ao problema do FPO, modelando limites de tensão e térmicos.

4.4.2 Métodos de solução do fluxo de potência ótimo.

Para a resolução do conjunto de equações (4.5) - (4.6), deve-se utilizar um método de resolução de programação não linear, o utilizado neste trabalho, é o método de pontos interiores.

Inicialmente, o método de pontos interiores, foi desenvolvido para solução de problemas de programação linear. Porém, devido seu alto nível de desempenho, foi estendido para métodos mais complexos, de programação quadrática, convexa e problemas gerais de otimização diferenciáveis [DT03]. O método dos pontos interiores pode ser utilizado para resolução de DCOPF e ACOPF, para a solucionar das equações linearizadas do fluxo de carga, o método é conhecido também como Método dos Pontos Interiores Direto. [G94]

O ponto de partida do método é afirmar que problemas de programação, sem restrições, possuem resultados satisfatórios de solução pelo método de Newton, ou métodos derivados deste. Assim, em um problema de programação com restrições, seria ideal, transformá-lo em um problema sem restrições e resolvê-lo pelo método de Newton. Em geral, o que se faz, é incorporar

as restrições à função objetivo, de modo que o problema não possua mais restrições, e, a partir daí, ajustar a solução do novo problema, a fim de conduzi-la à solução do problema original.

O método de resolução via pontos interiores, baseia-se justamente na modificação do conjunto de equações de desigualdade modificando o problema para apenas restrições de igualdade. O conjunto de equações é transformado, adicionando variáveis de folga s e a aplicação de fatores de penalidade, as variáveis de folga são incorporadas à função-objetivo por meio de uma função de penalização, no caso, uma barreira logarítmica. Assim, o problema original é transformado em uma sequência de problemas parametrizados, definidos pelo parâmetro barreira.

$$\text{Maximizar } f(u, x) + \text{Pen}(s) \quad (4.11)$$

Sujeito a:

$$g(u, x) = 0 \quad (4.12)$$

$$h(u, x) + s = 0 \quad (4.13)$$

A função $\text{Pen}(s)$ aplica uma penalização no conjunto de variáveis de folga, representada por uma função logarítmica a fim de estabelecer o método dos pontos interiores. Sendo assim, reduzido o problema de otimização para apenas restrições de igualdade, é possível lançar mão da função Lagrangeana para o novo conjunto.

A partir daí, executa-se iterações do Método de Newton-Raphson no sistema de equações não lineares, geradas pelas condições de otimalidade de primeira ordem, até que se encontre a solução para dado critério de parada.

$$L(u, x, \lambda, \pi, s) = f(u, x) + \text{Pen}(s) + \lambda^T g(u, x) + \pi^T [h(u, x) + s] \quad (4.14)$$

Onde, λ é o vetor de multiplicadores de Lagrange associado as variáveis de igualdade, e π o vetor de variáveis duais associadas as restrições de desigualdade. Definida a equação relativa ao lagrangeano, pode-se estabelecer as condições de otimalidade de Karush-Kuhn-Tucker(KKT) para garantir a solução.

$$\nabla L(u, x, \lambda, \pi, s) = 0 \quad (4.15)$$

$$\nabla_{u,x}L(u, x, \lambda, \pi, s) = \nabla_{u,x} f(u, x) + \lambda^T \nabla_{u,x} g(u, x) + \pi^T \nabla_{u,x} h(u, x) = 0 \quad (4.16)$$

$$\nabla_{\lambda}L(u, x, \lambda, \pi, s) = g(u, x) = 0 \quad (4.17)$$

$$\nabla_{\pi}L(u, x, \lambda, \pi, s) = [h(u, x) + s] = 0 \quad (4.18)$$

$$\nabla_sL(u, x, \lambda, \pi, s) = \nabla_s Pen(s) + \pi = 0 \quad (4.19)$$

O conjunto representado por (4.16)–(4.19) pode então ser resolvido pelo método iterativo de Newton-Rapshon, até que os limites de tolerância sejam atendidos. Desenvolvendo matematicamente as equações (4.16)–(4.19), pode se chegar a equação (4.20), mais informações do processo podem ser obtidas em [M05].

$$\nabla^2L(u, x, \lambda, \pi, s) \times \Delta v(u, x, \lambda, \pi, s) = -\nabla L(u, x, \lambda, \pi, s) \quad (4.20)$$

Sendo $\Delta v(u, x, \lambda, \pi, s)$ o vetor de erro de cada iteração.

O resultado obtido, após a convergência do método, é a solução do problema de otimização. Para a aplicação de máxima transferência de potência, a solução da otimização pode ser chamada de capacidade de transmissão estática, já que apenas critérios estáticos foram levados em consideração nessa análise.

4.5 Exemplo de Otimização

De forma a permitir uma melhor visualização da otimização para o cálculo de máxima transferência de potência ativa entre duas barras, um exemplo será apresentado. Utilizando um sistema elétrico exemplo, contendo 9 barramentos, 6 ramos e 3 geradores, utilizado em [SS13], baseado no sistema teórico de [AF03], alterado para diminuir a simetria das cargas. O diagrama unifilar da rede pode ser visualizado na figura 4.2.

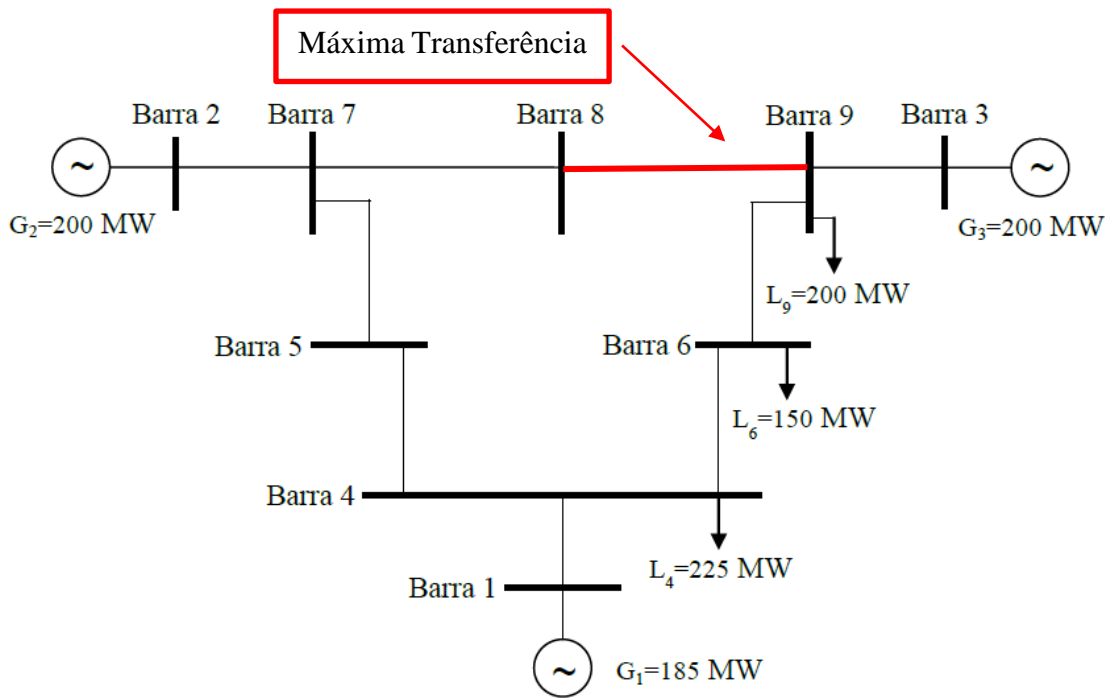


Figura 4.2 - Sistema 9 Barras.

Fonte: Adaptado de [AF03].

A tabela a seguir apresenta dos resultados do fluxo de carga, para o caso base, sem otimização e com a otimização. A aplicação de fluxo de potência ótimo, com função objetivo para máxima transferência de potência entre os ramos 8-9, redistribui a geração das máquinas para maximizar as transferências, tem-se o resultado apresentado na tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Otimização do Sistema 9 barras

	Fluxo de carga(MW)	Otimização(MW)
Geração Barra 1	185.00	232.00
Geração Barra 2	199.00	249.00
Geração Barra 3	199.00	106.0
Fluxo Ramo 8-9	92.40	155.63

4.6 Considerações finais

O resultado da otimização para máxima transferência de potência, ainda não pode ser definido como o valor de ATC, pois premissas básicas estabelecidas pelo NERC ainda não foram atendidas. Contudo, o fluxo de potência ótimo é parte fundamental para o cálculo da máxima quantidade de transferência de potência disponível.

Este capítulo buscou apresentar o fluxo de potência ótimo, sua importância na operação e planejamento de sistemas de potência., também foi demonstrado sua formulação matemática para o cálculo da máxima transferência de potência. Por fim, um exemplo da aplicação de máxima transferência de potência demonstrado.

5 SEGURANÇA DINÂMICA

5.1 Considerações Iniciais

Este capítulo tem como objetivo, introduzir os conceitos de segurança em sistemas de potência, discutir referências principais para esta análise e apresentar as avaliações de segurança operativa que serão utilizadas na dissertação.

5.2 Introdução à Análise de Segurança

O fornecimento de energia em sociedades modernas é cada vez mais rigoroso, especialmente em termos de continuidade. O consumidor deseja um serviço contínuo, ininterrupto. Portanto, o planejamento da operação elétrica, deve ser realizado para garantir a máxima continuidade do serviço, considerando os possíveis distúrbios que possam ocorrer nos equipamentos da rede elétrica, e evitar condições operativas desfavoráveis. Esse é o objetivo da Análise de Segurança em sistemas de potência, garantir o fornecimento de energia sem interrupções, tomando medidas necessárias para operação segura.

5.3 Avaliação de Segurança

Análise de Segurança de Sistemas Elétricos de Potência, pode ser subdividida em dois grandes grupos de estudos, são eles: Estudos estáticos e dinâmicos. A avaliação de segurança dinâmica leva em consideração o estado dos elementos com a variação tempo, modelando os elementos do sistema de potência dependentes das variações no tempo. Já, a avaliação estática leva em consideração o desempenho em regime permanente.

5.3.1 Avaliação de Segurança Estática:

Neste tipo de avaliação, as perturbações ou mudanças, como perda de unidades de geração ou linhas de transmissão, são processadas levando em consideração que a transição entre os estados atinge sempre um equilíbrio estável, e as consequências são analisadas pós distúrbio [AF03].

Normalmente, a ferramenta de análise de segurança estática se resume a algoritmos de fluxo de potência. Ou seja, para um dado ponto de operação, o sistema é considerado estaticamente seguro se os níveis de tensão em todas as barras da rede estão em faixas aceitáveis, se os fluxos

nos circuitos de transmissão e nos transformadores se encontram dentro de seus limites térmicos. Limitações estáticas consideradas nesse trabalho são: Limites de tensão dos barramentos e limites de carregamento de circuitos. Tais restrições são implementados no fluxo de potência ótimo, assegurando a segurança estática da solução.

5.3.2 Avaliação de Segurança Dinâmica

Já, a avaliação de segurança dinâmica pode-se definir como sendo a capacidade que este sistema tem de se manter em sincronismo, quando em condições normais operativas, e de alcançar uma condição de equilíbrio, quando submetido a uma perturbação. Ou seja, baseia-se na habilidade do sistema se manter em estabilidade após uma variação.

A avaliação dinâmica pode ter várias subdivisões, quanto ao horizonte de tempo, e quanto aos elementos do SEP que são analisados. Podendo ser dividida em: Estabilidade a pequenos sinais e Estabilidade transitória.

5.3.2.1 Estabilidade a pequenos sinais

De uma forma geral, avalia a capacidade de manutenção do sistema de potência para pequenas mudanças no mesmo, como por exemplo, pequenas variações de carga, ou pequenos aumentos na geração. Nesses estudos, os impactos são considerados suficientemente pequenos, de tal forma que, as equações do SEP podem ser linearizadas para estudar variações próximas do ponto de operação inicial. Diversas técnicas podem ser utilizadas para resolução do problema como técnicas de autovalores e ou critérios de avaliação estabilidade [K94].

5.3.2.2 Estabilidade transitória

Os estudos de estabilidade transitória, avaliam, em suma, a habilidade do sistema de potência em manter-se em condição segura e todas as unidades geradoras em condições de sincronismo, dada a ocorrência de grandes impactos, como por exemplo, curtos-circuitos em elementos importantes, indisponibilizando corredores de transmissão e grandes unidades geradoras. A natureza da resposta, deve ser analisada considerando a duração do distúrbio. Em grandes sistemas interligados, a perda de sincronismo, dita também, instabilidade, ocorre normalmente de duas formas: através da aceleração dos rotores das máquinas do sistema, com crescimento progressivo do deslocamento angular, sendo a causa principal a falta de conjugado

sincronizante. Ou, a instabilidade ocorre através de oscilações crescentes dos rotores, causadas pela superposição de diversos modos de oscilação do sistema [AF03].

As avaliações de estabilidade transitória são geralmente realizados em um período de tempo de 5 a 20 segundos a partir da ocorrência do impacto na rede. Todos os equipamentos devem ser modelados e representados dinamicamente nos estudos, uma descrição completa dos modelos pode ser obtida em [K94]

5.4 Conceituação Teórica

Análise de estabilidade transitória, tem como fundamento a resolução do conjunto de equações algébrico-diferencial, a seguir.

$$\dot{y} = f(x, y, t) \quad (5.1)$$

$$0 = g(x, y, t) \quad (5.2)$$

O conjunto (5.1) composto por equações diferenciais, vem da modelagem de todas máquinas, turbinas e reguladores do sistema de potência, são os elementos que introduzem variação dinâmica na avaliação. O conjunto algébrico, dado por (5.2), contém as equações de rede. y é o vetor de variáveis de estado associado as equações diferenciais, sua dimensão está associada as máquinas do sistema. x é o vetor associado a solução do conjunto de equações algébricas e tem sua complexidade relacionada com o número de barramentos do sistema em questão. Essas equações são resolvidas ponto a ponto, tendo como parâmetro um passo de integração fixo, ou variável, dependendo do método de integração numérica escolhido para resolução.

5.4.1 “*One Machine Infinite Bus*”

Métodos OMIB se baseiam no princípio que a perda de sincronismo de um sistema multi máquina, dá-se na separação de suas máquinas em dois grupos concorrentes, estes então podem ser representados por um sistema equivalente de duas máquinas, e, posteriormente, reduzidos a uma máquina e uma barra infinita, representada na figura 5.1. Então, os métodos OMIB podem ser entendidos como a transformação de um sistema multidimensional complexo, para um equivalente simples de uma máquina e um barramento infinito.

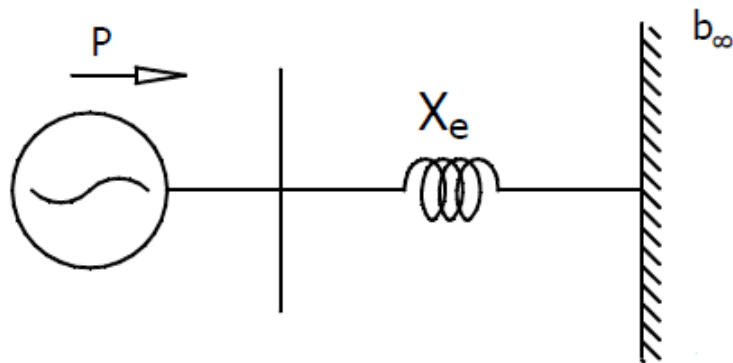


Figura 5.1 - *One Machine Infinite Bus*

5.4.2 Critério de Igualdade das Áreas

O critério das áreas iguais, ou “*Equal área Criterion*”(EAC), é um método tradicional, amplamente utilizado, que permite a avaliação da estabilidade de uma forma gráfica, e intuitiva. Este método teve sua origem nos anos 40[K48] e, ainda, é a base para muitos métodos de avaliação dinâmica. Este critério possibilita avaliar a estabilidade transitória a partir da energia de aceleração da máquina. O ganho de energia de aceleração do rotor, quando submetida a uma contingência, em detrimento de sua capacidade de desaceleração pós-contingência. Considerando uma máquina conectada a um barramento infinito, e suas equação de equilíbrio (5.3) e (5.4).

$$M \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_m - P_e = P_a \quad (5.3)$$

Onde:

M Momento de inércia da máquina.

δ Ângulo do rotor da máquina em relação a barramento infinito.

P_m Potência mecânica despachada na máquina.

