CRISTIANE LIONÇO ZEFERINO

**Avaliação e Controle da Margem de
Carregamento em Sistemas Elétricos de
Potência**

São Carlos

2011

CRISTIANE LIONÇO ZEFERINO

Avaliação e Controle da Margem de Carregamento em Sistemas Elétricos de Potência

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutora em Ciências, do Programa de Engenharia Elétrica¹.

Área de Concentração: Sistemas Elétricos de Potência

Orientador: Prof. Dr. Geraldo R. M. da Costa

São Carlos

2011

¹ Trata-se da versão corrigida da tese. A versão original se encontra disponível na EESC/USP que aloja o Programa de Pós-Graduação de Engenharia Elétrica.

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES
TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO,
PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Z43a	<p>Zeferino, Cristiane Lionço Avaliação e controle da margem de carregamento em sistemas elétricos de potência / Cristiane Lionço Zeferino ; orientador Geraldo R. M. da Costa. -- São Carlos, 2011.</p>
	<p>Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Área de Concentração em Sistemas Elétricos de Potência) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.</p>
	<p>1. Programação não linear. 2. Análise de sensibilidade. 3. Colapso de tensão. 4. Problema de máximo carregamento. 5. Método da função lagrangiana barreira modificada. I. Título.</p>

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): Engenheiro **CRISTIANE LIONÇO ZEFERINO**.

Tese defendida e julgada em 28/03/2011 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Titular **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA** – (Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) aprovado

Dr^a. **VANUSA ALVES DE SOUSA**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar) aprovada

Prof. Dr. **EDMARCIO ANTONIO BELATI**
(Universidade Federal do ABC/UFABC) APROVADO

Prof. Titular **VIVALDO FERNANDO DA COSTA**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP) aprovada

Prof. Dr. **ANTONIO ROBERTO BALBO**
(Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”/UNESP/campus de Bauru) APROVADA

Prof. Titular **DENIS VINÍCIUS COURY**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica

Prof. Associado **PAULO CÉSAR LIMA SEGANTINE**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

Dedico este trabalho a minha família, pela
dedicação e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Geraldo R. M. da Costa por todo apoio e orientação no desenvolvimento deste trabalho.

À Dra. Vanusa Alves de Sousa por sua co-orientação.

Ao Prof. Dr. Edmárcio Belati pelas sugestões e pelos ensinamentos na abordagem de Análise de Sensibilidade.

Ao meu noivo Alexandre Ataíde da Silva pelo carinho e compreensão.

Ao amigo Guilherme Guimarães Lage pelo apoio.

As minhas amigas Aline Juliane e Scheila V. Biehl também pelo apoio.

À Profa. Angela C. P. Giampetro por revisar os textos na língua inglesa.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica, da EESC/USP/São Carlos, pela constante colaboração.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela concessão da bolsa de doutorado e pelo apoio financeiro disponibilizado para a realização desta pesquisa.

RESUMO

ZEFERINO, L.C. Avaliação e controle da margem de carregamento em sistemas elétricos de potência. 2011. 161f. Tese – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

Neste trabalho é proposta a determinação do ponto de Máximo Carregamento (PMC) em sistemas elétricos de potência por meio do método da Função Lagrangiana Barreira Modificada (FLBM), uma variante do método de Pontos Interiores (PI). Também por meio do método da FLBM, busca-se determinar qual é a barra, para cada sistema, que apresenta a maior sensibilidade em relação ao fator de carregamento, ou seja, qual seria a primeira barra que deveria sofrer corte de carga a fim de aumentar a margem de carregamento do sistema e, assim, evitar o colapso de tensão. Para comprovação dos resultados obtidos por meio do método da FLBM utiliza-se a técnica de Análise de Sensibilidade (AS). A formulação do problema tem como restrições de igualdade as equações de balanço de potência do sistema elétrico e como restrições de desigualdade os limites de tensões nas barras, assim como os limites de geração de potência reativa nas barras com controle da referida potência. Estudos de casos foram realizados em um sistema de 3 barras e nos sistemas IEEE 14, 57, 118 e 300 barras; tais estudos demonstraram a robustez e a eficiência dos algoritmos propostos.

Palavras-chave: Análise de Sensibilidade, Colapso de Tensão, Problema de Máximo Carregamento, Método da Função Lagrangiana Barreira Modificada.

ABSTRACT

ZEFERINO, L.C. Evaluation and control of loading margin in electric power systems. 2011. 161p. Thesis – São Carlos School of Engineering, São Paulo University, São Carlos, 2011.

This work proposes the determination of the Maximum Loading Point (MLP) in electric power systems via Lagrangian Modified Barrier Function (LMBF) method, a variant of Interior Point (IP). The LMBF method is also used to determine which bus, for each system, has the highest sensitivity of load factor, i.e., which bus would be the first to have load shedding in order to increase the loading margin system and thus prevent voltage collapse. To validate this approach, the Sensitivity Analysis (SA) technique was used for the confirmation of the results obtained by the LMBF method. The formulation of the problem considered the equations of power balance of the electrical system equality constraints, and the buses voltage magnitude limits, as well as the limits of reactive power control at the buses of that power inequality constraints. Case studies were conducted in a system of 3 buses and IEEE systems 14, 57, 118 and 300 buses, demonstrating the robustness and efficiency of the proposed algorithms.