P_e Potência elétrica da máquina

P_a Potência acelerante

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_0 \quad (5.4)$$

Sendo ω , a velocidade angular da máquina e ω_0 , velocidade angular síncrona. Pode-se desenvolver as duas equações, chegando na equação (4.5), mais detalhes do desenvolvimento, podem ser consultados em [K94]

$$\omega - \omega_0 = \sqrt{\frac{2}{M} \int_{\delta_0}^{\delta} P_a d\delta} \quad (5.5)$$

Pode-se então, a partir de (5.5), relacionar a variação da velocidade angular síncrona devido a existência de uma potência acelerante não nula. Em condição de regime, o conjugado elétrico é igual ao conjugado mecânico, e não existe variação da velocidade angular e por consequente, nem variação do ângulo δ . Um distúrbio na rede elétrica, provoca uma alteração da condição de regime, resultando em potência acelerante diferente de zero. Durante o período de distúrbio, o conjunto acelera, ganhando energia cinética e perdendo o sincronismo entre as unidades. Uma vez eliminada a condição que deu início a variação, pelo sistema de proteção, o conjunto eletro mecânico introduz potência elétrica para mitigar os efeitos do distúrbio, tentando desacelerar o conjunto, provocando uma área de desaceleração, para manter o sincronismo entre as unidades geradoras.

$$A_{acc} = \int (P_m - P_{eD}(\delta)) d\delta \quad (5.6)$$

$$A_{dec} = \int (P_{eP}(\delta) - P_m) d\delta \quad (5.7)$$

A capacidade de se manter sincronismo, ou estabilidade transitória, é avaliado então pelas áreas, chegando a um valor de criticidade a partir da simulação das áreas de aceleração e desaceleração para dados distúrbios. As áreas podem ser calculadas pelas equações (5.6) e (5.7). A figura 5.2 exemplifica o método de avaliação, quantificando as áreas dada a variação da potência elétrica.

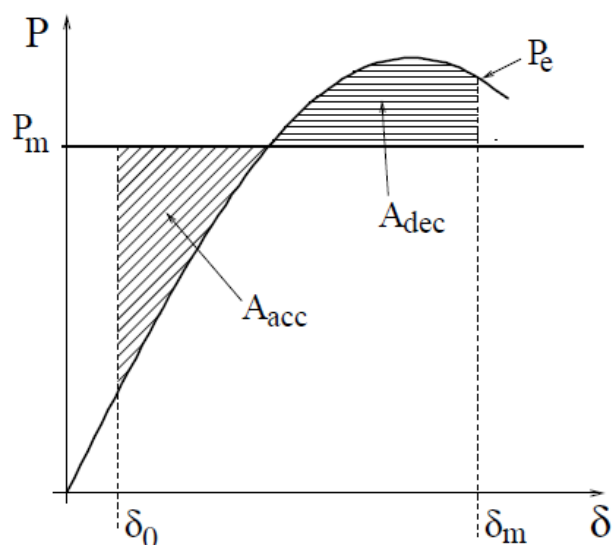


Figura 5.2 - Critério das áreas iguais.

Fonte: [PE00].

5.4.3 O Método da Máquina Equivalente

O método da máquina equivalente ou SIME “*Single Machine Equivalent*”, é um método de avaliação de estabilidade transitória, sendo considerado um método híbrido, temporal-direto, temporal, pois avalia a variação do sistema multi máquina com o tempo, e, direto, pois avalia estabilidade diretamente, como EAC. É um método OMIB, e se baseia na perda de sincronismo em dois grupos de máquinas, denominadas máquinas críticas e máquinas não críticas.

Por definição, máquinas críticas são aquelas responsáveis pela perda de sincronismo com as demais, são o conjunto de máquinas que apresentam variações angulares cada vez maiores em relação a uma menor variação das máquinas não críticas. Os grupos de geradores são definidos durante a simulação conforme a variação de seus valores de ângulo. A transformação de um sistema multi máquina para o sistema equivalente, segue descrita através das equações (5.8) - (5.19), já com a divisão do geradores críticos e não críticos.

$$M_C = \sum_{k \in C} M_k \quad (5.8)$$

$$M_N = \sum_{j \in N} M_j \quad (5.9)$$

$$M = \frac{M_C M_N}{M_C + M_N} \quad (5.10)$$

Continuando

$$\delta_C(t) = M_C^{-1} \sum_{k \in C} M_k \delta_k(t) \quad (5.11)$$

$$\delta_N(t) = M_N^{-1} \sum_{j \in N} M_j \delta_j(t) \quad (5.12)$$

$$\delta(t) = \delta_C(t) - \delta_N(t) \quad (5.13)$$

$$\omega_C(t) = M_C^{-1} \sum_{k \in C} M_k \omega_k(t) \quad (5.14)$$

$$\omega_N(t) = M_N^{-1} \sum_{j \in N} M_j \omega_j(t) \quad (5.15)$$

$$\omega(t) = \omega_C(t) - \omega_N(t) \quad (5.16)$$

$$P_m(t) = M \left(M_C^{-1} \sum_{k \in C} P_{mk}(t) - M_N^{-1} \sum_{j \in N} P_{mj}(t) \right) \quad (5.17)$$

$$P_e(t) = M \left(M_C^{-1} \sum_{k \in C} P_{ek}(t) - M_N^{-1} \sum_{j \in N} P_{ej}(t) \right) \quad (5.18)$$

$$P_a(t) = P_m(t) - P_e(t) \quad (5.19)$$

A avaliação de sincronismo feita no critério das áreas iguais, pode ser realizada para o “*Single Machine Equivalent*”.

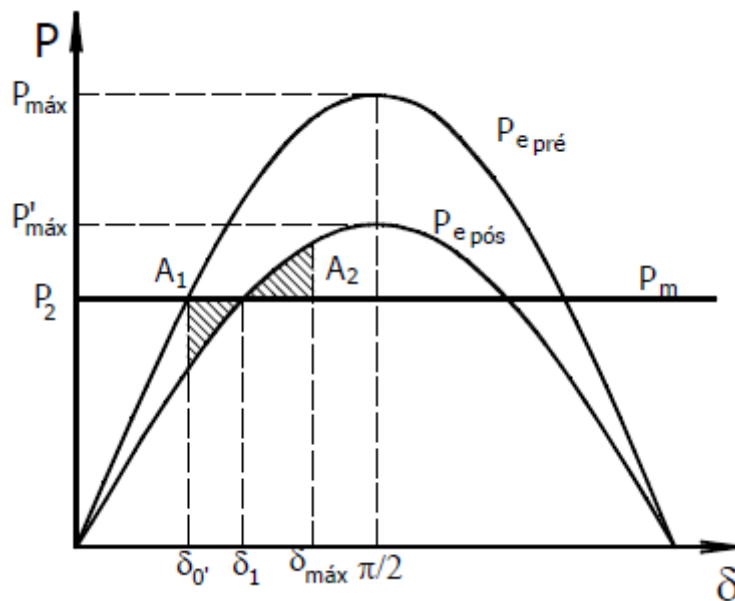


Figura 5.3 - Exemplo caso Estável.

Fonte: Adaptado de [K94].

A figura 5.3 ilustra um distúrbio estável, onde $P_{e\text{ pré}}$ e $P_{e\text{ pós}}$ são respectivamente as potências elétricas antes, e após o distúrbio. δ_0 é o ângulo do rotor inicial, após a falta, a máquina acelera, uma vez que a potência acelerante ($P_a = P_m - P_e$) é positiva, dado que a curva de potência elétrica se modifica, sendo A_1 a área de aceleração. Por outro lado, no instante em que a potência acelerante se tornar negativa ($P_e > P_m$), a velocidade da máquina é máxima, e então, a partir daí começa a desacelerar até retornar para o novo ponto de equilíbrio ($P_{e\text{ pós}} = P_m$) com o ângulo δ_1 .

A condição para o sistema ser transitoriamente estável é que a área de desaceleração A_2 , deve ser maior ou igual a área de aceleração ($A_2 > A_1$). Em outras palavras, o ângulo de retorno deve ser menor que o ângulo instável. Ângulo instável é o ponto onde a curva da potência elétrica pós intercepta a curva de potência mecânica pela segunda vez, um ponto de equilíbrio instável, Pois a partir daí a potência acelerante, volta a ser positiva

A seguir, um exemplo de um distúrbio instável, a área de desaceleração não foi suficiente para evitar a perda de sincronismo do conjunto. A área de aceleração foi maior que a área de desaceleração ($A_1 > A_2$).

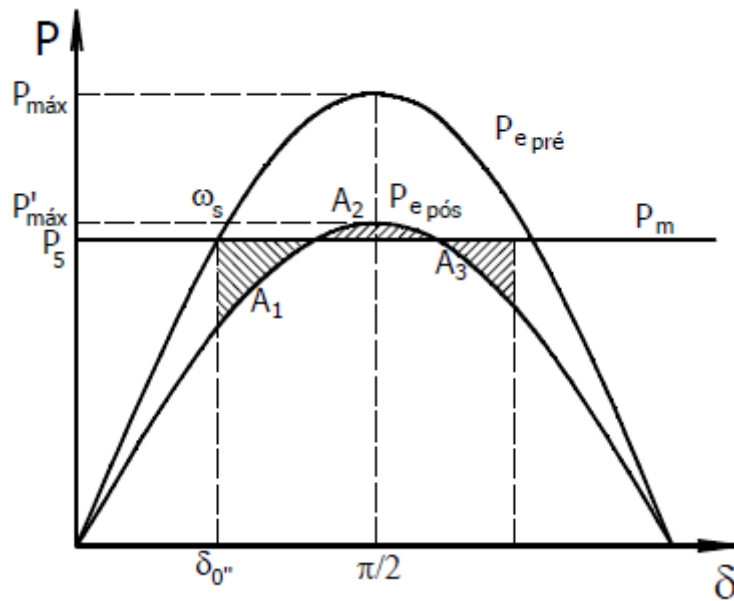


Figura 5.4 - Exemplo caso Instável.

Fonte: Adaptado de [K94].

A instabilidade é verificada cada pelo cruzamento ponto de equilíbrio instável, pois é acontece a mudança da potência acelerante de negativa para positiva novamente, a área de aceleração aumenta, representada por A_3 . E então, o sistema não retorna ao sincronismo.

5.4.4 Margens de Estabilidade

Uma vez definidos os conceitos básicos do SIME, pode-se agora desenvolver os critérios de avaliação de cada simulação que serão utilizados durante o desenvolvimento deste trabalho. Informações mais detalhadas podem ser obtidas em [F16].

5.4.4.1 Margem instável

Após o cruzamento do ponto de equilíbrio estável, tem-se o valor da margem de potência negativa, sendo a energia não dissipada, e pode ser considerada a energia a mais que deveria ser descontada pela área de desaceleração para possibilitar a estabilidade. Esta margem pode ser calculada como:

$$\eta_u = \frac{1}{2} M \omega^2 \quad (5.21)$$

Sendo ω a velocidade no ponto de cruzamento.

5.4.4.2 Margens estáveis

Para o cálculo de margens estáveis existem duas formas utilizadas no SIME. A divergência se dá na projeção do cálculo de P_e pós. Como a simulação nunca chega nessas condições de fato, o método necessita fazer uma extrapolação dos valores, para estimar a margem positiva (5.22). O primeiro método é a aproximação triangular que continua com o problema da indeterminação do ângulo de instabilidade, outra forma é aproximar potência pós falta da curva de transferência de uma máquina única [PE00].

$$\eta_e = A_{mar} = \frac{1}{2}(P_{eP}(\delta_r) - P_m)(\delta_u - \delta_r) \quad (5.22)$$

O primeiro método originalmente baseia-se na técnica de mínimos quadrados ponderados para extrapolar a curva de potência elétrica da máquina em função ao ângulo do rotor, como uma função polinomial. Estes ajustes utilizam três ou mais valores de potência tomados em passos sucessivos de tempo.

Tem-se observado que esta aproximação pode fornecer resultados razoavelmente precisos para condições apenas que a margem positiva é pequena, quando deslocamentos de ângulo são grandes, preferencialmente próximos à instabilidade. A segunda abordagem proposta, é utilizar a equação de transferência de potência de uma única máquina conectada ao barramento infinito através de uma impedância externa vista pelo equivalente da máquina. Uma vez conhecidas essas características, a energia potencial máxima pode ser aproximada e teoricamente a margem pode ser calculada bem como a energia cinética injetada no sistema pela contingência

O segundo método é crucial para a abordagem do SIME, a fim de obter uma avaliação rápida e confiável. O objetivo do método é ser capaz de estimar as margens de energia em poucos milissegundos. Definido em [SJ13]. A ideia central é aproximar a característica de P_e pós, pela função de transferência de potência do sistema OMIB.

$$P_e = \frac{E_m(\delta)E_\infty}{X_e} \text{sen}(\delta) + P_0 \quad (5.23)$$

Onde E_m é a tensão equivalente da máquina atrás de sua reatância transitória, que é modelada em função do ângulo do rotor; E_∞ é a tensão na barra infinita, que é assumida constante. E X_e é a média ponderada da impedância externa vista por cada gerador mais sua própria.

Para a transformação do valor de margem de rad/s para margem em MW, utiliza-se um fator de transformação para linear traduzir essa diferença, mais informações sobre esse fator podem ser obtidas em [PE00].

5.5 Exemplo Avaliação de Segurança: Sistema 9 Barras

O sistema elétrico de potência simples, representado na figura 5.5 similar ao apresentado em [AF03], com três geradores, ajuda na compreensão e análise dos principais fenômenos dinâmicos. O gerador na barra 1 é representado por uma máquina de pólos 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.

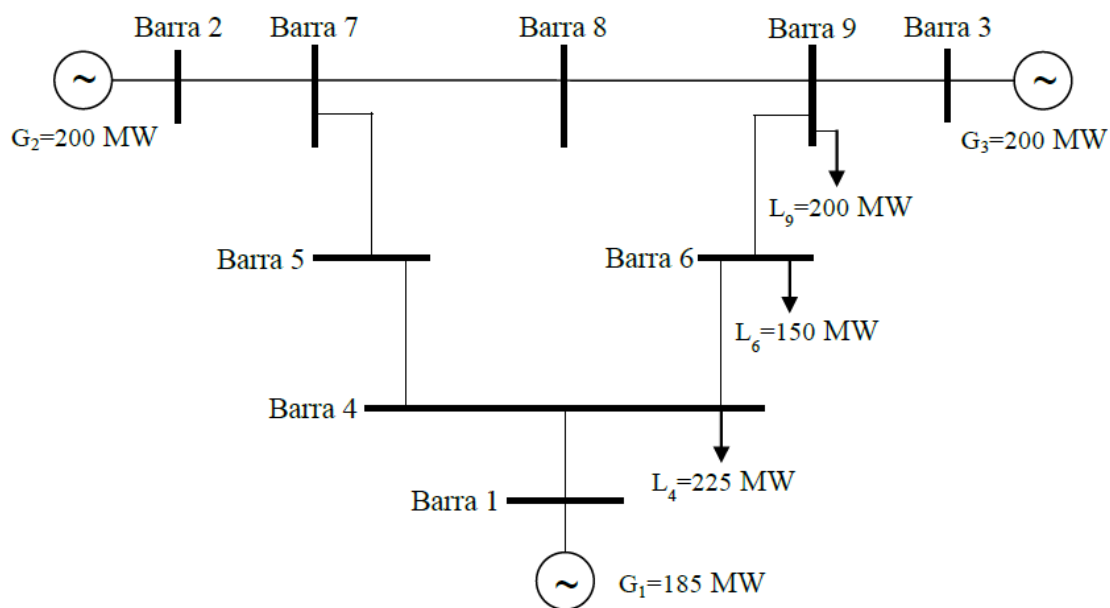


Figura 5.5 – Sistema teste 9 Barras

Fonte: Adaptado de [AF03]

Os eventos simulados para avaliar a segurança do Sistema da figura 5.5 são faltas trifásicas em ramos com duração de 200ms e posterior abertura dos disjuntores do circuito pelo sistema de proteção.

Os resultados da avaliação de segurança, podem ser observados na tabela 5.1, onde todas as contingências analisadas, são dinamicamente seguras, ou seja, o sistema de potência em questão suportaria as eventualidades sem perder o sincronismo. Importante ressaltar que o evento 3 apresenta um valor altíssimo de margem, significa que o evento é pouco significativo para a segurança dinâmica.

Tabela 5.1 – Avaliação de segurança do Sistema 9 Barras

Contingência	Ramos	Margem(MW)
CTG:1	4 -6	455.8
CTG:2	8 -9	176.6
CTG:3	7 -5	1000000.0
CTG:4	7 -8	132.1
CTG:5	6 -9	56.1

Para uma melhor visualização dos conceitos, a contingencia número um, foi simulada no Organon [J06], um *software* que possibilita visualizar os a potência elétrica de cada máquina, durante as simulações. Estes resultados são mostrados na figura 5.6 e corroboram a avaliação inicial.

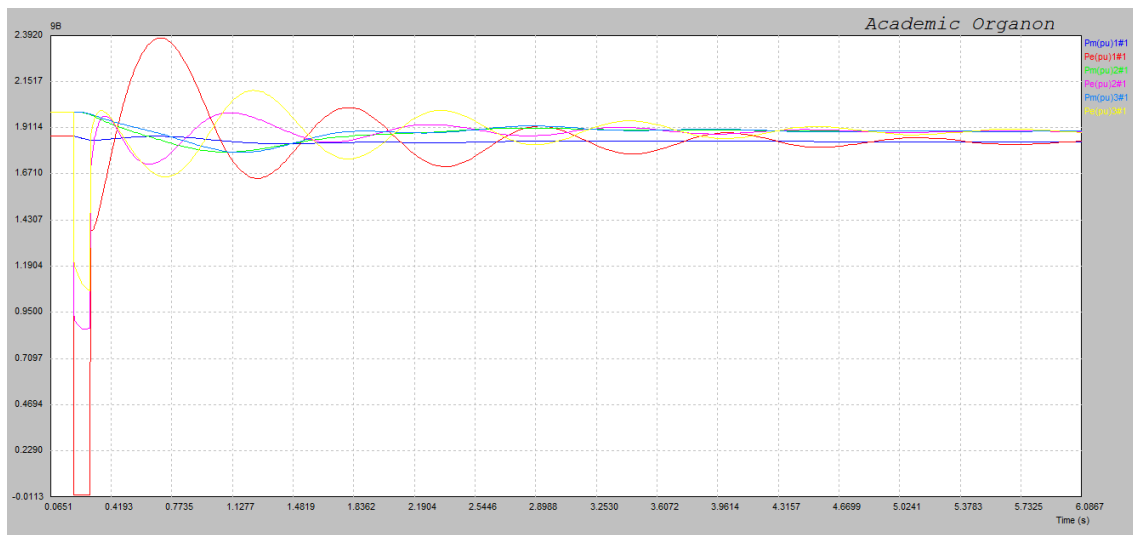


Figura 5.6 – Simulação no domínio do tempo Sistema 9 Barras.

5.6 Considerações Finais

A seção abordou os principais tópicos relevantes a segurança de sistemas de potência. Conceituando os métodos de avaliação baseados no critério das áreas iguais, a avaliação de segurança pelo método equivalente de máquinas, conceituação de máquinas críticas e não críticas, bem como os conceitos de margem de potência estáveis e instáveis. Um exemplo da avaliação foi realizado para demonstrar a técnica e fixar os conceitos.

6 METODOLOGIA DE CÁLCULO DO ATC

6.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo será apresentada a metodologia determinística para o cálculo do ATC, explicando as etapas do processo, critérios de parada e realimentação do FPO. Posteriormente, o método de redistribuição de potência, dado a instabilidade transitória, será abordado.

6.2 Metodologia

O processo se inicia com a leitura dos dados do sistema elétrico pelo algoritmo; configuração da rede, informações sobre dinâmica das máquinas, lista de contingências, devem ser fornecidos à aplicação. Posteriormente é realizada uma avaliação de estabilidade transitória para as condições iniciais, apenas para verificação do estado atual do sistema.

O Fluxograma do cálculo do ATC é apresentado na figura 6.1. Começando o processo iterativo, realiza-se uma aplicação inicial do algoritmo de FPO, sem nenhuma restrição de segurança dinâmica, fornecendo então, o ponto de operação com o maior valor de transferência de potência possível, chamado de ponto de TTC (*total transfer capability*), além de informações sobre a convergência do método.

O ponto de operação dado pelo FPO é então submetido a análises de estabilidade transitória para as diversas contingências inicializadas no algoritmo. Índices e margens de potência, são calculados para cada evento, assim como os conjuntos máquinas críticas e não críticas, de cada ocorrência.

O critério de parada verifica os resultados da análise de estabilidade transitória, caso não sejam atendidos os critérios de segurança, então, condições serão formuladas para o FPO e o processo iterativo se repete até que as condições sejam obedecidas.

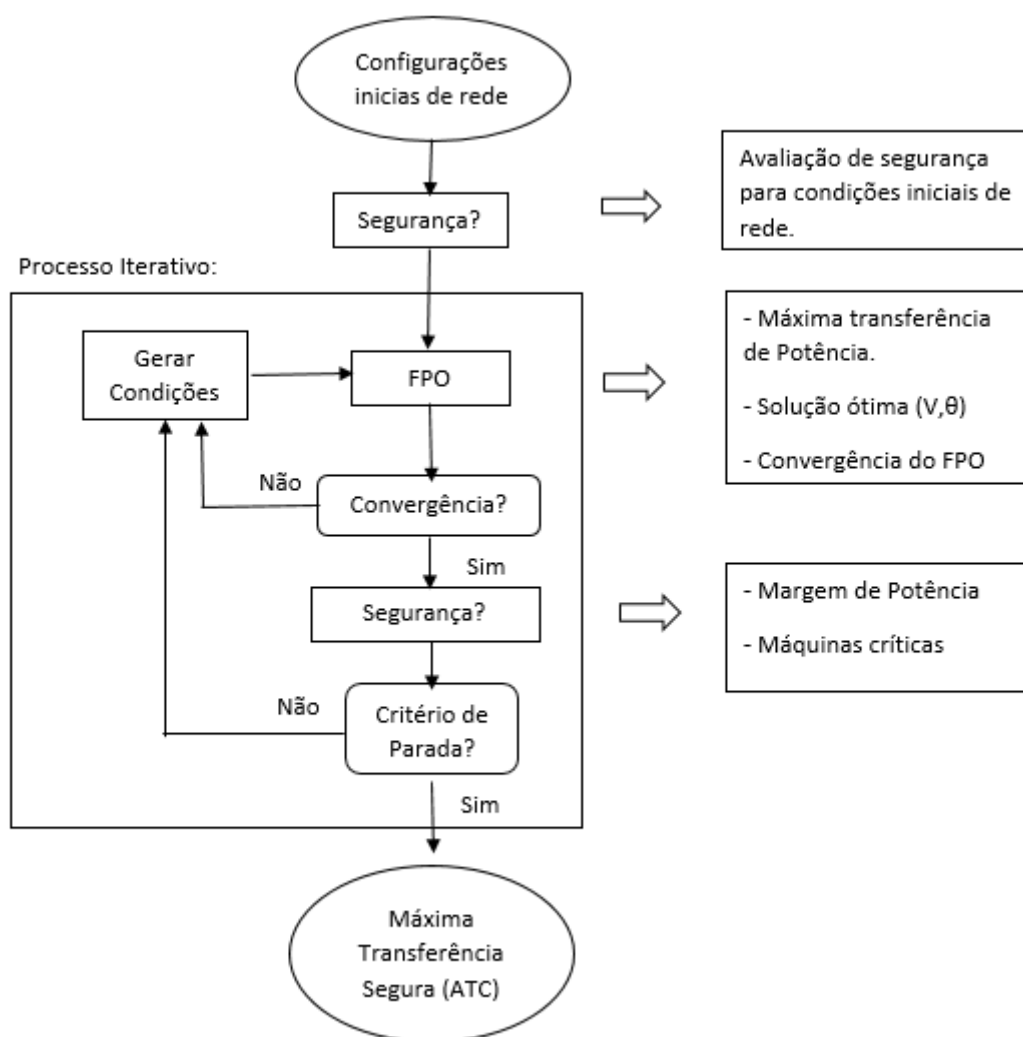


Figura 6.1 -Fluxograma da metodologia do cálculo do ATC.

6.2.1 Critério de Parada:

O processo iterativo termina quando os seguintes pontos são atendidos:

- Os índices de estabilidade para todas contingências são estáveis, ou seja, positivos, indicando um ponto de operação seguro;
- Para ponto de operação seguro, avalia-se se a margem de potência da contingência mais severa, está dentro do limite superior estabilidade do critério. Garantindo a otimalidade do ponto frente a segurança dinâmica, não aceitando uma condição muito conservadora de segurança;

Caso os pontos não sejam atendidos condições devem ser geradas para o FPO.

6.2.2 Tipos de condições

Três tipos de condições podem ser formuladas para a realimentação no FPO, consequências dos resultados das análises anteriores.

1. - Condição tipo 1: Restritiva.

É formulada se obtiver pelo menos um índice de estabilidade negativo, indicando que o ponto de operação fornecido pelo FPO não é seguro. Deve ser gerada uma restrição penalizando a potência das máquinas críticas. Duas técnicas de redespacho são propostas no trabalho, e serão apresentadas no Capítulo posterior.

2. - Condição tipo 2: Permissiva

Esta condição é formulada quando os índices de todas as contingências são positivos, indicando um ponto de operação seguro. Entretanto, como neste caso a margem para a contingência mais severa é superior ao limite estabelecido ao critério de parada, significa ser possível aumentar a potência de transferência, levando a geração a uma condição de limite, dado que as restrições de segurança dinâmica estão muito conservadoras. Para tanto, é flexibilizada a última restrição feita ao FPO.

3. Condição tipo 3: Convergência:

Em uma não convergência do FPO, significando que a última condição imposta ao algoritmo foi restritiva demais, impossibilitando a convergência do mesmo, então a condição gerada ao FPO é um alívio para a convergência do método. Neste caso o limite de transferência entre áreas é limitado, para possibilitar a convergência e continuar o processo.

6.3 Redistribuição de Margem entre as Máquinas Críticas.

Dada uma Condição tipo 1: Restritiva, após a verificação de pelo menos uma contingência instável, deve-se realizar uma redistribuição da potência elétrica das máquinas críticas (ΔP_c). A proposta é redespachar as unidades geradoras, utilizando uma técnica para dividir a margem de potência instável (determinada pelo SIME), de forma ponderada entre as máquinas críticas.

Considerando que η seria a margem de potência necessária para a estabilidade, pode-se redistribuir a potência das máquinas críticas necessário para a estabilidade.

$$\eta = A_{aceleração} - A_{desaceleração} \quad (6.1)$$

$$\eta [MW] \rightarrow \Delta P_c [MW] \quad (6.2)$$

Portanto, a área de instabilidade definida pelo SIME deve ser retirada do sistema OMIB, uma das alternativas é diminuir o somatório de potência mecânica do conjunto da máquinas críticas, como verificado na figura 6.2, um decréscimo da potência mecânica do OMIB, possibilita um aumento das áreas de desaceleração aumentando portanto a estabilidade do conjunto.

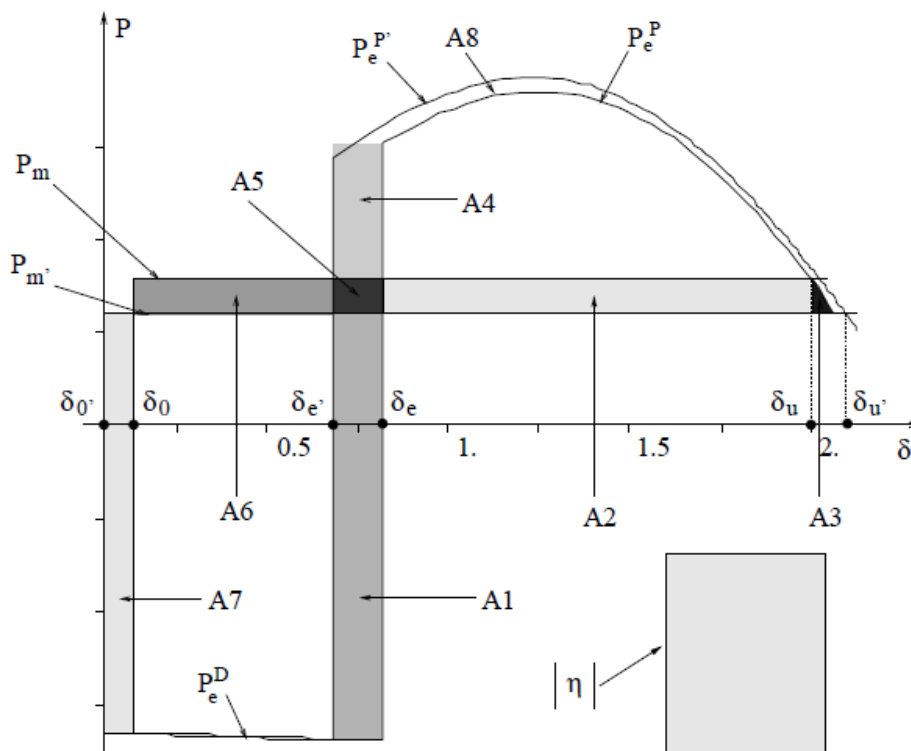


Figura 6.2 - Áreas de desaceleração criadas pelo redespacho de P_m

Fonte: [BW98]

A figura 6.2, demonstra que a diminuição da potência mecânica do OMIB, mudando o ponto inicial de operação de P_m para P_m' , possibilita a formação de novas áreas de desaceleração, por trazer o conjunto a uma condição inicial mais favorável à estabilidade transitória. Melhorando o sincronismo geral do sistema elétrico.

Para diminuir a potência mecânica do conjunto OMIB, deve-se então diminuir a potência elétrica das máquinas críticas e aumentar a potência elétrica das máquinas não críticas conforme as equações (5.17) e (5.18). Dado que na condição inicial do OMIB, $P_m = P_e$

$$P_m(t) = M \left(M_C^{-1} \sum_{k \in C} P_{mk}(t) - M_N^{-1} \sum_{j \in N} P_{mj}(t) \right) \quad (5.17)$$

$$P_e(t) = M \left(M_C^{-1} \sum_{k \in C} P_{ek}(t) - M_N^{-1} \sum_{j \in N} P_{ej}(t) \right) \quad (5.18)$$

6.4 Redistribuição de potência elétrica entre as máquinas críticas

Então, sabendo que um montante de ΔPc , é o valor total que deveria ser retirado da potência elétrica das máquinas críticas, para atingir-se a estabilidade transitória, a questão agora é a divisão desse total entre as máquinas críticas. Duas maneiras são utilizadas nesse trabalho, baseadas em [BW98].

- a) Despacho modificado: Alteração apenas da potência da máquina mais crítica, ΔPc é subtraído totalmente da capacidade de geração da máquina mais crítica. Segundo o critério do SIME
- b) Distribuição proporcional: A distribuição de ΔPc é feita em todas máquinas críticas, deve ser proporcional ao grau de criticidade, para tanto, é necessária a informação sobre as distâncias angulares das máquinas críticas d_i no tempo em que é definida a instabilidade, t_u , (tempo de instabilidade $P_{ep} = P_m$). O total de potência por máquina ΔPc_k , é determinado pelo produto da distância angular e a inércia da máquina em questão, dividido pelo somatório da distância e inércia de outras máquinas, como mostrado na equação.

$$\frac{\Delta P c_k}{\Delta P c} = \frac{M_k d_k}{\sum_i^C M_i d_i} \quad (6.3)$$

Os novos valores de potência determinados pelo redespacho para cada máquina, $\Delta P c_k$, são substituídos no conjunto de equações de limite de geração das máquinas no FPO representados pela equação (4.7), para limitar a potência despachada pela otimização e tentar alcançar um ponto seguro na próxima iteração.

$$P_i^{Min} \leq P_i \leq P_i^{Máx}, i \in G \quad (4.7)$$

6.4.1 Exemplo do processo de redespacho com distribuição proporcional.

Um exemplo de redespacho com distribuição proporcional é apresentado para melhor entendimento da metodologia. A figura 6.3 representa avaliação das áreas de aceleração e desaceleração de um sistema teste com três máquinas, após um distúrbio.

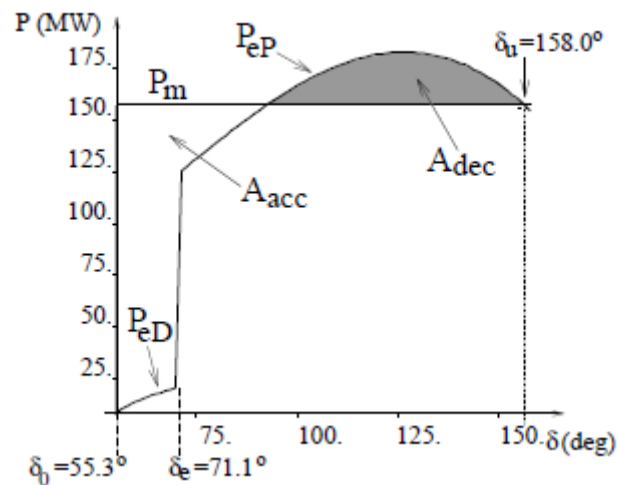


Figura 6.3 – Divisão de potência.

A figura 6.4 apresenta a simulação no domínio do tempo das distâncias angulares das máquinas do sistema.