Keywords: Sensitivity Analysis, Voltage Collapse, Maximum Loading Problem, Modified Barrier Lagrangian Function Method.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Margem de carregamento.....	34
Figura 2 - Fluxograma do método da Função Lagrangiana Barreira Modificada, aplicada ao problema de Máximo Carregamento	50
Figura 3- Fluxograma da técnica de Análise de Sensibilidade.....	57
Figura 4 – Solução ótima do problema, $\epsilon=0$	61
Figura 5 – Solução do problema para $\epsilon=0,01$	63
Figura 6 – Solução do problema para $\epsilon=0,05$	64
Figura 7 – Solução do problema para $\epsilon=0,1$	65
Figura 8 – Solução do problema para $\epsilon=0,2$	66
Figura 9 – Solução do problema para $\epsilon=0,5$	67
Figura 10 – Sistema elétrico de potência de 3 barras	69
Figura 11 – Erro nas equações de balanço	81
Figura 12 – Sistema IEEE 14 barras.....	82
Figura 13 – Sistema IEEE 57 barras.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Legenda de símbolos da Figura 4	60
Tabela 2 - Solução ótima do problema, $\epsilon=0$	61
Tabela 3 – Solução pós-perturbação, $\epsilon=0,01$	63
Tabela 4– Solução pós-perturbação, $\epsilon=0,05$	64
Tabela 5 – Solução pós-perturbação, $\epsilon=0,1$	65
Tabela 6 – Solução pós-perturbação, $\epsilon=0,2$	66
Tabela 7 – Solução pós-perturbação, $\epsilon=0,5$	67
Tabela 8 – Dados do estado inicial do sistema de energia de 3 barras.....	70
Tabela 9 – Limites de tensão e de geração de potência reativa.....	70
Tabela 10 – Solução para o sistema de 3 barras.....	73
Tabela 11 – Multiplicadores de Lagrange de igualdade.....	74
Tabela 12– Multiplicadores de Lagrange de desigualdade	74
Tabela 13 – Valores das perturbações	79
Tabela 14– Pontos de operação para diferentes percentuais de perturbação	80
Tabela 15 – Solução ótima do sistema de 14 barras ($\epsilon=0$) usada pela AS	83
Tabela 16 – Geração de potência reativa do sistema IEEE 14 barras	83
Tabela 17 – Corte de carga na barra 9 do sistema IEEE 14 barras ($\epsilon=1\%$)	84
Tabela 18 – Corte de carga na barra 14 do sistema IEEE 14 barras ($\epsilon=1\%$)	85
Tabela 19 – Solução ótima do sistema IEEE 57 barras ($\epsilon=0$) usada pela AS	88
Tabela 20 – Geração de reativos do sistema IEEE 57 barras	90
Tabela 21 – Corte de carga na barra 12 do sistema IEEE 57 barras ($\epsilon=1\%$) usada pela AS	91
Tabela 22 – Corte de carga na barra 31 do sistema IEEE 57 barras ($\epsilon=1\%$) usada pela AS	93
Tabela 23 – Solução ótima do sistema de 118 barras ($\epsilon=0$) obtida por meio do método da FLBM	128
Tabela 24 – Geração de reativos do sistema de 118 barras ($\epsilon=0$) obtida por meio do método da FLBM	133

Tabela 25 – Solução ótima do sistema de 300 barras ($\epsilon=0$) obtida por meio do método da FLBM	135
Tabela 26 – Geração de reativos do sistema de 300 barras ($\epsilon=0$) obtida por meio do método da FLBM	145
Tabela 27 – Solução perturbada do sistema de 118 barras ($\epsilon=1\%$ na barra 11) obtida por meio da técnica de AS	148
Tabela 28 – Solução perturbada do sistema de 118 barras ($\epsilon=1\%$ na barra crítica 76) obtida por meio da técnica de AS	151
Tabela 29 – Solução perturbada do sistema de 300 barras ($\epsilon=1\%$ na barra crítica 526) obtida por meio da técnica de AS	154

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
2 HISTÓRICO	24
3 MÁXIMO CARREGAMENTO	32
3.1 CONCEITOS BÁSICOS	32
3.1.1 Instabilidade de tensão	32
3.1.2 Contingência.....	33
3.1.3 Margem de Carregamento	33
3.1.4 Fenômeno Físico do Colapso de Tensão	35
3.2 ABORDAGENS DA ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TENSÃO.....	37
3.3 MÉTODO DA FUNÇÃO LAGRANGIANA BARREIRA MODIFICADA APLICADO AO PROBLEMA DE MÁXIMO CARREGAMENTO	38
4 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	53
4.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE: UM EXEMPLO NÚMÉRICO	58
4.1.1 Obtenção da solução ótima.....	59
4.1.2 Estimação do novo ponto via sensibilidade	61
4.1.3 Validação da metodologia da técnica de Análise de Sensibilidade.....	62
5 RESULTADOS NUMÉRICOS.....	69
5.1 RESULTADOS – SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA DE 3 BARRAS	69
5.1.1 Solução do problema de Máximo Carregamento via FLBM – Sistema elétrico de potência de 3 barras	70
5.1.2 Análises dos multiplicadores de Lagrange, das restrições e da condição de folga complementar	73
5.1.3 Técnica de Análise de Sensibilidade aplicada ao sistema de 3 barras	74
5.1.4 Perturbações na carga do sistema	79
5.2 SISTEMA IEEE 14 BARRAS	82
5.2.1 Solução do problema de Máximo Carregamento via FLBM – IEEE 14 barras	82

5.2.2 Análise de Sensibilidade – Determinação da barra com maior sensibilidade em relação ao fator de carregamento para o sistema IEEE 14 Barras	84
5.3 IEEE 57 BARRAS	86
5.3.1 Solução do problema de Máximo Carregamento via FLBM – IEEE 57 barras	86
5.3.2 Análise de Sensibilidade – Determinação da barra com maior sensibilidade em relação ao fator de carregamento do sistema IEEE 57 Barras	90
5.4 IEEE 118 BARRAS	95
5.4.1 Solução do sistema IEEE 118 Barras – Método da FLBM	95
5.4.2 Análise de Sensibilidade – Determinação da barra com maior sensibilidade em relação ao fator de carregamento do sistema IEEE 118 Barras	96
5.5 IEEE 300 BARRAS	97
5.5.1 Solução do sistema IEEE 300 Barras – Método da FLBM	97
5.5.2 Análise de Sensibilidade – Determinação da barra com maior sensibilidade em relação ao fator de carregamento do sistema IEEE 300 Barras	97
6 CONCLUSÕES	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
APÊNDICE A – BANCOS DE DADOS PARA OS SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA IEEE 14, 57, 118 E 300 BARRAS	107
APÊNDICE B – CASOS “ÓTIMOS” BASE E GERAÇÃO DE REATIVOS PARA OS SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA IEEE 118 E 300 BARRAS OBTIDOS POR MEIO DO MÉTODO DA FLBM	128
APÊNDICE C – RESULTADOS DOS SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA IEEE 118 E 300 BARRAS PERTURBADOS OBTIDOS POR MEIO DA TÉCNICA DE ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	148

Capítulo 1

1 INTRODUÇÃO

A instabilidade de tensão está se tornando um problema crescente e comum, representando uma das principais razões de várias interrupções parciais/totais, nas últimas décadas, em todo o mundo (Kundur, 1994), (GCOI, 1997). Sua causa imediata não é, geralmente, uma grande perturbação do sistema elétrico de potência. Em muitos casos, o sistema pode chegar a um estado vulnerável por meio da saída de um equipamento, de uma linha de transmissão ou outra contingência. O ponto operacional do sistema muda, gradualmente, em períodos de minutos a horas, de um estado relativamente seguro para outro em que o colapso é iminente. A fim de contornar esse problema, o operador pode intervir manualmente ou por meio de ações adicionais de controle. Atualmente, para as restrições de segurança do Fluxo de Potência Ótimo (FPO), a segurança do sistema em relação à tensão é avaliada de acordo com os limites das magnitudes das barras de tensão. Porém, ocorrências de problemas de instabilidade de tensão foram mostradas em sistemas nos quais as magnitudes de tensão nunca atingiram níveis inferiores aos níveis aceitáveis (MOHAMED, 1996). Além disso, próximo ao ponto de colapso, variações de tensão podem ser extremamente sensíveis a mudanças de carga (NEMA, 1996). Assim, apenas o conhecimento do nível de tensão no ponto de operação pode não ser suficiente para prever os problemas de estabilidade de tensão.