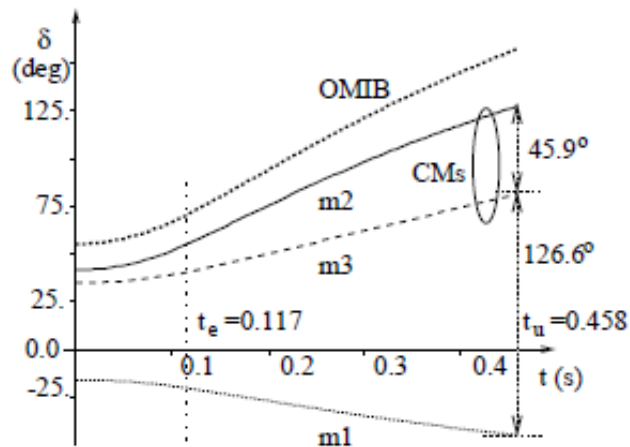


Figura 7.4 – Simulação no domínio do tempo

Avaliando a estabilidade transitória do conjunto, encontra-se um valor negativo de margem de potência, mostrado na tabela 7.1, e duas máquinas críticas: m2 e m3.

Tabela 7.1- Margem de Potência Instável

η [MW]	ΔP_c [MW]
-70	-70

Aplicando a equação 6.3, considerando inércia das máquina iguais, pode-se obter os valores de potência em MW, que devem ser subtraídos de cada máquina, para melhorar o sincronismo do conjunto. O resultado é mostrado na tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Divisão de potência entre as máquinas

Máquinas Críticas	d_i [°]	ΔP_{c_i} [MW]
m2	172,5	-40,3711
m3	126,6	-29,6289

Na primeira coluna, temos as máquinas críticas, a segunda as distâncias angulares na simulação no domínio do tempo, e na terceira, a Potência elétrica de redespacho para as máquinas críticas .

6.5 Considerações Finais

Neste capítulo, foi apresentada a metodologia de cálculo de ATC, utilizada na dissertação, passando pelas etapas do processo iterativo demonstradas em um fluxograma. Métodos de redespacho de potência, dada a instabilidade dinâmica do sistema, foram explicados. Para finalizar, um exemplo do método de redespacho proporcional, foi realizado.

7 ESTUDO DE CASOS

7.1 Considerações Iniciais

Este capítulo tem como objetivo realizar os cálculos de ATC, através da combinação do FPO de índices de estabilidade transitórias, para se obter a máxima transferência de potência segura entre áreas de sistema elétricos teste.

7.2 Sistema 1: *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 Figura 7.1 mostra o diagrama unifilar do sistema cujos dados do sistema e eventos dinâmicos estão descritos nos Anexos. Para demonstração da metodologia proposta, será descrito um exemplo com as principais etapas para o cálculo do ATC.

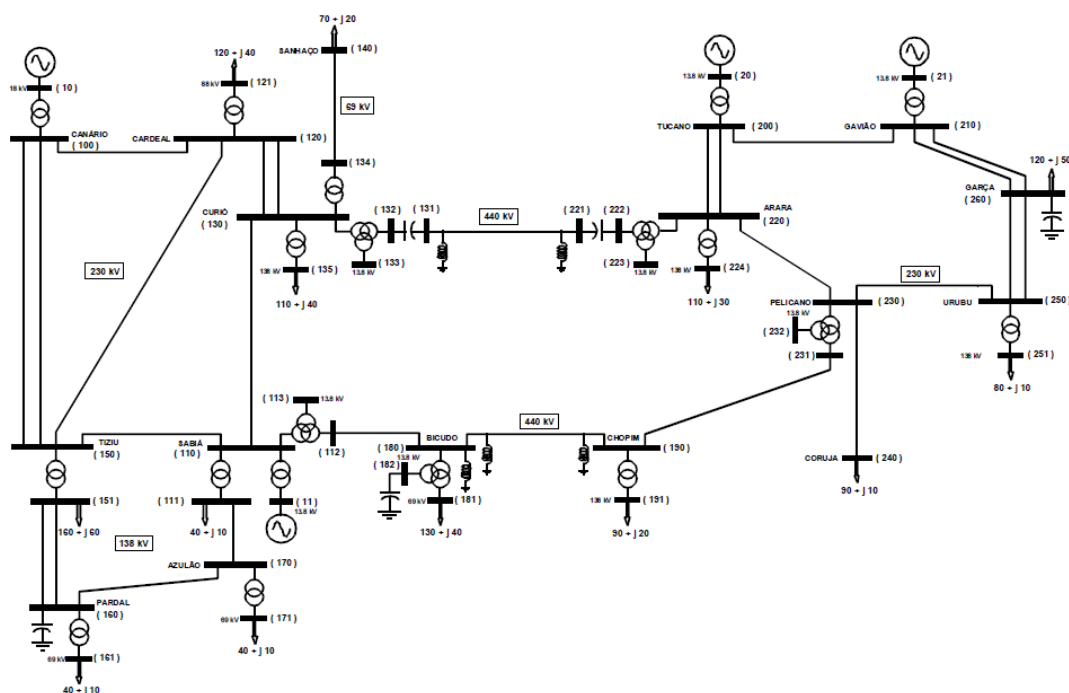


Figura 7.1 - Sistema teste *Brazilian Birds*.

Para a realização dos estudos, o sistema *Brazilian Birds* foi dividido em dois subsistemas. A área A composta por Canário, Cardeal, Sanhaço, Curió, Tiziu, Sabiá, Pardal, Azulão, Bicudo e Chopim. Enquanto, a área B, era composta pelas Barras Tucano, Gavião, Garça, Urubu, Arara, Pelicano e Coruja. Então, a análise da capacidade de transferência de potência será realizada entre essas duas áreas, conectadas por duas linhas de transmissão de interligação em 440 KV.

Tabela 7.1 - Sumário das Áreas

	Geração [MW]	Geração [Mvar]	Carga [MW]	Carga [Mvar]	Exportação [MW]
Área A	345,13	-173,16	640,00	250,00	-300,97
Área B	700,00	-109,13	360,00	100,00	302,82

Foram determinadas as 20 contingências simples consideradas mais severas ao sistema, a partir do critério N-1. Para cada contingência, foi realizado um curto-circuito trifásico de 200ms na barra e, uma posterior abertura de um elemento série após a eliminação deste defeito. As contingências que apresentaram as margens de estabilidade menos favoráveis, para o caso base seguro, foram definidas como contingências mais severas.

Iniciando o processo, primeiramente é realizada uma avaliação de segurança inicial, para o caso base. O sistema não apresentou nenhuma contingência instável, para a avaliação das 20 contingências mais severas. Validando o caso base como seguro, e então possibilitando o início do processo iterativo para determinação do ATC.

Seguindo o fluxograma da figura 6.1, o primeiro passo do processo iterativo é a otimização das variáveis para máxima transferência de potência entre áreas. Pela análise do Fluxo de potência ótimo para o sistema *Brazilian Birds*, obtém-se o seguinte resultado:

A transferência de potência ativa entre áreas é de 475,33 [MW], este ponto de operação obtido pode ser considerado como ponto de capacidade total de transferência (TTC), uma vez que apresenta a solução inicial do algoritmo de maximização de transferência sem nenhuma restrição

da segurança dinâmica. Entretanto, deve-se a partir desta solução verificar a segurança operativa. Agora, a partir da solução do FPO deve-se realizar a simulação no tempo e determinar as margens e índices de estabilidade.

Para validar a solução encontrada, o programa de segurança dinâmica é iniciado. Então, avaliando a segurança desse ponto determinado pelo FPO, nota-se que através da simulação existem, 11 das 20 contingências mais severas, são classificadas como instáveis, como mostrado na tabela 7.2

Tabela 7.2 - Margem de segurança da contingências *BB*.

CTG	Barramento De - Para	Margem [MW]	Máquina Crítica 1	Máquina Crítica 2
1	220 – 1220	-81,3	20	21
2	222 – 1220	-81,2	20	21
3	221 – 222	-79,1	20	21
4	221-1220	-80,7	20	21
5	200 -210	-80,8	20	21
9	131 - 221	-21,2	20	21
10	230 – 1230	-18,9	20	21
11	231 – 1230	-19,3	20	21
12	190 - 231	-12,4	20	21

14	231 - 1230	-18,9	21	20
16	220 1220	-67,2	21	20

Pode-se salientar que os valores de margem negativos representam a instabilidade das ocorrências no domínio do tempo. Já que a avaliação de segurança apresenta contingências com margem negativa, então o sistema é classificado como inseguro para a solução encontrada, uma vez que os critérios de parada não são atendidos, então, o processo deve continuar. Uma condição restritiva deve ser gerada, para garantir a segurança operativa do sistema, a ser encontrado pelo FPO.

Então, considerando a metodologia de redespacho modificada, apresentada no item 6.5-a, deve-se analisar a tabela 7.2 e selecionar a contingência mais severa, para gerar uma nova restrição para o FPO, para a máquina mais crítica da simulação.

7.2.1 Construção das restrições: Despacho modificado

A construção da restrição funciona da seguinte forma: O valor de margem, da contingência mais severa será descontado da máquina crítica 20, ou seja, na barra de geração, Tucano.

$$P_i^{Min} \leq P_i \leq P_i^{Máx} - Margem Instável, \quad i \in G \quad (7.7)$$

Sendo i a máquina mais crítica.

Restrição a ser incorporada ao FPO para obter nova solução estática, esta etapa é realizada no fluxograma através do bloco “Gerar Condições”.

A potência máxima do conjunto de máquinas na barra Tucano, inicialmente de 575[MW], é descontada da margem instável da pior contingência identificada pelo SIME de 81,3[MW], estabelecendo um novo valor máximo de potência para a máquina na barra Tucano, para então 493,7 [MW]. Em outras palavras, a potência disponível para a máquina síncrona é reduzida.

Adicionando essa condição ao conjunto de restrições (3.7) do fluxo de potência ótimo, limitando a potência da máquina crítica. Finalizando, a primeira iteração, uma nova iteração se inicia com a aplicação de FPO, cujo resultado é mostrado a seguir.

Tabela 7.3 – Resultado da 2ª otimização.

Potência transferida entre áreas	433,20 MW
Valor calculado do TTC	91,13 %

Após adicionar a restrição ao algoritmo, obtém-se o resultado da tabela 7.3, verificou-se a convergência do algoritmo, e a transferência de potência ativa entre áreas para essa nova condição é de 433[MW], 91,13% da potência do ponto inicial de otimização. De acordo com o fluxograma para a segunda iteração, analisando a segurança dinâmica do ponto encontrado, chega-se então em margens positivas para todas contingências, ou seja, confirma-se a segurança da solução do FPO. Sensibilizando os critérios de parada, sendo então, o resultado final do processo de ATC.

7.2.2 Verificação da metodologia via Região de Segurança

Uma ferramenta eficaz na análise de segurança, é a chamada região de segurança. Esta é uma avaliação que define os limites de segurança a partir de um ponto inicial, permitindo estabelecer uma região de operação do sistema. O programa, determina essa região, a partir de três grupos geradores, modificando a geração de pares de grupos e avaliando a segurança após cada mudança de geração. Mais informações do método, podem ser obtidas em [JN06].

Os grupos escolhidos para a determinação da região, são as três máquinas do sistema. Tucano, Sabiá e Gavião, excluindo a barra swing. Traçando a região de segurança, e identificando os pontos encontrados durante o processo iterativo, é possível avaliar a segurança de uma forma gráfica apresentada figura 7.2. O contorno azul é a região segurança calculada pelo *software* Organon. Os pontos plotados, são os resultados do processo de cálculo do ATC. São estes, o ponto inicial, representado pelo símbolo '+', por onde se inicia a avaliação, o ponto de TCC, representado

pelo símbolo ‘*’, representado pelo primeiro resultado do FPO, e o ponto de ATC, representado por ‘o’, significa resultado da máxima transferência para o ATC.

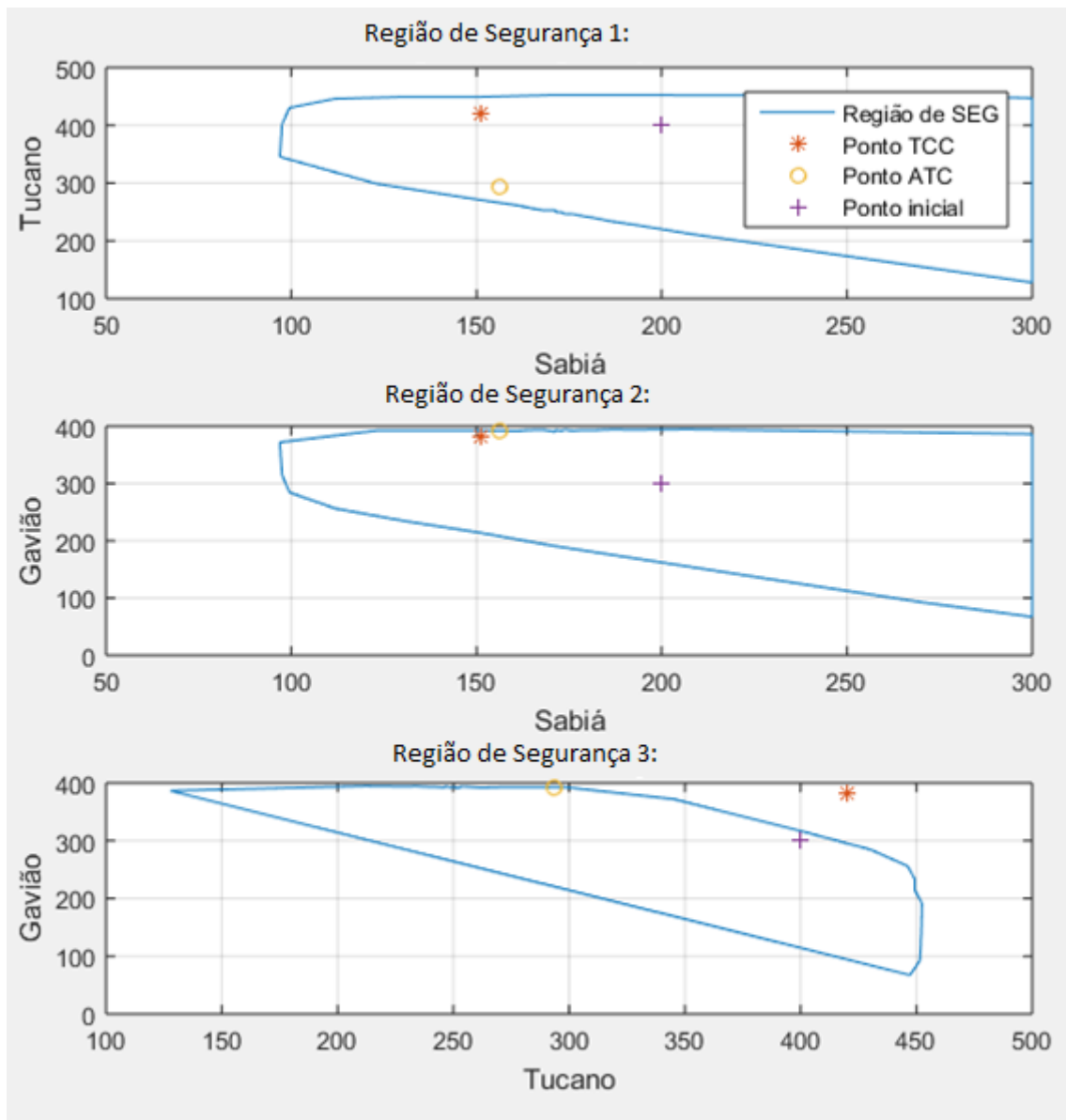


Figura 7.2– Região de segurança *Brazilian Birds*

Pode-se notar que o ponto inicial e o ATC estão localizados no interior da região de segurança, portanto, graficamente pode ser corroborado que os resultados do algoritmo foram alcançados. Como pode ser observado, o ponto de TCC, primeiro resultado da otimização, não se encontra no interior da região segura no terceiro gráfico, indicando um ponto inseguro, portanto

inviável para ser considerado como solução de máxima transferência de potência, como aconteceu na análise de segurança realizada.

Outro fato que pode ser levado em consideração é que, como a restrição de geração na máquina crítica, Tucano, foi eficaz em reestabelecer a condição segura, ou seja, a diminuição da geração da máquina crítica possibilitou que a solução obtida pelo FPO, apresentasse resposta dinâmica segura. A tabela 7.5 resume os resultados mais relevantes da análise.

Tabela 7.2 – Transferência entre áreas e Margem de Potência

Pontos de Operação	Transferência entre áreas [MW]	Margem de Potência da contingência mais severa [MW]
Ponto Inicial	302,82	23,90
Ponto TTC	475,33	-81,30
Ponto ATC	433,20	21,80

7.3 Sistema 2: Equivalente Brasileiro 65 Barras

No conjunto de resultados do uso da metodologia de cálculo da máxima transferência de potência segura, será utilizado um sistema 65 barras equivalente ao brasileiro, apresentado em [A07].