A instabilidade de tensão é um fenômeno dinâmico. Entretanto, a instabilidade de tensão de um sistema elétrico de potência pode ser medida obtendo-se a distância entre a solução das equações do fluxo de potência estático para o ponto inicial de operação até o seu ponto de bifurcação sela nó, conhecido como ponto de colapso de tensão.

Embora todos os mecanismos que afetam o colapso de tensão ainda não tenham sido identificados, é sabido que a instabilidade de tensão ocorre quando o sistema de potência está operando sob condições de estresse. Recentes mudanças nos aspectos políticos, econômicos, sociais e ambientais do sistema de potência aumentaram a frequência de operação sob tais condições, elevando as preocupações sobre a habilidade dos sistemas em atender, segura e economicamente, sua demanda de carga.

A maioria dos modelos de mercado em implantação por todo o mundo fundamenta-se na garantia de acesso livre ao sistema de transmissão a todo instante, em todos os locais e a todos os participantes (HUNT, 1996), (ILIC, 1998). Isso causa problemas adicionais, pois a potência com que as concessionárias habitualmente importam ou exportam, frequentemente fluem pelas redes de transmissão de outras concessionárias, dificultando – assim - sua monitoração e controle. Para atender o aumento de carga, a capacidade de transmissão deve ser ampliada. Porém, devido a razões ambientais e econômicas há, frequentemente, dificuldades para aprovar a construção de novas linhas de transmissão. Essas circunstâncias combinadas favorecem ocorrências de colapso de tensão.

Para combater esse problema, que pode levar a completos blackouts, é utilizado o corte de carga de alguns consumidores a fim de levar o ponto de operação do sistema para o mais distante possível do valor de tensão crítica (DORIGO; STÜTZLE, 2004), (SOCHA; DORIGO, 2008), (AJJARAPU; CHRISTY, 1992). Entretanto, suas consequências podem resultar em enormes perdas técnicas e econômicas. Portanto, essa medida de controle deve ser realizada com otimalidade e cuidado e ser utilizada como a última alternativa das ações de controle (NAKAWIRO; ERLICH, 2009).

Há dois tipos de procedimentos para o corte de carga: um é para preparação, ou seja, quando o sistema está próximo ao colapso de tensão, cortar parte da carga irá aumentar a margem de carregamento do sistema. O outro é para correção. Quando o sistema elétrico de potência está em processo de colapso de tensão devido à ocorrência de alguma falta ou de uma situação de emergência com um nível inaceitável de tensão, cortar parte da carga poderia fazer o sistema voltar à estabilidade (XIAO; ZHU, 2007). Onde fazer o corte de carga é a principal questão a ser respondida no procedimento de corte de carga (ZANHIDI et al., 2009).

Nesse trabalho, foram implementadas duas ferramentas computacionais. Com a primeira, é determinado o ponto de Máximo Carregamento para sistemas elétricos de potência por meio de uma variante do método dos Pontos Interiores, o método da Função Lagrangiana Barreira Modificada (FLBM). Nesses métodos, as melhores propriedades da função barreira clássica (FBC) e da função Lagrangiana clássica (FLC) são associados.

As FLBM e suas diferenciais parciais são definidas na solução e, durante o processo de convergência, essas funções não crescem para o infinito. A matriz Hessiana da função Lagrangiana não se torna mal condicionada e o parâmetro de barreira não tende a zero. O algoritmo de convergência do método da FBC é uma assíntota, diferentemente do da FLBM, cuja convergência é finita, fato esse que leva a uma maior contribuição da ferramenta que utiliza o método da FLBM para determinação do ponto de Máximo Carregamento, uma vez que a solução ótima encontrada no método da FLBM pode, realmente, estar na região da fronteira factível, o que não acontece com a FBC, em que a solução pode estar próxima à fronteira, mas nunca atingi-la. Logo, as restrições tratadas pela FLBM podem ser nulas, enquanto que as restrições da FBC têm valor diferente de zero. O método FLBM não requer uma solução inicial factível ao problema original. Outra importante contribuição da FLBM é a representação explícita de seu multiplicador de Lagrange, o qual auxilia no processo de convergência do método.

No método da FLBM (SOUSA,2006), aplicado nesse trabalho, as perdas ativas do sistema são supridas unicamente pela barra *slack*. As restrições de tensão e potência reativa, canalizadas, são desmembradas em duas desigualdades. Variáveis de folga ou de excesso são acrescentadas a fim de transformar essas desigualdades em igualdades. Tais variáveis de folga ou de excesso são relaxadas e tratadas pela função barreira modificada. A esse problema é associada uma função Lagrangiana. As condições necessárias de primeira ordem são aplicadas à função Lagrangiana e um sistema de equações não lineares é gerado, o qual é linearizado pelo método de Newton. Esse processo de linearização gera outro sistema de equações, no qual a matriz dos coeficientes é esparsa e simétrica de posição e de valor.

A segunda ferramenta consiste na implementação da técnica de Análise de Sensibilidade (AS) para determinar de forma rápida e simples a nova condição do sistema após a ocorrência de uma perturbação nas restrições de igualdade. Por meio da técnica de

Análise de Sensibilidade, estudos de planejamento da operação do SEP podem ser realizados obtendo-se respostas rápidas e confiáveis para tomada de decisões.

Por meio do estudo do teorema da sensibilidade proposto por Fiacco (1973), o sistema de equações de Análise de Sensibilidade para o problema de Máximo Carregamento foi determinado. A técnica de Análise de Sensibilidade tem como entrada de dados a solução base ótima, ou seja, a solução ótima do problema original não perturbado. Nessa técnica, as condições necessárias de primeira ordem e o teorema de folga complementar são aplicados na solução ótima, gerando um sistema de equações que é resolvido pelo método de Newton. As variáveis são atualizadas e a solução ótima para o problema perturbado é obtida. Dentre as maiores contribuições da técnica de Análise de Sensibilidade podem-se citar o fato de seu algoritmo não ser iterativo e ela não usar parâmetros empíricos em sua formulação.