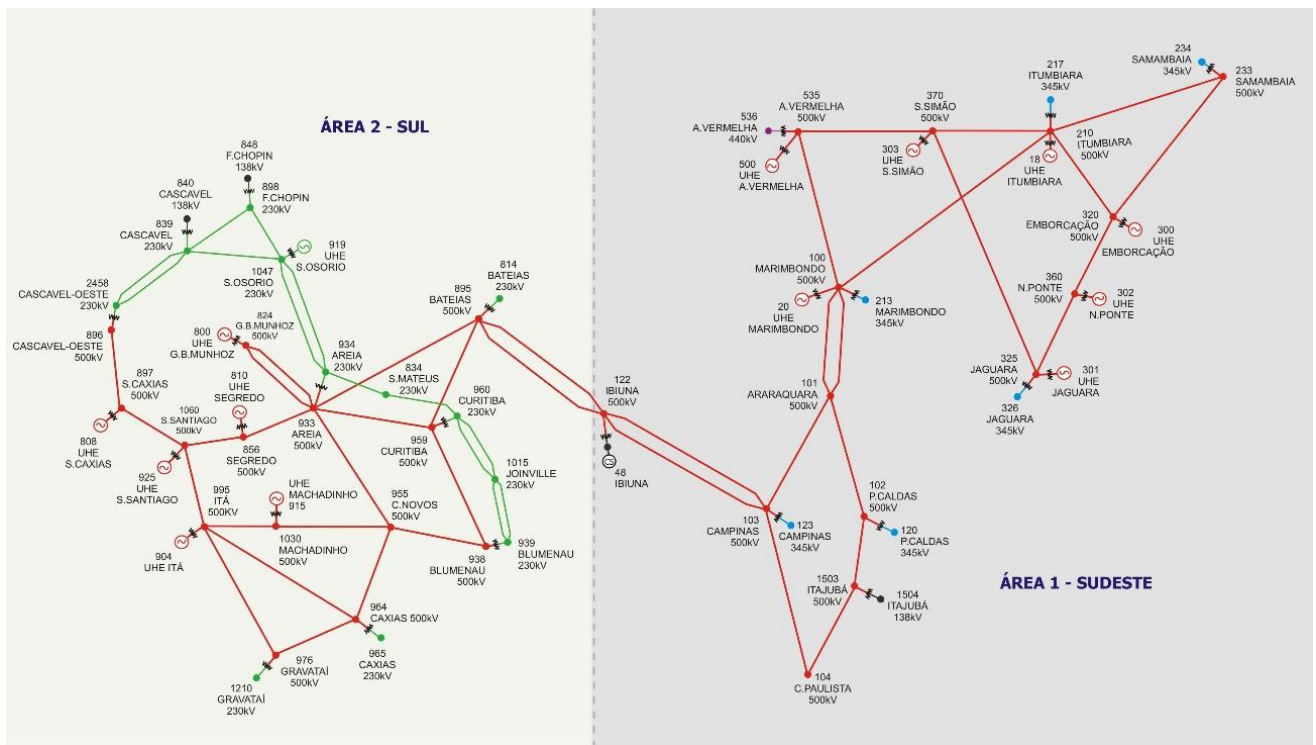


Figura 7.3 - Sistema 65 Barras equivalente sul-sudeste Brasileiro

Na Figura 7.3 é apresentado o diagrama unifilar do sistema-teste com 65 barras equivalente brasileiro, este sistema está dividido em dois subsistemas denominados de subsistema Sul e subsistema Sudeste, conectados eletricamente por dois longos circuitos em 500 kV, ligando a subestação de Bateias, no Sul, à subestação de Campinas, no Sudeste, tendo entre esses dois pontos a subestação de Ibiúna. A característica relevante deste sistema está em permitir estudar a influência das usinas de uma região em relação às demais de outra região, em razão do posicionamento concentrado em cada região. A capacidade total de geração destes subsistemas é equilibrada, sendo 8.946,2 MW na região Sudeste e 8.912 MW na região Sul. Tal equilíbrio ocorre também na distribuição das cargas, sendo 4.398 MW no Sudeste e 5.689,1 no Sul. Os dados deste sistema encontram-se no Anexo.

Tabela 7.5 – Sumário 65 Barras.

Áreas	Geração Instalada [MW]	Geração Caso Base [MW]	Carga [MW]	Número total de Barras	Exportação [MW]
Sudeste	8946,1	3604,90	5689,1	29	-859,0
Sul	8912,0	6746,32	4398,0	36	848,4

Para reduzir o número de contingências do critério N-1, foi realizado uma análise de sensibilidade, barra de geração – fluxo na interligação, para filtrar os eventos mais impactantes. Estratégia adotada para reduzir o esforço computacional de todas contingências para atender o critério N-1. A análise de sensibilidade, basicamente é uma ferramenta de avaliação de segurança de regime permanente, utiliza a matriz jacobiana para definir relações entre grandezas, obtendo uma tendência das barras mais susceptíveis ao aumento do fluxo na interligação do sistema, mais informações sobre análise de sensibilidade, pode ser obtido em [MG16]. A análise de sensibilidade permitiu reduzir o número de contingências, para as barras de geração mais significativas para o fluxo. Restringindo o número de contingências, a eventos nas barras mais sensíveis, e os ramos adjacentes.

Inicia-se o processo para determinação do ATC, inicialmente, uma avaliação de segurança, resultando na operação segura para o ponto de partida. A tabela 7.6 demonstra a contingência mais crítica, ou seja, menor margem.

Tabela 7.6- Contingência mais severa para caso base

Número Contingência	Margem [MW]
Curto Circuito na Barra 18	269,90

Pode-se então, iniciar o processo iterativo, aplicando o programa de FPO. Obtém-se uma transferência de potência de 1943,99 MW entre áreas, apresentado na tabela 7.8. Sendo esta solução o ponto de máxima transferência total, TTC.

Tabela 7.7 – Resultado da otimização para 1ª iteração.

Transferência entre áreas	1943,99 MW
---------------------------	------------

Após a otimização, a avaliação de segurança do ponto encontrado é apresentada na tabela 7.8.

Tabela 7.8 – Avaliação de segurança 65 Barras

Número Contingência	Barramento De – Para	Margem [MW]	Máquina Crítica 1	Máquina Crítica 2	Máquina Crítica 3
1	210 - 18	-16151	904	808	915
2	100 - 20	-516	904	808	915
3	122 - 48	-467	18	303	300
8	100 - 101	-434	904	808	810
13	100 - 210	-21	303	18	500
18	100 - 535	-32	303	18	300
19	100 - 20	-32	303	18	300
24	100 - 213	-227	18	303	300
25	100 - 101	-227	18	303	300
26	101 - 103	-1000	18	303	500

Número Contingência	Barramento De – Para	Margem [MW]	Máquina Crítica 1	Máquina Crítica 2	Máquina Crítica 3
27	101 - 102	-1000	18	303	500
28	102 - 1503	-752	18	303	300
30	102 - 120	-70	18	303	300
31	104 - 103	-76	18	303	300
33	122 - 103	-99	18	303	300
34	103 - 123	-1979	915	904	808
35	201 - 18	-104	18	303	300
36	210 - 217	-104	18	303	300
38	100 - 300	-1000	904	808	915
39	320 - 300	-27	18	303	300
40	325 - 301	-141	18	300	303
41	360 - 302	-627	904	808	915
42	370 - 303	-1000	904	808	915

Como o ponto encontrado é dinamicamente instável, como comprovado pelos valores negativos de margem na tabela 7.8, é necessário o redespacho das máquinas críticas. Nesse exemplo será utilizada a técnica do despacho proporcional apresentada na seção 6.4 – b.

7.3.1 Construção das restrições: Redespacho Proporcional

O redespacho proporcional, utiliza a equação 6.3 para distribuir a margem de potência instável, no caso 1615 MW, entre as máquinas críticas da ocorrência, no caso as máquinas 915, 904 e 808, baseados na criticidade da defasagem angular, ponderada pela inércia.

$$\frac{\Delta P_{C_k}}{\Delta P_C} = \frac{M_k d_k}{\sum_i^C M_i d_i} \quad (6.3)$$

A tabela 7.10 apresenta os resultados.

Tabela 7.9 – Redespacho de potência iteração 1.

	Máquina Crítica 1 (915)	Máquina Crítica 2 (904)	Máquina Crítica 3 (808)
d_k°	-70.383	-68.146	-67.120
H_k	4.844	4.349	4.071
ΔP_{C_k} [MW]	-631.5642	-709.7661	-709.7661

Sendo H_k o coeficiente de inércia da máquina k .

$$P_k^{Min} \leq P_k \leq P_k^{Máx} - \Delta P_{C_k}, \quad k \in G \quad (7.8)$$

Redistribuída a potência das máquinas críticas, conforme a equação 7.8, uma nova iteração se inicia com a otimização. Na segunda iteração, o processo de otimização não converge, então, conforme o fluxograma 6.1, uma condição para flexibilizar a convergência do FPO devem ser geradas, diminuindo a potência máxima transferida entre áreas.

Portanto, inicia-se um processo interno, para convergência, diminuindo gradativamente o limite da potência de transferência entre áreas. Após diminuições no limite de transferência, a potência é limitada em 1300 MW, possibilitando, então, a convergência da otimização. Este novo ponto encontrado fornece a solução de transferência, apresentada na tabela 7.10.

Tabela 7.3 – Resultado da otimização da segunda iteração.

Potência transferida entre áreas	1201,43 MW
Valor calculado do TTC	61,81%

Nota-se, que, de fato, a condição para garantir a convergência limitou a transferência entre áreas. Porém, sem essa limitação o FPO não iria convergir. Prosseguindo com a metodologia, a avaliação de segurança mostrada na tabela 7.11 resultou em um ponto de operação instável, porém, apenas para duas contingências e com margens de potência instáveis pequenas.

Tabela 7.11 – Avaliação de segurança da 2ª iteração.

Número Contingência	Margem [MW]	Máquina Crítica 1	Máquina Crítica 2	Máquina Crítica 3
26	-9,30	48	18	303
27	-9,30	48	18	303

Novamente, um redespacho proporcional entre as máquinas críticas é proposto. A redistribuição de margem de potência, limitando as máquinas críticas proporcionalmente, é apresentada na tabela 7.12.

Tabela 7.2 – Redistribuição de potência 2ª iteração.

	Máquina Crítica 1 (48)	Máquina Crítica 2 (18)	Máquina Crítica 3 (303)
d_k°	-56,563	-53,43	-51,41
H_k	1,60	4,310	6,22
ΔP_{C_k} [MW]	-2,897	-3,101	-3,001

Após as limitações na potências das máquinas críticas, no conjunto de equações do FPO, inicia-se a 3ª iteração do *software*, Aplicando a otimização encontrou-se uma nova solução convergente, com resultado da transferência de potência mostrada na tabela 7.13.

Tabela 7.3 – Resultado da otimização 3ª iteração.

Potência transferida entre áreas	1179,86 MW
Valor calculado do TTC	60,69%

Avaliando a segurança nesse ponto, obteve-se um resultado de margem estáveis para todas as contingências. O resultado de margem, para contingência mais severa, é mostrada na tabela 7.14.

Tabela 7.14 – Avaliação de segurança 3ª iteração.

Contingência mais severa	Margem [MW]
Curto Circuito na Barra 18	156,11

Então, o critério de parada é sensibilizado, finalizando a metodologia proposta, resultando no valor de ATC de 1179,86 MW.

7.3.2 Verificação do ATC na região de Segurança

Analisando os pontos encontrados, utilizando a ferramenta da região de segurança, nota-se a fronteira estabilidade transitória, e onde os pontos de operação se encontram. Novamente, os três pontos encontrados pelo *software*, estão dispostos na região segura, são: O ponto inicial, representado pelo símbolo '+', por onde se inicia a avaliação, o ponto de TCC, representado pelo símbolo '*', representando o resultado da primeira otimização, o ponto de maior transferência de potência, e o ponto de ATC, representado por 'o', significa resultado da máxima transferência de potência segura, o ATC.

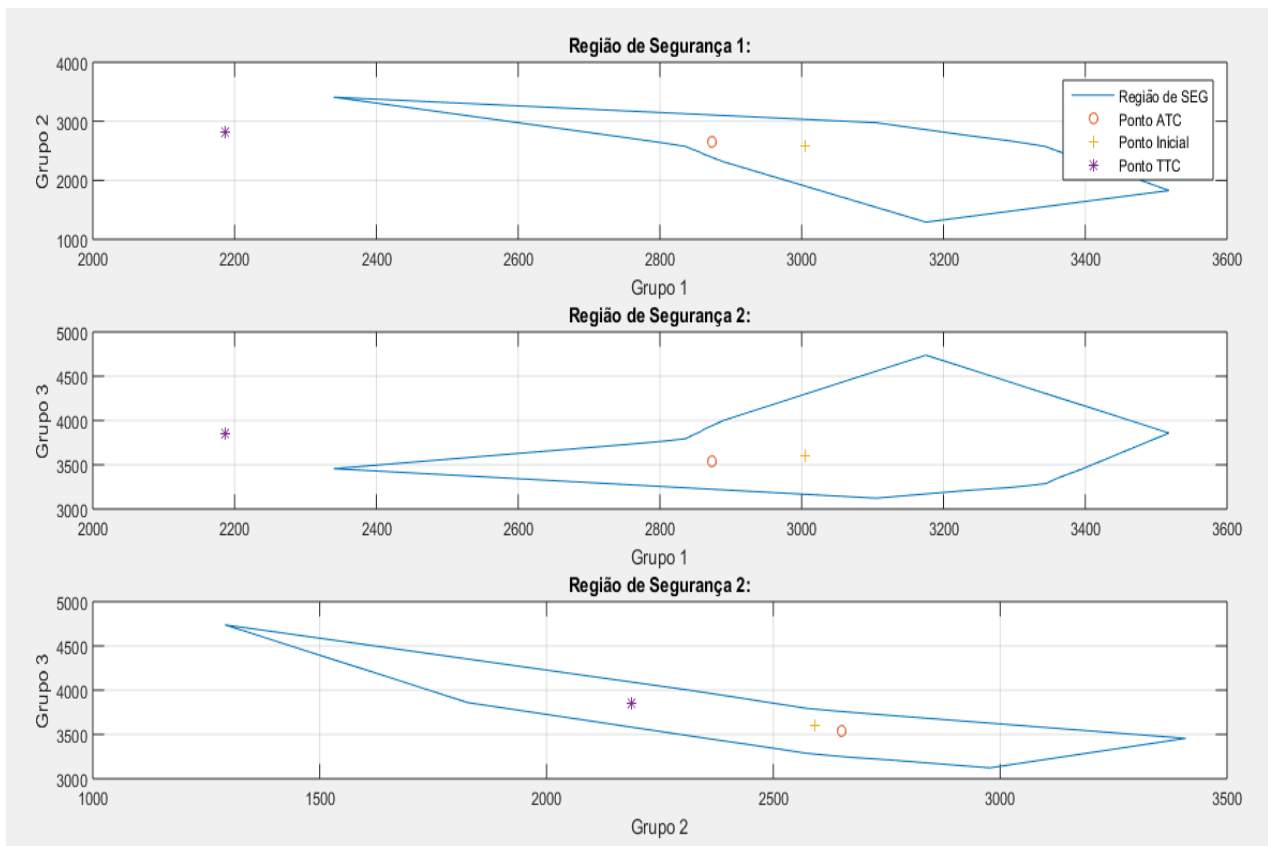


Figura 7.4 – Região de Segurança 65 Barras.

Pode-se comprovar nas figuras que o TTC, não está na região de operação segura. Sendo o ponto de maior transferência possível, porém um ponto instável frente à uma contingência. Já o ponto de ATC, apresenta um valor de transferência de potência considerável e está em dentro da região segura, sendo um ponto de operação possível, que não compromete a segurança operativa. Organizando os resultados obtidos, de forma a resumir o estudo de caso, tem-se a tabela 7.15.

Tabela 7.15 – Resultados 65 Barras.

Pontos de Operação	Transferência entre áreas [MW]	Margem de Potência da contingência mais severa [MW]
Ponto Inicial	848,00	23,90
Ponto TTC	1943,99	-16151,00
Ponto ATC	1179,68	156,11

7.4 Considerações Finais

Neste capítulo, a utilização da metodologia de cálculo da capacidade de transferência de potência com considerações de segurança dinâmica foi aplicada a exemplos de sistemas teóricos de médio porte. Mostrou-se o passo a passo do algoritmo, otimização, avaliação de segurança, restrições ao FPO e critério de parada. Os resultados foram confrontados com a região de segurança, comprovando a efetividade do algoritmo proposto, em apresentar um valor de ATC, de forma rápida e eficiente.