A fim de verificar a eficiência das abordagens propostas, após a obtenção da solução base ótima do problema de Máximo Carregamento para os sistemas IEEE 14, 57, 118 e 300 por meio do método da FLBM, buscou-se determinar qual a barra de cada sistema elétrico de potência é mais sensível em relação ao fator de carregamento, ou seja, qual é, para o operador do sistema, inicialmente, a melhor opção para o corte de carga. Foram realizados testes de corte de carga de 1% em cada uma das barras de controle de reativos e barras de carga, mantendo o fator de potência constante, no caso das barras de carga. Esses mesmos testes, para todos os sistemas, foram realizados utilizando-se a técnica de AS.

É de fundamental importância para a operação dos sistemas elétricos de potência, o completo entendimento de como as variações no sistema afetam seu estado. Tal entendimento pode ser obtido a partir da Análise de Sensibilidade, sem a necessidade de se processar ou reprocessar vários casos de fluxo de potência. A utilização dessa ferramenta de programação não linear aplicada a determinação do Ponto de Máximo Carregamento (PMC) de um sistema fornecerá informações confiáveis e suficientes para uma tomada de decisão do operador.

DISPOSIÇÃO DO TRABALHO

Esse trabalho está dividido em seis capítulos. No primeiro capítulo é feita a contextualização do problema de colapso de tensão, assim como a descrição das metodologias empregadas no trabalho para determinação do ponto de Máximo Carregamento em sistemas elétricos de potência tanto para a solução base ótima como para o problema perturbado.

No segundo capítulo, são apresentadas algumas das publicações mais significativas e motivadoras relacionadas ao desenvolvimento desse trabalho.

No terceiro capítulo, são apresentados conceitos relacionados ao problema de Máximo Carregamento em sistemas elétricos de energia e a formulação do problema, assim como sua formulação aplicando o método da Função Lagrangiana Barreira Modificada.

O quarto capítulo apresenta o desenvolvimento da formulação da Técnica de Análise de Sensibilidade e um exemplo numérico.

No quinto capítulo, são apresentados os testes realizados para os seguintes sistemas: sistema elétrico de potência de 3 barras e IEEE 14, 57, 118 e 300 barras.

Os capítulos finais referem-se às conclusões, às proposições futuras do trabalho e às referências bibliográficas.

2 HISTÓRICO

Nas últimas décadas, a instabilidade de tensão tem sido apontada como uma das principais razões dos blecautes ao redor do mundo. O colapso de tensão é a consequência final de um processo de instabilidade. Por causar enormes prejuízos a diferentes nações, tal fenômeno tem recebido a atenção de muitos pesquisadores. Com base nesse contexto, é apresentada - a seguir - a pesquisa bibliográfica realizada para a elaboração do presente trabalho, visando elucidar o estudo de metodologias para a obtenção do ponto de Máximo Carregamento em sistemas elétricos de potência e de técnicas utilizadas para evitar o colapso de tensão.

Flatabo et al. (1990) apresentam um método para determinação de condição de estabilidade de tensão em sistemas de potência. O método está baseado em técnicas de sensibilidade, levando em conta os limites de geração de potência reativa. Uma distância para colapso de tensão em termos de MVar é definida como medida de segurança de sistema. A severidade da saída de diferentes linhas de transmissão pode ser estudada. O método também pode ser usado, efetivamente, para estudar a importância de reservas de potência reativa na capacidade de transmissão de potência.

Em Begovic (1992), são apresentadas técnicas de sensibilidade para alocação de potência reativa e corte de carga. Além disso, o valor mínimo singular da matriz Jacobiana e a geração total de potência reativa são propostos como indicadores de instabilidade de tensão. Nesse trabalho, é mostrado que pequenas quantidades de compensação de reativos podem levar à falsa constatação de segurança do sistema pelo operador, enquanto, de fato, o sistema está próximo do colapso. De acordo com o autor, quando aplicada a sistemas de grande porte, a metodologia apresenta a desvantagem da geração total de reativos poder ser insensível a mudanças individuais de cargas.

Em Momoh (1995), é descrito um método para controle corretivo da instabilidade de tensão em sistemas elétricos de potência. A sensibilidade da margem de estabilidade em relação à geração de potência ativa e à sensibilidade Q-V é usada para a determinação das ações corretivas. São consideradas, simultaneamente, no esquema de controle corretivo, a estabilidade transitória e a estabilidade de tensão por meio de um índice unificado de estabilidade que pode dar uma medida comum de estabilidade de tensão e de ângulo.

Estimativas lineares e quadráticas para a variação da margem de carregamento, no tocante a qualquer parâmetro do sistema ou controle, podem ser obtidas. Greene, Dobson e Alvarado (1999) propõem o cálculo de estimativas lineares e quadráticas para a variação da margem de carregamento em relação a qualquer parâmetro do sistema de potência ou controle. Essas estimativas podem ser usadas para avaliar, de forma rápida, os efeitos quantitativos de várias ações de controle de modo a manter uma margem de carregamento suficiente para evitar o colapso de tensão. As estimativas também podem ser usadas na determinação da sensibilidade da margem de carregamento a incertezas em dados. Estimativas para qualquer número de parâmetros ou controles requerem cálculos de apenas “um nariz” ou ponto de bifurcação. A precisão das estimativas e a facilidade de obter a estimativa linear sugerem que esse método será de valor prático, evitando o colapso de tensão.

Destaca-se o método de otimização não linear de Pontos Interiores apresentado por Irisarri (1997) para determinação do Máximo Carregamento em sistemas de potência. O autor apresenta a resolução do algoritmo de Pontos Interiores (PI) não linear, nas suas versões Primal-Dual (PIPD) Pura e Preditor-Corretor (PIPC). Na implementação desse trabalho não são incluídas restrições de contingências diretamente no método. Em alguns dos testes realizados pelos autores, o Máximo Carregamento obtido por meio do Fluxo de Carga (FC) é usado como referência. Os modelos de transformadores com mudança de tap e transformadores com defasador de ângulo de fase são modelados completamente na implementação. É feita, também, a comparação entre o modelo de carga constante e o modelo de carga não linear dependente de tensão. O uso do modelo de carga não linear, como esperado, resulta em considerável aumento de margem em relação ao modelo de carga constante PQ.

Outro importante trabalho sobre a abordagem não linear do método dos Pontos Interiores em suas versões Pura e Preditor-Corretor aplicada ao problema de Fluxo de

Potência Ótimo (FPO) é apresentado por Barbosa, Almeida e Salgado (1998). Nessa proposta, o problema de Máximo Carregamento de um sistema de energia elétrica é analisado levando-se em conta suas limitações, tanto operacionais, como de equipamentos. Os resultados foram obtidos modelando-se as cargas como injeção de potências ativa e reativa e mantendo-se seus fatores de potência constantes. Foram analisados dois aspectos: (i) a influência das restrições operacionais na solução, sendo que os resultados da aplicação do algoritmo de otimização são confrontados com aqueles obtidos por meio do Método da Continuação (AJJARAPU e CHRISTY, 1992), a presença de restrições foi considerada apenas na potência reativa gerada; (ii) a eficiência em termos de número de iterações e tempo de CPU das duas versões do algoritmo de pontos interiores. Foram estudadas, nesse aspecto, as condições de consideração de todas as restrições operativas (geração de potências ativa e reativa, magnitude de tensões, taps dos transformadores com comutação sob carga e fluxos de potência nas linhas) e semelhante à anterior, porém sem restrições de fluxos de potência nas linhas. Os resultados do Máximo Carregamento total e das margens totais de potência ativa e reativa obtidas, levando em consideração o aspecto (i), mostra que os valores das quantidades obtidas pelas duas abordagens são semelhantes. A diferença entre esses valores é atribuída à ausência de um controle mais refinado sobre o crescimento da carga. Do ponto de vista computacional, a versão Preditor-Corretor apresenta um desempenho superior à versão Primal-Dual Pura, reiteram os autores. Embora na primeira versão tenha-se que resolver dois sistemas lineares de porte razoável a cada iteração, a mesma matriz fatorada é utilizada, fazendo com que o tempo por iteração seja maior para a versão Preditor-Corretor. Mesmo assim, o processo iterativo converge mais rapidamente sendo, portanto, mais atrativo em termo computacional.

El-Sadek et al (1999) associam o problema de corte de carga com uma medida emergencial para evitar a ocorrência de instabilidade de tensão na distribuição e transmissão em sistemas elétricos de potência. A localização ótima dos cortes de carga é encontrada juntamente com suas quantidades ótimas requeridas. Um índice é usado para esse propósito. Essa técnica pode ser aplicável a sistemas de qualquer tamanho com qualquer número de cargas, porém é necessário que fluxos de cargas sucessivos sejam executados para a realização da técnica proposta.

Greene, Dobson e Alvarado (1999) mostram que a análise efetiva de contingências para o colapso de tensão pode ser feita calculando a sensibilidade da margem de carregamento para uma curva P-V nominal. Nesse trabalho é estimada a mudança na margem de

carregamento quando ocorrem saídas de linhas de transmissão. Primeiramente, uma curva P-V é calculada por meio do método da continuação para obter uma margem de carregamento nominal. Então, sensibilidades lineares e quadráticas da margem de carregamento para cada contingência são calculadas e usadas para estimar a mudança resultante na margem de carregamento. Os resultados obtidos pelos autores mostram que as estimativas lineares são rápidas e satisfatórias para classificação de contingências. As estimativas quadráticas (têm maior tempo de processamento) refinam as estimativas lineares, porém são mais rápidas do que métodos precedentes. No trabalho proposto por Greene (1997), sensibilidades similares são calculadas, explorando a mesma curva P-V para propor rapidamente ações corretivas com o objetivo de melhorar a margem de carregamento de colapso de tensão, caso a análise de contingência indique tal necessidade.

Almeida e Salgado (2000) desenvolveram uma metodologia para calcular uma sequência de solução do FPO sob condições de variação de carga. O objetivo é obter um conjunto de pontos ótimos de operação na vizinhança da fronteira da região definida pelas equações do fluxo de potência e um conjunto de limites de operação. Para isso, apresenta-se um algoritmo baseado no método da continuação e no método de pontos interiores primal-dual. Tal algoritmo consiste em dois passos principais: o passo preditor, que usa uma aproximação linear das condições de Karush-Kuhn-Tucker (KKT) para estimar um novo ponto de operação para um aumento na carga do sistema e um passo corretor, que calcula o correspondente ótimo para o novo nível de carga via um método não linear de pontos interiores primal-dual. Uma Análise de Sensibilidade é feita para calcular a compensação total de potência reativa que permite um aumento pré-especificado na carga do sistema. São apresentados resultados para sistemas testes reais.

O objetivo do trabalho proposto por Flueck (2002) é apresentar um procedimento para identificar contingências severas simples de saídas de barras com respeito à bifurcação sela-nó levando ao colapso de tensão, dado um ponto operacional de um sistema de potência, uma previsão de demanda de carga e um despacho de geração. As características particulares do método são a habilidade para classificar todas as barras de sistemas de grande porte e estimar com precisão os valores da bifurcação da contingência. Esse algoritmo considera as variações futuras no despacho de geração e a previsão de demanda de carga a curto prazo. Além disso, explora a direção de geração e a variação de demanda. O algoritmo, automaticamente, descarta as contingências que têm pouco efeito no sistema de potência,

mantendo precisão para as contingências severas que podem limitar a capacidade de transferência de potência do sistema.

No trabalho proposto por Rider (2004), os problemas de minimização das perdas ativas, de mínimo corte de carga e de Máximo Carregamento, são formulados como um problema de FPO que é resolvido utilizando uma combinação de métodos de Pontos Interiores Preditores com múltiplas correções e múltiplas correções centralizadas (ambas pertencendo à família dos métodos de pontos interiores de alta ordem). Os resultados mostram que o método proposto é capaz de resolver os problemas de médio e grande porte com um número reduzido de iterações e, em alguns casos, com menor tempo de CPU que outros métodos.

Zambroni (2004) apresenta uma abordagem usando modelos de otimização para o problema do aumento do carregamento de sistemas de potência. O trabalho enfoca a localização dos impactos das ações de controle local no carregamento do sistema. O estudo é realizado em dois passos. Primeiro, usando a técnica do vetor tangente, em que duas áreas importantes do sistema de potência são identificadas: a área crítica sob o ponto de vista do colapso de tensão e as áreas mais sensíveis à redução das perdas de potência ativa. Segundo, uma vez que essas duas áreas são identificadas, uma técnica de otimização visa otimizar a compensação de potência reativa ótima que deve estar disponível em cada barra. Segundo os autores, os resultados obtidos usando os dois sistemas testes do IEEE 14 e 57 barras são consistentes com a robustez esperada para essa ferramenta computacional.