8 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

8.1 Conclusões

O trabalho teve como objetivo desenvolver uma metodologia para cálculo da máxima transferência de potência segura entre sistemas elétricos de forma determinística. Pode-se concluir que o objetivo foi alcançado. Uma ferramenta para auxiliar o planejamento da operação elétrica na tomada de decisão foi desenvolvida. O resultado para sistemas teste de médio porte foi satisfatório. Para desenvolvimento do programa proposto, a avaliação do que está sendo utilizado na prática foi levada em consideração, avaliou-se o que os operadores, em diferente localidades, aplicam em questão de avaliação de segurança e otimização. Aliando esse conhecimento, também, ao mais relevante que ainda está em discussão em artigos acadêmicos.

8.2 Trabalhos Futuros

Para continuar os estudos da metodologia apresenta neste trabalho, seria interessante, observar a resposta do *software*, para sistemas reais e com grande penetração de fontes renováveis. Certamente, adequações precisam ser feitas, e quesitos de processamento computacional devem ser levados em consideração.

Outra frente de estudo que pode ser trabalhada no futuro, levando em consideração esse trabalho, é a de métodos de redespacho proporcionais, ainda mais elaborados, para diminuir as iterações em melhorar a redistribuição entre as máquinas críticas.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [A07] W.F. Alves, “Proposição de Sistemas teste para análise computacional de sistemas de potência” Dissertação de Mestrado em Engenharia da Computação, Universidade Federal Fluminense, UFF, Niteroi, Brasil, 2007.
- [AF03] P.M. Anderson and A.A. Fouad, *Power System Control and Stability*, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2003.
- [AF06] T.M.L. Assis, D.M. Falcão, G.N. Taranto, “Dynamic Transmission Capability Calculation using Integrated Analysis Tools and Intelligent Systems”, IEEE Transactions on Power Systems, 2006.
- [BW98] A.L. Bettiol, L. Wehenkel, and M. Pavella. "Generation Allocation for Transient Stability Constrained Maximum Power Transfer". In Proc. of SEPOPE '98, Salvador, Brazil, June 1998.
- [C62] J. Carpentier, “Contribution á l’étude du dispatching économique,” Bulletin de la Société Française des Électriciens, ser. 8, vol. 3, pp. 431-447, 1962.
- [CJ18] H. Chen, T. Jiang, X. Li, X. He, X. Kou, L. Bai, F. Li, “Available Transfer Capability considering Demand Response”, 2017 IET Generation, Transmission & Distribution, Volume: 12, Issue: 1 Pages: 53 – 61, 2018.
- [DT03] G. B. Dantzig; M. Thapa, N. Mukund “Linear Programming 2: Theory and Extensions”. Springer-Verlag, 2003.
- [EB98] D. Ernst, A.L. Bettiol, Y. Zhang L. Wehenkel, and M. Pavella. "Real-Time Transient Stability Emergency Control of the South-Southeast Brazilian System". In Proc. of SEPOPE'98, Salvador, Brazil, May 1998.
- [F16] L. Ferreira, “Análise de índices de estabilidade baseados no SIME: aplicados à região de segurança dinâmica”, Dissertação de Mestrado, UNIFEI, Itajubá, 2016.

- [FERC11] “Recent ISO Software Enhancements and future software and modeling plans”, 2011
- [G94] S. Granville, "Optimal Reactive Dispatch through Interior Point Methods," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No. 1, pp. 136-146, Feb. 1994.
- [K48] E.W. Kimbark. "Power System Stability". John Wiley & Sons, 1948
- [K94] P. Kundur, Power System Stability and Control , 1st ed.,New York, McGraw-Hill,1994.
- [KB95] D. Kuo, A. Bose, “A Generation Rescheduling Method to Increase the Dynamic Security of Power Systems”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol 10, No. 1, February, 1995.
- [J06] J. L. A. Jardim, “Manual of ORGANON – User Guide,” Vol. I, Version 1.1, April 2006.
- [JN06] J. L. A. Jardim, C. S. Neto, M. G. Santos, “Brazilian System Operator Online Security Assessment System,” IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, Atlanta, USA, Oct. 2006.
- [M05] Z.S. Machado Jr, “Desenvolvimento de um ambiente computacional flexível para aplicações de Fluxo de Potência Ótimo utilizando modelagem orientada a objetos”, Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.
- [ME97] J.A. Momoh, C.B. Effiong, “Generation Rescheduling for Dynamic Security Enhancement for Multi-Area Power System”, Proceedings of the 1997 IEEE Conference on Computational Cybernetics and Simulation, October, 1997.
- [MG16] A.Monticelli, A. Garcia, Introdução a Sistemas de Energia elétrica,Unicamp, 2016

- [N12] E. Nery, Mercados e Regulação de Energia Elétrica, 1st ed., Rio de Janeiro, Cigré-Brasil, Editora Interciência, 2012
- [NERC96] North America Electric, Reliability Council, "Available Transfer Capability Definitions and Determination", June, 1996.
- [PE00] M. Pavella, D. Ernst and D. Ruiz-Vega, "Transient Stability of Power Systems: A Unified Approach to Assessment and Control", Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [PV99] M. Pavella, D. Ruiz-Vega, J. Giri, and R. Avila-Rosales. "An Integrated Scheme for On-Line Static and Transient Stability Constrained ATC Calculations". IEEE Summer PES Meeting (Panel Session on On-Line DSA Projects for Reliability Management and ATC Computation), Edmonton, Canada, 1999
- [RB98] D. Ruiz-Vega, A.L. Bettiol, D. Ernst, L. Wehenkel, and M. Pavella. "Transient Stability-Constrained Generation Rescheduling". In Bulk Power System Dynamics and Control IV - Restructuring, Santorini, Greece: 105--115, August 1998..
- [RE00] D. Ruiz-Vega, D. Ernst, C. Machado Ferreira, M. Pavella, P. Hirsch, and D. Sobajic. "A Contingency Filtering, Ranking and Assessment Technique for On-line Transient Stability Studies". In Proc. of the DRPT2000 Con!, London, UK: 459-464, April 2000.
- [SC02] A.M. Leite da Silva, J.G.C. Costa, L.A.F. Manso, G.J. Anders, "Transmission Capacity: Availability Maximum Transfer and Reliability", IEEE Transactions on Power Systems, Vol 17, August 2002.
- [SJ13] A.M. Leite da Silva, J.L.A. Jardim, Z.S. Machado Jr., L.R. Lima, "Methodology and Computer Program for Ranking of Substations in Bulk Power Systems: Static and Dynamic Analyses - Hydro One," Research Report Feb. 2013
- [SS09] E.G.S. Sant`Anna, A.C. Z. Souza, A.Y. Takahata T.M.L. Assis, M.Th. Schilling, J.A. Passos Filho, "Evolução Metodológica para a Obtenção de Limites de Intercâmbios Seguros no Sistema Interligado Nacional", XX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - SNPTEE, Recife, Novembro, 2009.

ANEXOS

Arquivos de rede e otimização do sistemas teste utilizados:

A) Arquivo de rede Sistema 9 Barras

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, 50.0, 310.000, 0.000, 1, 1.000, 0, 0.000, 0, 0.000, 0, 0.000, 0, 0.000
2,'1 ', 199.000, -3.816, 70.000, -70.000, 1.0250, 0, 234.000, 0.000, 1.000, 0.0000, 0.0000,
1.0000, 1, 50.0, 350.000, 0.000, 1, 1.000, 0, 0.000, 0, 0.000, 0, 0.000, 0, 0.000
3,'1 ', 199.000, 31.988, 67.400, -67.400, 1.0250, 0, 234.000, 0.000, 1.000, 0.0000, 0.0000,
1.0000, 1, 50.0, 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, 400.0, 400.0, 500.0, 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,  200.000
  1.00000, 0.00000, 0.00000, 252.00, 252.00, 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,  200.000
  1.00000, 0.00000, 0.00000, 258.00, 258.00, 328.00, 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

```

B) Arquivo de Otimização 9 Barras

```

DCTE IMPR
DEBG 1
MXIT 250
PTOL 0.001
QTOL 0.001
99999
DOBJ MXTR
DCON VGEN PGEN QGEN
RELA CONV
COMP

```

(
(LIMITES DE TENSÃO NA BARRA

(
DVLB

1	0.9501.050
2	0.9501.050
3	0.9501.050
4	0.8001.200
5	0.8001.200
6	0.8001.200
7	0.8001.200
8	0.8001.200
9	0.8001.200

99999

(
(CUSTO DE GERACÃO ATIVA

(
DGEPIPR

0001	-100.0300.	001.0
0002	+050.0250.	001.0
0003	+050.0250.	001.0

99999

(
(CUSTO DE GERACÃO REATIVA

(
DCQG

0001	015.0
0002	015.0
0003	015.0

99999

(
(--- DADOS DE CIRCUITOS CUJOS FLUXO DE POTÊNCIA DEVER SER OTIMIZADAS ---)

(
DVES

((De) (Pa)Nc (De) (Pa)Nc (De) (Pa)Nc (De) (Pa)Nc (De) (Pa)Nc Tot (Lmin.) (Lmax.)

9 8 1 = -100. 240.

99999

.

.

EXOT

RELATÓRIO DE BARRAS

FIM

C) Arquivo de rede BBirds

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, 1
 121,'1',1, 1, 1, 100.000, 40.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 1
 135,'1',1, 1, 1, 100.000, 40.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 1
 140,'1',1, 1, 1, 60.000, 20.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 1
 151,'1',1, 1, 1, 100.000, 60.000, 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, 1
 171,'1',1, 1, 1, 40.000, 10.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 1
 181,'1',1, 1, 1, 80.000, 40.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 1
 191,'1',1, 1, 1, 80.000, 20.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 1
 224,'1',1, 2, 1, 100.000, 30.000, 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, 1
 251,'1',1, 2, 1, 70.000, 10.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 1
 260,'1',1, 2, 1, 100.000, 50.000, 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, 0.0000, 0.1000, 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, 0.0000, 0.1000, 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, 0.0000, 0.1000, 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, 0.0000, 0.1000, 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	0.0000	0.1000	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
11,'10'	50.000	-7.995	25.000	-25.000	1.0300	0	100.000	0.0000	0.1000	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
11,'10'	50.000	-7.995	25.000	-25.000	1.0300	0	100.000	0.0000	0.1000	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
11,'10'	50.000	-7.995	25.000	-25.000	1.0300	0	100.000	0.0000	0.1000	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
11,'10'	50.000	-7.995	25.000	-25.000	1.0300	0	100.000	0.0000	0.1000	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
20,'10'	80.000	-7.870	50.000	-50.000	1.0300	0	100.000	0.0000	0.1000	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
20,'10'	80.000	-7.870	50.000	-50.000	1.0300	0	100.000	0.0000	0.1000	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
20,'10'	80.000	-7.870	50.000	-50.000	1.0300	0	100.000	0.0000	0.1000	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
20,'10'	80.000	-7.870	50.000	-50.000	1.0300	0	100.000	0.0000	0.1000	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
20,'10'	80.000	-7.870	50.000	-50.000	1.0300	0	100.000	0.0000	0.1000	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
21,'10'	75.000	-10.827	45.000	-45.000	1.0300	0	100.000	0.0000	0.1000	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
21,'10'	75.000	-10.827	45.000	-45.000	1.0300	0	100.000	0.0000	0.1000	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
21,'10'	75.000	-10.827	45.000	-45.000	1.0300	0	100.000	0.0000	0.1000	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
21,'10'	75.000	-10.827	45.000	-45.000	1.0300	0	100.000	0.0000	0.1000	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 / 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	150.0	0.0	150.0	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	150.0	0.0	150.0	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	491.0	0.0	491.0	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	133.0	0.0	133.0	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	737.0	0.0	737.0	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, 169.0, 0.0, 169.0, 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, 500.0, 0.0, 500.0, 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, 500.0, 0.0, 500.0, 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, 331.0, 0.0, 331.0, 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, 343.0, 0.0, 343.0, 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, 300.0, 0.0, 300.0, 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, 112.0, 0.0, 112.0, 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, 333.0, 0.0, 333.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 151, 160,'2',0.50800E-01, 0.10560E+00, 0.02480, 333.0, 0.0, 333.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 160, 170,'1',0.33000E-01, 0.68600E-01, 0.01610, 156.0, 0.0, 156.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 180, 190,'1',0.20000E-02, 0.23900E-01, 1.16100, 166.0, 0.0, 166.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 190, 231,'1',0.31000E-02, 0.38200E-01, 1.85700, 235.0, 0.0, 235.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 200, 210,'1',0.21800E-01, 0.82200E-01, 0.14510, 412.0, 0.0, 412.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 200, 220,'1',0.24600E-01, 0.92800E-01, 0.16390, 273.0, 0.0, 273.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 200, 220,'2',0.24600E-01, 0.92800E-01, 0.16390, 273.0, 0.0, 273.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 210, 260,'1',0.23000E-01, 0.87000E-01, 0.15360, 238.0, 0.0, 238.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 210, 260,'2',0.23000E-01, 0.87000E-01, 0.15360, 238.0, 0.0, 238.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 220, 230,'1',0.25900E-01, 0.97700E-01, 0.17240, 171.0, 0.0, 171.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 221, 222,'1',0.00000E+00, -0.10000E-01, 0.00000, 245.0, 0.0, 245.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 230, 240,'1',0.10500E-01, 0.39600E-01, 0.07000, 235.0, 0.0, 235.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 230, 250,'1',0.16600E-01, 0.62900E-01, 0.11090, 200.0, 0.0, 200.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000


```

250, 260,'1',0.11300E-01, 0.42500E-01, 0.07510, 148.0, 0.0, 148.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
1, 1, 0.00, 0, 1.0000
250, 260,'2',0.11300E-01, 0.42500E-01, 0.07510, 148.0, 0.0, 148.0, 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, 525.00, 0.00, 525.00, 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, 295.00, 0.00, 295.00, 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, 585.00, 0.00, 585.00, 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, 510.00, 0.00, 510.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
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, 169.00, 0.00, 169.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
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, 325.00, 0.00, 325.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
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, 169.00, 0.00, 169.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
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, 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
 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, 189.00, 0.00, 189.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 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
 1.00000, 0.00000, 0.00000, 228.00, 0.00, 228.00, 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, 175.00, 0.00, 175.00, 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, 372.00, 0.00, 372.00, 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, 751.00, 0.00, 751.00, 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, 228.00, 0.00, 228.00, 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, 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
 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, 290.00, 0.00, 290.00, 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, 611.00, 0.00, 611.00, 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, 626.00, 0.00, 626.00, 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, 189.00, 0.00, 189.00, 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, 193.00, 0.00, 193.00, 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, 161.00, 0.00, 161.00, 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, 245.00, 0.00, 245.00, 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, 245.00, 0.00, 245.00, 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, 245.00, 0.00, 245.00, 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, 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
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, 235.00, 0.00, 235.00, 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, 235.00, 0.00, 235.00, 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, 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
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, 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
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

D) Arquivo de Otimização Bbirds

DCTE IMPR

DEBG 1

MXIT 250

PTOL 0.001

QTOL 0.001

99999

DOBJ MXTR

DCON VGEN PGEN QGEN

RELA CONV

COMP

(

(LIMITES DE TENSAO NA BARRA

(

DVLB

(1 0.9501.050

10 0.9501.050

11 0.9501.050

20 0.9501.050

21 0.9501.050

100 0.8001.200

110 0.8001.200

111 0.8001.200

112 0.8001.200

113 0.8001.200

120 0.8001.200

121 0.8001.200

130 0.8001.200

131 0.8001.200

132 0.8001.200

133 0.8001.200

134 0.8001.200

135 0.8001.200

140 0.8001.200

150 0.8001.200

151 0.8001.200

160 0.8001.200

161 0.8001.200

170 0.8001.200

171 0.8001.200

180 0.8001.200
181 0.8001.200
182 0.8001.200
190 0.8001.200
191 0.8001.200
200 0.8001.200
210 0.8001.200
220 0.8001.200
221 0.8001.200
222 0.8001.200
223 0.8001.200
224 0.8001.200
230 0.8001.200
231 0.8001.200
232 0.8001.200
240 0.8001.200
250 0.8001.200
251 0.8001.200
260 0.8001.200
1110 0.8001.200
1130 0.8001.200
1180 0.8001.200
1220 0.8001.200
1230 0.8001.200
99999