Uma nova ferramenta de Análise de Sensibilidade para classificação de contingências de tensão é apresentada no trabalho proposto por Amjady (2005). A Análise de Sensibilidade proposta é uma combinação de sensibilidade linear e análise de autovalor. A ferramenta de Análise de Sensibilidade pode determinar a estabilidade de tensão do sistema de potência devido à ocorrência de cada contingência. Além disso, a margem de estabilidade pós-contingência também é determinada. Em outras palavras, um índice de severidade é obtido para cada contingência de tensão e as contingências podem ser classificadas. O algoritmo básico da ferramenta proposta é uma combinação da Análise de Sensibilidade de primeira-ordem e autovalor.

O trabalho proposto por Capitanescu (2005) trata da análise de situações nas quais aumentos de carga e/ou contingências levam a tensões a níveis de instabilidade ou inaceitáveis. São propostas sensibilidades simples para determinar a eficiência relativa para as ações corretivas candidatas, as quais são prováveis parâmetros de mudanças para fortalecer o sistema. Nesse propósito, as sensibilidades da magnitude de tensão na barra com maior queda são consideradas. A análise proposta pode, também, tratar de situações de tensão baixa, porém situações estáveis. As sensibilidades propostas são focalizadas na barra de tensão mais fraca, identificada na prática como aquela com maior queda de tensão devido ao aumento de carga ou contingência. Nos casos de instabilidade de tensão, tem-se verificado que as sensibilidades simples propostas, computadas na vizinhança de uma bifurcação sela-nó ou ponto crítico, apresentam a mesma classificação para barras de potência do que a obtida com autovalores apresentados em trabalhos prévios a respeito do assunto.

Em Arya, Pande e Dothari (2005) é apresentada uma abordagem de corte de carga usando a rede neural de Hopfield para otimização. A quantidade de carga a ser cortada é decidida a fim de manter um valor referência de um indicador e todas as magnitudes de tensão de todas as barras dentro de seus limites. O algoritmo apresenta as restrições de máxima e mínima carga a ser cortada. É utilizada uma função objetivo quadrática para minimização do corte de carga. A maior contribuição é o desenvolvimento de um algoritmo de corte de carga baseado no modelo de Hopfield para atingir a margem de estabilidade desejada.

Echavarren (2006) apresenta um algoritmo de otimização de Programação Linear (PL) que busca melhorar a margem de estabilidade por meio do corte de carga, determinando a localização e a quantidade mínima de corte de carga. A função objetivo consiste em minimizar a diminuição da demanda total do sistema. São consideradas, no algoritmo, sensibilidades de primeira ordem da margem de estabilidade com relação à carga que será rejeitada. A melhoria da margem de estabilidade é aproximada por meio de uma restrição linear que é baseada nas sensibilidades com respeito à carga a ser rejeitada. Essas sensibilidades são calculadas por meio dos multiplicadores de Lagrange do problema de otimização não linear, cuja solução é ponto de bifurcação sela-nó do sistema. O principal problema da formulação linear da margem de estabilidade é a perda de precisão para grandes variações de geração e demanda. Para superar tal dificuldade, o processo iterativo do algoritmo impõe uma restrição adicional de redução de demanda total a cada iteração. A margem de estabilidade crítica é obtida, nesse artigo, resolvendo-se o método de otimização, a

partir da solução obtida com o método de continuação e a estimação dos multiplicadores de Lagrange. Sendo que a estimação dos multiplicadores de Lagrange é obtida resolvendo-se o problema dos mínimos quadrados, usando – para tanto – a solução alcançada por meio do método da continuação.

Em Nakawiro (2009), é proposto um algoritmo de otimização baseado em colônia de formigas para resolver o problema de corte de carga ótimo e, assim, melhorar a estabilidade de tensão do sistema de potência. Dois principais aspectos do problema são abordados. Primeiramente, as barras de carga adequadas para o corte de carga são identificadas por meio de sensibilidade da margem de estabilidade de tensão com relação à mudança da carga em diferentes barras. Então, a quantidade de corte de carga em cada barra é determinada por meio da minimização do custo de interrupção do sistema utilizando a técnica proposta para resolver um problema de otimização não linear. Essa técnica apresenta a vantagem de ser rápida, porém os resultados obtidos não são sempre idênticos no caso de repetições, além de utilizar parâmetros que, normalmente, requerem ajuste.

O corte de carga para barras com subtensão foi aplicado com sucesso em muitos sistemas do mundo todo para proteger os sistemas do colapso de tensão. Isso é particularmente verdadeiro se as condições do sistema e as contingências que levam a instabilidades de tensão são de baixa probabilidade, mas resultaria em sérias consequências. No entanto, a determinação de onde e qual a quantidade de carga a ser cortada, requer conhecimento especializado e experiência. Zahidi et al. (2009) apresenta um índice de estabilidade que atua como uma indicação numérica dos locais para corte de carga. No entanto, os locais e a quantidade de carga a ser cortada requerem conhecimento especializado e experiência. Esse trabalho apresenta um índice de estabilidade que atua como uma verificação numérica dos locais de corte de carga e é baseado na análise de fluxo de carga.

No trabalho de Xu et al. (2010), um novo método de corte de carga é analisado e calculado. Por meio da decomposição do valor singular para a matriz Jacobiana no cálculo do fluxo de potência, a matriz diagonal dos valores singulares e suas matrizes singulares direita e esquerda podem ser resolvidas. O elemento máximo na coluna do vetor singular direito do valor singular mínimo é o melhor nó para o corte de carga. Em tal método, a margem de

estabilidade de tensão após o corte de carga é maior do que a obtida por meio de outros métodos.

Capítulo 3

3 MÁXIMO CARREGAMENTO

Nesse capítulo serão apresentadas definições que são de fundamental importância para a compreensão do fenômeno do colapso de tensão.

3.1 CONCEITOS BÁSICOS

3.1.1 Instabilidade de tensão

O fenômeno da instabilidade de tensão é um processo iniciado por um carregamento desordenado ou pela ocorrência de contingências no sistema de potência ou, ainda, quando o sistema é incapaz de atender à demanda de potência reativa e é caracterizado pela diminuição da magnitude do valor da tensão em uma ou mais barras do sistema após a ocorrência do distúrbio, seja esse um simples aumento de carga ou mudanças significativas na topologia do sistema, isto é, perda de grandes blocos de geração, perda de linhas de transmissão com grandes carregamentos.