(

(CUSTO DE GERACAO ATIVA

(

DGEP IMPR

0010 -100.0100. 000.0

0011 0.0075. -001.0

0020 0.0115. -001.0

0021 0.0158. 000.0

99999

(

(CUSTO DE GERACAO REATIVA

(

DCQG

0001 015.0

0002 015.0

0003 015.0
 99999
 (
 (--- DADOS DE CIRCUITOS CUJOS FLUXO DE POTENCIA DEVER SER OTIMIZADAS ---)
 (
 DVES
 ((De) (Pa)Nc (De) (Pa)Nc (De) (Pa)Nc (De) (Pa)Nc (De) (Pa)Nc Tot (Lmin.) (Lmax.)
 131 221 1 = -100. 300.
 190 231 1 = -100. 300.
 99999
 99999.
 .
 EXOT

RELA RGER RBAR
 FIM

E) Arquivo de rede 65 Barras

0, 100.0, 32, 0, 0, 60.00 / PSS(R)E 32
 Sistema-Teste de 65 Barras - C

18,'ITUMBIAR-4GR', 13.8000, 2, 1, 1, 1, 1.00000, 3.5563
 20,'MARIMBON-5GR', 13.8000, 2, 1, 1, 1, 1.01000, -1.2858
 48,'IBIUNA---3CS', 13.8000, 2, 1, 1, 1, 1.00000, -27.3909
 100,'MARIMBON-500', 500.0000, 1, 1, 1, 1, 1.04776, -7.4570
 101,'ARARAQUA-500', 500.0000, 1, 1, 1, 1, 1.06885, -18.9187
 102,'POCOS---500', 500.0000, 1, 1, 1, 1, 1.06851, -29.0616
 103,'CAMPINAS-500', 500.0000, 1, 1, 1, 1, 1.06281, -28.5258
 104,'C.PAULIS-500', 500.0000, 1, 1, 1, 1, 1.05350, -38.3352
 120,'P.CALDAS-345', 345.0000, 1, 1, 1, 1, 1.06077, -30.3371
 122,'IBIUNA---500', 500.0000, 1, 1, 1, 1, 1.05890, -27.3909
 123,'CAMPINAS-345', 345.0000, 1, 1, 1, 1, 1.01971, -34.1619
 210,'ITUMBIARA500', 500.0000, 1, 1, 1, 1, 1.03634, -0.8711
 213,'MARIMBON-345', 345.0000, 1, 1, 1, 1, 1.04197, -8.3848
 217,'ITUMBIARA345', 345.0000, 1, 1, 1, 1, 1.03165, -2.9639
 233,'SAMAMBAI-500', 500.0000, 1, 1, 1, 1, 1.00870, -8.6297
 234,'SAMAMBAI-345', 345.0000, 1, 1, 1, 1, 0.99163, -11.3462
 300,'EMBORCAC-3GR', 13.8000, 2, 1, 1, 1, 1.00000, 8.3493
 301,'JAGUARA--3GR', 13.8000, 2, 1, 1, 1, 1.02000, 8.3220
 302,'N.PONTE--3GR', 13.8000, 2, 1, 1, 1, 1.01000, 8.3176
 303,'S.SIMAO--3GR', 13.8000, 2, 1, 1, 1, 1.01000, 1.3207
 320,'EMBORCAC-500', 500.0000, 1, 1, 1, 1, 1.03384, 3.0786

325,'JAGUARA--500', 500.0000, 1, 1, 1, 1, 1.05286, 3.6352
326,'JAGUARA--345', 345.0000, 1, 1, 1, 1, 1.04498, 2.4315
360,'NPONTE---500', 500.0000, 1, 1, 1, 1, 1.04008, 4.6179
370,'SSIMAO---500', 500.0000, 1, 1, 1, 1, 1.04489, -0.2105
500,'A.VERMEL-4GR', 13.8000, 2, 1, 1, 1, 1.02000, 2.1468
535,'AVERMELHA500', 500.0000, 1, 1, 1, 1, 1.02921, -2.3332
536,'AVERMELH-440', 440.0000, 1, 1, 1, 1, 1.00320, -7.8576
800,'GBMUNHOZ-3GR', 13.8000, 3, 2, 1, 1, 1.03000, 0.0000
808,'SCAXIAS--4GR', 13.8000, 2, 2, 1, 1, 1.03000, 13.7961
810,'SSEGREDO-4GR', 13.8000, 2, 2, 1, 1, 1.03000, 6.5710
814,'BATEIAS--230', 230.0000, 1, 2, 1, 1, 1.00000, -24.7859
824,'GBMUNHOZ-500', 500.0000, 1, 2, 1, 1, 1.06040, -6.3255
834,'S.MATEUS-230', 230.0000, 1, 2, 1, 1, 0.99566, -16.9164
839,'CASCAVEL-230', 230.0000, 1, 2, 1, 1, 1.00101, 4.2201
840,'CASCAVEL-138', 138.0000, 1, 2, 1, 1, 0.86574, 0.3598
848,'FCHOPIM--138', 138.0000, 1, 2, 1, 1, 1.01567, 5.0641
856,'SEGREDO--500', 500.0000, 1, 2, 1, 1, 1.05304, -0.1000
895,'BATEIAS--500', 500.0000, 1, 2, 1, 1, 1.06473, -22.6281
896,'CASCAVELO500', 500.0000, 1, 2, 1, 1, 1.04808, 6.2298
897,'SCAXIAS--500', 500.0000, 1, 2, 1, 1, 1.05618, 7.4569
898,'FCHOPIM--230', 230.0000, 1, 2, 1, 1, 1.02863, 8.3445
904,'ITA-----3GR', 13.8000, 2, 2, 1, 1, 1.04000, -3.1779
915,'MACHADIN-2GR', 13.8000, 2, 2, 1, 1, 1.03000, -3.6330
919,'SOSOR1A4-4GR', 13.8000, 2, 2, 1, 1, 1.03000, 15.8436
925,'SSANTIAG-3GR', 13.8000, 2, 2, 1, 1, 1.03000, 10.2746
933,'AREIA----500', 500.0000, 1, 2, 1, 1, 1.06047, -6.6620
934,'AREIA----230', 230.0000, 1, 2, 1, 1, 1.00000, -6.7911
938,'BLUMENAU-500', 500.0000, 1, 2, 1, 1, 1.07102, -25.0584
939,'BLUMENAU-230', 230.0000, 1, 2, 1, 1, 1.00000, -27.3356
955,'CNOVOS---500', 500.0000, 1, 2, 1, 1, 1.08572, -12.6713
959,'CURITIBA-500', 500.0000, 1, 2, 1, 1, 1.05692, -22.5470
960,'CURITIBA-230', 230.0000, 1, 2, 1, 1, 1.00000, -24.9849
964,'CAXIAS---500', 500.0000, 1, 2, 1, 1, 1.07250, -19.5954
965,'CAXIAS---230', 230.0000, 1, 2, 1, 1, 1.00000, -21.9030
976,'GRAVATAI-500', 500.0000, 1, 2, 1, 1, 1.04960, -22.0994
995,'ITA-----500', 500.0000, 1, 2, 1, 1, 1.07800, -8.7040
1015,'JOINVILLE230', 230.0000, 1, 2, 1, 1, 1.00221, -27.2318
1030,'MACHADIN-500', 500.0000, 1, 2, 1, 1, 1.07764, -10.0436
1047,'SOSORIO--230', 230.0000, 1, 2, 1, 1, 1.03545, 9.2880
1060,'SSANTIAG-500', 500.0000, 1, 2, 1, 1, 1.06120, 2.5264
1210,'GRAVATAI-230', 230.0000, 1, 2, 1, 1, 1.00000, -24.6537
1503,'ITAJUBA--500', 500.0000, 1, 1, 1, 1, 1.05917, -35.8631

1504,ITAJUBA--138',138.0000,1,1,1,1,1.05560,-38.7439
 2458,CASCADEL-230',230.0000,1,2,1,1,1.00000,4.0047

0 / END OF BUS DATA, BEGIN LOAD DATA

104,'1',1,1,1,1200.000,150.000,0.000,0.000,0.000,0.000,1,1
 120,'1',1,1,1,105.000,33.000,0.000,0.000,0.000,0.000,1,1
 122,'1',1,1,1,200.000,38.000,0.000,0.000,0.000,0.000,1,1
 123,'1',1,1,1,440.000,160.000,0.000,0.000,0.000,0.000,1,1
 213,'1',1,1,1,75.000,25.000,0.000,0.000,0.000,0.000,1,1
 217,'1',1,1,1,454.000,48.000,0.000,0.000,0.000,0.000,1,1
 234,'1',1,1,1,900.000,300.000,0.000,0.000,0.000,0.000,1,1
 326,'1',1,1,1,214.000,74.000,0.000,0.000,0.000,0.000,1,1
 536,'1',1,1,1,700.000,150.000,0.000,0.000,0.000,0.000,1,1
 814,'1',1,2,1,735.400,191.000,0.000,0.000,0.000,0.000,1,1
 834,'1',1,2,1,13.400,4.200,0.000,0.000,0.000,0.000,1,1
 840,'1',1,2,1,159.000,36.000,0.000,0.000,0.000,0.000,1,1
 848,'1',1,2,1,94.000,18.000,0.000,0.000,0.000,0.000,1,1
 934,'1',1,2,1,237.000,59.000,0.000,0.000,0.000,0.000,1,1
 939,'1',1,2,1,1149.000,53.060,0.000,0.000,0.000,0.000,1,1
 960,'1',1,2,1,844.700,469.100,0.000,0.000,0.000,0.000,1,1
 965,'1',1,2,1,755.600,56.240,0.000,0.000,0.000,0.000,1,1
 1015,'1',1,2,1,70.000,2.000,0.000,0.000,0.000,0.000,1,1
 1210,'1',1,2,1,1228.000,425.000,0.000,0.000,0.000,0.000,1,1
 1504,'1',1,1,1,110.000,43.000,0.000,0.000,0.000,0.000,1,1
 2458,'1',1,2,1,403.000,126.000,0.000,0.000,0.000,0.000,1,1

0 / END OF LOAD DATA, BEGIN FIXED SHUNT DATA

959,'1',1,0.000,100.000

0 / END OF FIXED SHUNT DATA, BEGIN GENERATOR DATA

18,'1',200.000,-83.122,100.000,-91.000,1.0000,0,365.000,0.0000,0.1000,0.0000,0.0000,
 1.0000,1,100.0,380.000,200.000,1,1.000,0,0.000,0,0.000,0,0.000,0,0.000
 18,'2',200.000,-83.122,100.000,-91.000,1.0000,0,365.000,0.0000,0.1000,0.0000,0.0000,
 1.0000,1,100.0,380.000,200.000,1,1.000,0,0.000,0,0.000,0,0.000,0,0.000
 18,'3',200.000,-83.122,100.000,-91.000,1.0000,0,365.000,0.0000,0.1000,0.0000,0.0000,
 1.0000,1,100.0,380.000,200.000,1,1.000,0,0.000,0,0.000,0,0.000,0,0.000
 18,'4',200.000,-83.122,100.000,-91.000,1.0000,0,365.000,0.0000,0.1000,0.0000,0.0000,
 1.0000,1,100.0,380.000,200.000,1,1.000,0,0.000,0,0.000,0,0.000,0,0.000
 18,'5',0.000,0.000,100.000,-91.000,1.0000,0,365.000,0.0000,0.1000,0.0000,0.0000,
 1.0000,0,100.0,380.000,200.000,1,1.000,0,0.000,0,0.000,0,0.000,0,0.000
 18,'6',0.000,0.000,100.000,-91.000,1.0000,0,365.000,0.0000,0.1000,0.0000,0.0000,
 1.0000,0,100.0,380.000,200.000,1,1.000,0,0.000,0,0.000,0,0.000,0,0.000
 20,'1',180.000,-50.639,80.000,-80.000,1.0100,0,190.000,0.0000,0.1000,0.0000,0.0000,
 1.0000,1,100.0,186.000,110.000,1,1.000,0,0.000,0,0.000,0,0.000,0,0.000

810,'1'	300.000	-39.027	133.000	-100.000	1.0300	0	333.000	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000			
1.0000	1	100.0	315.000	180.000	1	1.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
810,'2'	300.000	-39.027	133.000	-100.000	1.0300	0	333.000	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000			
1.0000	1	100.0	315.000	180.000	1	1.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
810,'3'	300.000	-39.027	133.000	-100.000	1.0300	0	333.000	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000			
1.0000	1	100.0	315.000	180.000	1	1.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
810,'4'	300.000	-39.027	133.000	-100.000	1.0300	0	333.000	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000			
1.0000	1	100.0	315.000	180.000	1	1.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
904,'1'	233.333	-76.225	95.000	-95.000	1.0400	0	305.000	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000			
1.0000	1	100.0	290.000	170.000	1	1.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
904,'2'	233.333	-76.225	95.000	-95.000	1.0400	0	305.000	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000			
1.0000	1	100.0	290.000	170.000	1	1.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
904,'3'	233.333	-76.225	95.000	-95.000	1.0400	0	305.000	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000			
1.0000	1	100.0	290.000	170.000	1	1.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
904,'4'	0.000	0.000	95.000	-95.000	1.0400	0	305.000	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000			
1.0000	0	100.0	290.000	170.000	1	1.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
904,'5'	0.000	0.000	95.000	-95.000	1.0400	0	305.000	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000			
1.0000	0	100.0	290.000	170.000	1	1.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
915,'1'	300.000	-101.989	155.000	-172.000	1.0300	0	418.500	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000			
1.0000	1	100.0	380.000	260.000	1	1.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
915,'2'	300.000	-101.989	155.000	-172.000	1.0300	0	418.500	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000			
1.0000	1	100.0	380.000	260.000	1	1.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
915,'3'	0.000	0.000	155.000	-172.000	1.0300	0	418.500	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000			
1.0000	0	100.0	380.000	260.000	1	1.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
919,'1'	175.000	37.465	55.000	-37.000	1.0300	0	200.000	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000			
1.0000	1	100.0	182.000	120.000	1	1.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
919,'2'	175.000	37.465	55.000	-37.000	1.0300	0	200.000	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000			
1.0000	1	100.0	182.000	120.000	1	1.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
919,'3'	175.000	37.465	55.000	-37.000	1.0300	0	200.000	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000			
1.0000	1	100.0	182.000	120.000	1	1.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
919,'4'	175.000	37.465	55.000	-37.000	1.0300	0	200.000	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000			
1.0000	1	100.0	182.000	120.000	1	1.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
925,'1'	316.667	4.731	105.000	-110.000	1.0300	0	369.800	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000			
1.0000	1	100.0	355.000	220.000	1	1.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
925,'2'	316.667	4.731	105.000	-110.000	1.0300	0	369.800	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000			
1.0000	1	100.0	355.000	220.000	1	1.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
925,'3'	316.667	4.731	105.000	-110.000	1.0300	0	369.800	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000			
1.0000	1	100.0	355.000	220.000	1	1.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
925,'4'	0.000	0.000	105.000	-110.000	1.0300	0	369.800	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000			
1.0000	0	100.0	355.000	220.000	1	1.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000

0 / END OF GENERATOR DATA, BEGIN BRANCH DATA

100, 101,'1 ', 0.17200E-02, 0.27200E-01, 2.31400, 1665.0, 2460.0, 1665.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 100, 101,'2 ', 0.17100E-02, 0.27000E-01, 2.30200, 1665.0, 2460.0, 1665.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 100, 210,'1 ', 0.20900E-02, 0.29350E-01, 2.54600, 1732.0, 1732.0, 1732.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 100, 535,'1 ', 0.15300E-02, 0.24000E-01, 2.03800, 1665.0, 1665.0, 1665.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 101, 102,'1 ', 0.15600E-02, 0.24600E-01, 2.08500, 1665.0, 1665.0, 1665.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 101, 103,'1 ', 0.15200E-02, 0.23900E-01, 2.02600, 1665.0, 1665.0, 1665.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 102, 1503,'1 ', 0.11000E-02, 0.19100E-01, 1.61850, 1665.0, 1665.0, 1665.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 104, 103,'1 ', 0.19600E-02, 0.31000E-01, 2.64900, 1665.0, 1665.0, 1665.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 104, 1503,'1 ', 0.50000E-03, 0.82000E-02, 0.69360, 1665.0, 1665.0, 1665.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 122, 103,'1 ', 0.10500E-02, 0.16190E-01, 1.36350, 1665.0, 1665.0, 1665.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 122, 103,'2 ', 0.10500E-02, 0.16190E-01, 1.36350, 1665.0, 1665.0, 1665.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 210, 370,'1 ', 0.14700E-02, 0.23200E-01, 1.96600, 1665.0, 1665.0, 1665.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 233, 210,'1 ', 0.28000E-02, 0.39900E-01, 3.55360, 2598.0, 2598.0, 2598.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 233, 320,'1 ', 0.27000E-02, 0.38700E-01, 3.44030, 2598.0, 2598.0, 2598.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 320, 210,'1 ', 0.12500E-02, 0.19370E-01, 1.49960, 1948.0, 1948.0, 1948.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 320, 360,'1 ', 0.82000E-03, 0.12560E-01, 0.98990, 2078.0, 2078.0, 2078.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 325, 360,'1 ', 0.10000E-02, 0.15190E-01, 1.19670, 2251.0, 2251.0, 2251.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 325, 370,'1 ', 0.28000E-02, 0.48400E-01, 4.19500, 2205.0, 2205.0, 2205.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 370, 535,'1 ', 0.93100E-03, 0.13758E-01, 1.12300, 2205.0, 2205.0, 2205.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 824, 933,'1 ', 0.10000E-03, 0.12400E-02, 0.15204, 2182.0, 2182.0, 2182.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 824, 933,'2 ', 0.10000E-03, 0.12600E-02, 0.15428, 2182.0, 2182.0, 2182.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000

834, 934,'1',0.24440E-01, 0.12652E+00, 0.21706, 359.0, 359.0, 359.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 839, 898,'1',0.11300E-01, 0.69900E-01, 0.12617, 189.0, 318.0, 189.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 839, 1047,'1',0.12200E-01, 0.76900E-01, 0.13810, 189.0, 323.0, 189.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 839, 2458,'1',0.22000E-02, 0.10900E-01, 0.01860, 319.0, 413.0, 319.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 839, 2458,'2',0.17000E-02, 0.10300E-01, 0.02054, 356.0, 356.0, 356.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 856, 933,'1',0.52000E-03, 0.65400E-02, 0.80493, 2273.0, 2273.0, 2273.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 856, 1060,'1',0.56000E-03, 0.69700E-02, 0.85746, 2182.0, 2182.0, 2182.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 895, 122,'1',0.30800E-02, 0.39580E-01, 4.44840, 1299.0, 2252.0, 1299.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 895, 122,'2',0.30800E-02, 0.39580E-01, 4.44840, 1299.0, 2252.0, 1299.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 896, 897,'1',0.50000E-03, 0.73000E-02, 0.78060, 1637.0, 1637.0, 1637.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 898, 1047,'1',0.15000E-02, 0.89000E-02, 0.01632, 324.0, 324.0, 324.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 933, 895,'1',0.20000E-02, 0.25500E-01, 3.12720, 2110.0, 2110.0, 2110.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 933, 955,'1',0.16200E-02, 0.20480E-01, 2.50170, 2110.0, 2110.0, 2110.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 933, 959,'1',0.20000E-02, 0.26900E-01, 3.36400, 2182.0, 2182.0, 2182.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 934, 1047,'1',0.30450E-01, 0.15738E+00, 0.27123, 319.0, 319.0, 319.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 934, 1047,'2',0.30410E-01, 0.15718E+00, 0.27089, 319.0, 319.0, 319.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 938, 955,'1',0.25560E-02, 0.29224E-01, 3.60400, 2037.0, 2037.0, 2037.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 938, 959,'1',0.12700E-02, 0.16030E-01, 1.95890, 1266.0, 1266.0, 1266.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 939, 1015,'1',0.12710E-01, 0.65620E-01, 0.11305, 306.0, 319.0, 306.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 939, 1015,'2',0.12830E-01, 0.65640E-01, 0.11522, 306.0, 319.0, 306.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 955, 964,'1',0.18770E-02, 0.23467E-01, 2.87240, 1688.0, 1688.0, 1688.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000

959, 895,'1',0.50000E-03, 0.44000E-02, 0.47580, 2110.0, 2110.0, 2110.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 960, 834,'1',0.22100E-01, 0.11475E+00, 0.19687, 319.0, 319.0, 319.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 960, 1015,'1',0.18920E-01, 0.97760E-01, 0.16845, 319.0, 319.0, 319.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 960, 1015,'2',0.18950E-01, 0.97040E-01, 0.17029, 319.0, 319.0, 319.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 964, 976,'1',0.73300E-03, 0.91640E-02, 1.12170, 1688.0, 1688.0, 1688.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 976, 995,'1',0.28200E-02, 0.38520E-01, 4.93700, 1688.0, 1688.0, 1688.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 995, 964,'1',0.16430E-02, 0.30339E-01, 3.54880, 2182.0, 2182.0, 2182.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 995, 1030,'1',0.73000E-03, 0.92000E-02, 1.12260, 2182.0, 2182.0, 2182.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 995, 1060,'1',0.17200E-02, 0.21700E-01, 2.65160, 2110.0, 2110.0, 2110.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 1030, 955,'1',0.47000E-03, 0.59000E-02, 0.71818, 2182.0, 2182.0, 2182.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 1060, 897,'1',0.76000E-03, 0.11710E-01, 1.24580, 2370.0, 2681.0, 2370.0, 0.00000, 0.00000, 0.00000,
 0.00000, 1, 1, 0.00, 0, 1.0000
 0 / END OF BRANCH DATA, BEGIN TRANSFORMER DATA
 100, 20, 0,'1',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.12640E-01, 100.000
 1.00000, 0.00000, 0.00000, 1520.00, 1520.00, 1520.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 100, 213, 0,'1',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.23570E-01, 100.000
 1.00000, 0.00000, 0.00000, 560.00, 560.00, 560.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 102, 120, 0,'1',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.24030E-01, 100.000
 1.00000, 0.00000, 0.00000, 560.00, 560.00, 560.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 103, 123, 0,'1',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.24190E-01, 100.000
 1.00000, 0.00000, 0.00000, 560.00, 560.00, 560.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000

1.00000, 0.00000
 122, 48, 0,'1',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.95300E-02, 100.000
 1.00000, 0.00000, 0.00000, 1050.00, 1050.00, 1050.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 210, 18, 0,'1',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.10000E-01, 100.000
 1.00000, 0.00000, 0.00000, 2400.00, 2400.00, 2400.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 210, 217, 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, 560.00, 560.00, 560.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 210, 217, 0,'2',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, 560.00, 560.00, 560.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 234, 233, 0,'1',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.11130E-01, 100.000
 1.00000, 0.00000, 0.00000, 1050.00, 1050.00, 1050.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 234, 233, 0,'2',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.10000E-01, 100.000
 1.00000, 0.00000, 0.00000, 1050.00, 1050.00, 1050.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 320, 300, 0,'1',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.13567E-01, 100.000
 1.00000, 0.00000, 0.00000, 1200.00, 1200.00, 1200.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 325, 301, 0,'1',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.35100E-01, 100.000
 1.00000, 0.00000, 0.00000, 500.00, 500.00, 500.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 325, 326, 0,'1',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000

0.00000E+00, 0.21600E-01, 100.000
 1.00000, 0.00000, 0.00000, 400.00, 483.00, 400.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 325, 326, 0, '2', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.21600E-01, 100.000
 1.00000, 0.00000, 0.00000, 400.00, 483.00, 400.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 360, 302, 0, '1', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.19367E-01, 100.000
 1.00000, 0.00000, 0.00000, 537.00, 537.00, 537.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 370, 303, 0, '1', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.14100E-01, 100.000
 1.00000, 0.00000, 0.00000, 1740.00, 1740.00, 1740.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 535, 500, 0, '1', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.10250E-01, 100.000
 1.00000, 0.00000, 0.00000, 1500.00, 1500.00, 1500.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 536, 535, 0, '1', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.14200E-01, 100.000
 1.00000, 0.00000, 0.00000, 750.00, 900.00, 750.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 814, 895, 0, '1', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
 0.32000E-03, 0.11460E-01, 100.000
 0.95020, 0.00000, 0.00000, 600.00, 600.00, 600.00, 1, 814, 1.10000, 0.90000, 1.00000, 1.00000,
 19, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 814, 895, 0, '2', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
 0.30000E-03, 0.11651E-01, 100.000
 0.95020, 0.00000, 0.00000, 600.00, 600.00, 600.00, 1, 814, 1.10000, 0.90000, 1.00000, 1.00000,
 19, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 824, 800, 0, '1', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.11200E-01, 100.000

1.02400, 0.00000, 0.00000, 1676.00, 1676.00, 1676.00, 0, 0, 1.02400, 1.02400, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 839, 840, 0,'1',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.66400E-01, 100.000
 1.13600, 0.00000, 0.00000, 150.00, 150.00, 150.00, 1, 839, 1.13600, 0.88100, 0.99900, 0.99900,
 16, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 839, 840, 0,'2',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.62900E-01, 100.000
 1.13600, 0.00000, 0.00000, 150.00, 150.00, 150.00, 1, 839, 1.13600, 0.88100, 0.99900, 0.99900,
 16, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 856, 810, 0,'1',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.10500E-01, 100.000
 1.00000, 0.00000, 0.00000, 1260.00, 1260.00, 1260.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 897, 808, 0,'1',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.10200E-01, 100.000
 1.02400, 0.00000, 0.00000, 1344.00, 1478.00, 1344.00, 0, 0, 1.02400, 1.02400, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 898, 848, 0,'1',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.63600E-01, 100.000
 1.00000, 0.00000, 0.00000, 150.00, 150.00, 150.00, 1, 898, 1.13600, 0.88100, 1.02800, 1.02800,
 16, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 934, 933, 0,'1',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.31000E-03, 0.12070E-01, 100.000
 0.95177, 0.00000, 0.00000, 672.00, 806.00, 672.00, 1, 934, 1.10000, 0.90000, 1.00000, 1.00000,
 19, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 939, 938, 0,'1',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.31000E-03, 0.11500E-01, 100.000
 0.93631, 0.00000, 0.00000, 672.00, 806.00, 672.00, 1, 939, 1.10000, 0.90000, 1.00000, 1.00000,
 19, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 939, 938, 0,'2',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.32000E-03, 0.11630E-01, 100.000
 0.93631, 0.00000, 0.00000, 672.00, 806.00, 672.00, 1, 939, 1.10000, 0.90000, 1.00000, 1.00000,
 19, 0, 0.00000, 0.00000

1.00000, 0.00000
 939, 938, 0, '3', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.12770E-01, 100.000
 0.93631, 0.00000, 0.00000, 672.00, 672.00, 672.00, 1, 939, 1.10000, 0.90000, 1.00000, 1.00000,
 19, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 960, 959, 0, '1', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
 0.32000E-03, 0.11630E-01, 100.000
 0.97205, 0.00000, 0.00000, 672.00, 806.00, 672.00, 1, 960, 1.10000, 0.90000, 1.00000, 1.00000,
 19, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 960, 959, 0, '2', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
 0.31000E-03, 0.11660E-01, 100.000
 0.97205, 0.00000, 0.00000, 672.00, 806.00, 672.00, 1, 960, 1.10000, 0.90000, 1.00000, 1.00000,
 19, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 965, 964, 0, '1', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
 0.20000E-03, 0.12110E-01, 100.000
 0.93658, 0.00000, 0.00000, 672.00, 806.00, 672.00, 1, 965, 1.10000, 0.90000, 1.00000, 1.00000,
 19, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 965, 964, 0, '2', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
 0.20000E-03, 0.12330E-01, 100.000
 0.93658, 0.00000, 0.00000, 672.00, 806.00, 672.00, 1, 965, 1.10000, 0.90000, 1.00000, 1.00000,
 19, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 995, 904, 0, '1', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
 0.12330E-03, 0.15383E-01, 100.000
 1.00000, 0.00000, 0.00000, 1625.00, 1625.00, 1625.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 1030, 915, 0, '1', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.20655E-01, 100.000
 1.00000, 0.00000, 0.00000, 1254.00, 1254.00, 1254.00, 0, 0, 1.00000, 1.00000, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 1047, 919, 0, '1', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000
 0.24250E-03, 0.17022E-01, 100.000
 1.02500, 0.00000, 0.00000, 788.00, 788.00, 788.00, 0, 0, 1.02500, 1.02500, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 1060, 925, 0, '1', 1, 1, 1, 0.000, 0.000, 1, ' ', 1, 0, 1.00000

0.11330E-03, 0.15150E-01, 100.000
 1.02400, 0.00000, 0.00000, 1402.00, 1402.00, 1402.00, 0, 0, 1.02400, 1.02400, 0.00000, 0.00000,
 33, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 1210, 976, 0,1',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.30000E-03, 0.12190E-01, 100.000
 0.97012, 0.00000, 0.00000, 672.00, 806.00, 672.00, 1, 1210, 1.10000, 0.90000, 1.00000, 1.00000,
 19, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 1210, 976, 0,2',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.39000E-03, 0.11380E-01, 100.000
 0.97012, 0.00000, 0.00000, 672.00, 806.00, 672.00, 1, 1210, 1.10000, 0.90000, 1.00000, 1.00000,
 19, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 1210, 976, 0,3',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.36000E-03, 0.12170E-01, 100.000
 0.97012, 0.00000, 0.00000, 672.00, 806.00, 672.00, 1, 1210, 1.10000, 0.90000, 1.00000, 1.00000,
 19, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 1503, 1504, 0,1',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.52000E-01, 100.000
 0.98240, 0.00000, 0.00000, 300.00, 300.00, 300.00, 1, 1503, 1.10000, 0.95000, 1.05900, 1.05900,
 13, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 2458, 896, 0,1',1,1,1, 0.000, 0.000,1,' ',1, 0, 1.00000
 0.00000E+00, 0.12700E-01, 100.000
 0.96829, 0.00000, 0.00000, 600.00, 600.00, 600.00, 1, 2458, 1.10000, 0.90000, 1.00000, 1.00000,
 19, 0, 0.00000, 0.00000
 1.00000, 0.00000
 0 / END OF TRANSFORMER DATA, BEGIN AREA DATA
 1, 0, 0.000, 10.000, 'AREA UM '
 2, 0, 0.000, 10.000, 'AREA DOIS '
 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

Q / END OF DATA

F) Arquivo ode Otimização 65 Barras

DCTE IMPR

DEBG 1

MXIT 200

PTOL 0.001

QTOL 0.001

99999

DOBJ MXTR

DCON VGEN PGEN QGEN

RELA CONV

COMP

(

(LIMITES DE TENSAO NA BARRA

(

DVLB

(1 0.9501.050

18 0.9501.050

20 0.9501.050

48 0.9501.050

300 0.9501.050

301 0.9501.050

302 0.9501.050

303 0.9501.050

500 0.9501.050

800 0.9501.050

808 0.9501.050

810 0.9501.050

904 0.9501.050

915 0.9501.050

919 0.9501.050

919 0.9501.050

100 0.8001.200

101 0.8001.200

102 0.8001.200

103 0.8001.200

104 0.8001.200

120 0.8001.200

122 0.8001.200

123 0.8001.200

210	0.8001.200
213	0.8001.200
217	0.8001.200
233	0.8001.200
234	0.8001.200
320	0.8001.200
325	0.8001.200
326	0.8001.200
360	0.8001.200
370	0.8001.200
500	0.8001.200
535	0.8001.200
536	0.8001.200
814	0.8001.200
824	0.8001.200
834	0.8001.200
839	0.8001.200
840	0.8001.200
848	0.8001.200
856	0.8001.200
895	0.8001.200
896	0.8001.200
897	0.8001.200
898	0.8001.200
933	0.8001.200
934	0.8001.200
938	0.8001.200
939	0.8001.200
955	0.8001.200
959	0.8001.200
960	0.8001.200
964	0.8001.200
965	0.8001.200
976	0.8001.200
995	0.8001.200
1015	0.8001.200
1030	0.8001.200
1047	0.8001.200
1060	0.8001.200
1210	0.8001.200
1503	0.8001.200
1504	0.8001.200

2458 0.8001.200
99999

(
(CUSTO DE GERACAO ATIVA

(
DGEPR IMPR

0018	-100.0380.	000.0
0020	-10.0186.	001.0
0048	-10.0015.	001.0
0300	-10.0300.	000.0
0301	-10.0100.	000.0
0302	-10.0170.	001.0
0303	-10.0285.	001.0
0500	-10.0233.	000.0
0800	-10.0418.	000.0
0808	-10.0310.	001.0
0810	-10.0315.	001.0
0904	-10.0290.	000.0
0915	-10.0380.	001.0
0919	-10.0182.	001.0
0925	-10.0358.	000.0

99999

(
(CUSTO DE GERACAO REATIVA

(
DCQG

0001	015.0
0002	015.0
0003	015.0

99999

(
(--- DADOS DE CIRCUITOS CUJOS FLUXO DE POTENCIA DEVER SER OTIMIZADAS ---)

(
DVES

((De)	(Pa)	Nc	(De)	(Pa)	Nc	(De)	(Pa)	Nc	(De)	(Pa)	Nc	(De)	(Pa)	Nc	Tot	(Lmin.)	(Lmax.)
	122	895	1														=	-100. 750.
	122	895	2														=	-100. 750.

99999

EXOT

RELATIVES
FIM