No sistema altamente estressado, quando a magnitude dos valores de tensão atinge valores inaceitáveis, o sistema apresenta um comportamento instável e, então, é caracterizado o fenômeno do colapso de tensão. Nesse momento, o suprimento de energia aos consumidores de um sistema ou de uma região é interrompido, causando os mais diversos prejuízos econômicos e sociais (KUNDUR, 1994), (TAYLOR, 1994) e (PAL, 1992).

3.1.2 Contingência

Por contingência entende-se a saída de equipamentos, tais como geradores, linhas de transmissão, transformadores, entre outros; algumas vezes vitais ao bom funcionamento do sistema. Frequentes são os casos em que a saída inesperada de uma linha de transmissão causa sobrecarga em outra(s) linha(s). Não raro são, também, os casos em que há violação dos limites de tensão nas barras por efeito da saída de transformadores e/ou outros equipamentos de controle de tensão.

Quando somente um equipamento sai de operação, tem-se uma contingência simples. Quando dois ou mais equipamentos saem de operação, tem-se uma contingência múltipla.

Mesmo quando componentes do sistema falham, é preciso manter sua segurança. Por isso, muitos equipamentos são protegidos por dispositivos automáticos ou manuais, que são desativados quando seus limites forem violados. Se um sistema continua operando com limites violados e ocorre um evento, este pode ser seguido de uma série de ações futuras – contingência em cascata – que pode ocasionar a saída de vários outros equipamentos. Esse processo continuado é conhecido como efeito cascata e pode levar todo o sistema ou grande parte dele ao blecaute.

3.1.3 Margem de Carregamento

A margem de carregamento é uma medida fundamental para quantificar a proximidade de um colapso de tensão. Uma questão frequentemente levantada na utilização de algoritmos para a determinação da margem de carregamento é saber o quanto esta mudará a partir de uma perturbação no sistema. Basicamente, as perturbações podem ser: variações nas cargas e/ou gerações ou mesmo uma contingência.

Para um ponto de operação particular, o montante de carga adicional utilizando um modelo específico de aumento de carga, que causaria o colapso de tensão, é chamado de margem de carregamento para o colapso de tensão. A margem de carregamento é o mais básico e abrangente índice de colapso de tensão.

Quando a carga do sistema é escolhida como parâmetro de carregamento, uma curva da potência ativa versus tensão pode ser traçada. Nesse caso, a margem de carregamento para o colapso de tensão é a variação no carregamento entre o ponto de operação e o “nariz” da curva para a barra crítica.

A margem de carregamento pode, a princípio, ser calculada iniciando no ponto de operação atual, fazendo pequenos incrementos no carregamento e recalculando os fluxos de carga para cada incremento, até que o “nariz” da curva seja atingido. A margem de carregamento é, então, o total incrementado no carregamento, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Margem de carregamento

3.1.4 Fenômeno Físico do Colapso de Tensão

A instabilidade de tensão é caracterizada pela queda progressiva do valor da magnitude de tensão das barras e é causada pela falta de suporte local de potência reativa. Há várias situações que podem contribuir para que a demanda de potência reativa não seja atendida, agravando, dessa forma, o quadro de instabilidade de tensão. São elas:

- quando os limites de potência reativa dos geradores, compensadores síncronos e estáticos são atingidos devido à redução da potência reativa produzida pelos capacitores na ocorrência de tensões baixas;
- quando há redução da capacidade de transmissão, ocasionando altas perdas de potência reativa devido às linhas de transmissão sobrecarregadas, a possíveis saídas de linhas ou a geradores, ao aumento de carga e à ação de taps de transformadores.

O sistema entra em colapso quando atinge o ponto crítico, ou seja, a potência adicional necessária para o suprimento do aumento de carga não pode mais ser transmitida. Para a carga modelada como injeção de potência constante, quando a demanda de potência da carga aumenta, as perdas nos elementos série das linhas de transmissão causam uma sensível queda de tensão nas barras, que provoca um aumento das correntes nas linhas, implicando em perdas ainda maiores. Esse processo repetitivo resulta no colapso de tensão. Quanto mais próximo o dispositivo de controle estiver da área mais fraca, maior o efeito das ações corretivas.

De acordo com Mohamed e Jasmon (1996), o colapso de tensão não é exclusivamente resultado final da instabilidade de tensão, podendo, também, ocorrer devido ao aumento na demanda de potência ativa e, não necessariamente, devido à alta demanda de potência reativa. Conforme apresentado em Nema e Castro (1996), não há, de forma obrigatória, uma relação entre a proximidade ao colapso e a magnitude da tensão para uma barra. Não é correto, portanto, tomar as magnitudes das tensões nas

barras como indicadores de susceptibilidade ao colapso; ou seja, embora uma barra seja mais fraca com relação ao colapso de tensão, a tensão nessa barra pode ser maior do que em uma barra mais forte. As tensões nas barras podem estar de acordo com os limites aceitáveis, mas, nesse caso, fazer uma análise pelos valores de tensão resultaria em um estudo incorreto, já que com a margem pós-contingência da barra pequena, o ponto de colapso está muito próximo.

Para prevenir o colapso de tensão, esses autores informam que medidas corretivas podem ser tomadas, tais como: aplicação de dispositivos de compensação de potência reativa, controle das tensões da rede e de saída de potência reativa de geradores, redespacho de geração, taps de transformadores, corte de carga, manutenção adequada da margem de estabilidade de tensão e manutenção de reserva girante de potência reativa na operação de geradores. A escolha apropriada das ações corretivas pode ser tomada pelos operadores do sistema de potência tendo como base índices relacionados à estabilidade de tensão.

As tensões nas barras devem estar dentro de uma faixa específica, em torno do seu valor nominal. Para sistemas de transmissão, o nível é regulado dentro de 5% do valor nominal. Para controlar o nível de tensão são utilizados dispositivos de controle de reativos estáticos, geradores, taps de transformadores, bancos de capacitores e reatores estáticos.

O critério da estabilidade de tensão define qual margem é considerada suficiente para a segurança de tensão do sistema, especifica que as tensões dos barramentos devem permanecer dentro de certa porcentagem do valor nominal (pré-contingência) e determina que as reservas de potência reativa devem permanecer em um determinado valor percentual acima da potência de saída reativa e deve ser selecionado de forma a fornecer segurança adequada, sem restringir, desnecessariamente, a operação do sistema.

O problema de instabilidade de tensão tem se tornado ainda mais evidente por diversas razões, o que pode ser constatado pela maior ocorrência de blecautes em muitos países nos últimos tempos. Esses incidentes são um claro indicativo de que os sistemas elétricos de potência estão operando cada vez mais próximos do limite de sua capacidade de transferência de energia. No Brasil, pode-se citar, como exemplo, a ocorrência de um grande blecaute na região Sul e Sudeste, em 1997, associado a um problema de instabilidade de

tensão na rede de distribuição, que se estendeu para o sistema de transmissão correspondente, levando à falha e abertura do elo de corrente contínua (CC) (GCOI,1997).

3.2 ABORDAGENS DA ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TENSÃO

A estabilidade de tensão, no passado associada somente a sistemas elétricos de potência fracos e a linhas de transmissão longas, hoje, é uma preocupação para sistemas em geral, devido a altos carregamentos. Os estudos sobre estabilidade de tensão podem ser realizados por meio de análises dinâmicas em quaisquer circunstâncias, ou, também, por meio de análises estáticas, quando o problema trata de fenômenos com resposta dinâmica lenta.

Nesse trabalho é usada a abordagem estática para resolução do problema de Máximo Carregamento. Essa metodologia usa as equações de fluxo de carga considerando algumas generalizações adequadas, conforme mostrado a seguir, na seção 3.3.

Os métodos estáticos fornecem resultados mais conservadores do ponto de equilíbrio representado por uma condição de operação específica do sistema de potência, do que os métodos dinâmicos, visto que muitos fatores que têm considerável efeito sobre a estabilidade de tensão são ignorados no cálculo do fluxo de carga. Os métodos estáticos são amplamente usados por serem, do ponto de vista computacional, rápidos e podem propiciar uma eficiente e simples avaliação das condições críticas do sistema. Muitos métodos estáticos buscam a definição de índices de proximidade ao colapso de tensão para a comparação entre diferentes pontos de operação, de modo a se obter uma classificação das condições críticas (CORTEZ; VALE, 2001), (KUNDUR, 1994), (TAYLOR, 1994), (AJJARAPU;CHRISTY, 1992), (GAO; MORISON; KUNDUR, 1993) e (ALVES et al., 1999).

3.3 MÉTODO DA FUNÇÃO LAGRANGIANA BARREIRA MODIFICADA APLICADO AO PROBLEMA DE MÁXIMO CARREGAMENTO

O problema de Máximo Carregamento tem como objetivo a determinação do máximo aumento de carga em um sistema elétrico de potência satisfazendo todas as restrições operacionais do sistema e de equipamentos e pode ser formulado como um problema de otimização estática não linear, conforme apresentado no problema (1):

$$\begin{aligned}
 &\text{Maximizar } f(x) \\
 &\text{Sujeito a :} \\
 &\quad g(x) = 0 \\
 &\quad h(x) \leq 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

Onde $x^T = (x_1, \dots, x_n) \in R^n$ é o vetor das variáveis de controle e de estado e representa a magnitude de tensão e o ângulo de fase das barras e o fator de carregamento, a função objetivo $f(x)$, representa o fator de carregamento, as restrições de igualdade, $g(x)=0$, representam as equações de balanço dos sistema de potência e as restrições de desigualdade e $h(x) \leq 0$, representam os limites das magnitudes de tensão das barras e os limites de geração de potência reativa para as barras com controle de geração de potência reativa.

O problema (1) pode ser reescrito de acordo com o problema (2).

$$\begin{aligned}
 &\text{Maximizar } \alpha \\
 &\text{Sujeito a:} \\
 &\quad \Delta P_n(V, \theta, \alpha) = 0 \quad n=1, \dots, nbccr \\
 &\quad \Delta Q_l(V, \theta, \alpha) = 0 \quad l=1, \dots, nbc \\
 &\quad \underline{Q}_j \leq Q_j(V, \theta, \alpha) \leq \bar{Q}_j \quad j=1, \dots, nbcr \\
 &\quad \underline{V}_i \leq V_i \leq \bar{V}_i \quad i=1, \dots, nb
 \end{aligned} \tag{2}$$

Onde:

- α é a variável que representa o fator de carregamento;
- $V \in \Re^{nb}$ e $\theta \in \Re^{nb-1}$ são, respectivamente, os vetores da magnitude e do ângulo de fase das tensões das barras do sistema;
- nb é o número de barras do sistema;
- nbc é o número de barras de carga;
- nbcr é o número de barras de controle de reativos;
- nbccr é o número de barras de carga e de controle de reativos.

As equações de balanço do sistema elétrico de potência são dadas por:

a) Potência ativa para as barras de carga e de controle de potência reativa:

$$\Delta P_k(V, \theta) = (P_k^G - P_k^C)(1 + \alpha) - \sum_{m \in \Omega} P_{km}(V, \theta); \quad (3)$$

Em que

$$P_{km}(V, \theta) = (V_k)^2 g_{km} - (V_k)V_m (g_{km} \cos \theta_{km} + b_{km} \sin \theta_{km})$$

b) Potência reativa para as barras de carga:

$$\Delta Q_k(V, \theta) = (Q_k^G - Q_k^C)(1 + \alpha) - \sum_{m \in \Omega} Q_{km}(V, \theta); \quad (4)$$

Em que

$$Q_{km}(V, \theta) = -(V_k)^2 (b_{km} + b_{km}^{sh}) + (V_k) V_m (b_{km} \cos \theta_{km} - g_{km} \sin \theta_{km})$$

c) Limite de geração de potência reativa para as barras de controle de potência reativa:

$$Q_k(V, \theta) = \sum_{m \in \Omega} -(V_k)^2 (b_{km} + b_{km}^{sh}) + (V_k) V_m (b_{km} \cos \theta_{km} - g_{km} \sin \theta_{km}) \quad (5)$$

Sendo que:

- g_{km} , b_{km} e b_{km}^{sh} são a condutância, a susceptância e a susceptância *shunt* da linha, respectivamente.
- P_k^G e P_k^C são as potências ativas, geradas e consumidas, respectivamente;
- Q_k^G e Q_k^C as potências reativas, geradas e consumidas, respectivamente;
- $\bar{V}_i$ e $\underline{V}_i$ são os limites inferiores e superiores das magnitudes de tensões;
- $\bar{Q}_j$ e $\underline{Q}_j$ são os limites inferiores e superiores das potências reativas geradas pelas barras com controle de potência reativa;
- Ω é o conjunto de todas as barras conectadas à barra k , incluindo a barra k .

Dado o problema (2), acrescentam-se variáveis de folga ou excesso positivas para transformar as restrições de desigualdade em restrições de igualdade da seguinte maneira:

Maximizar α

$$\begin{aligned}
 \text{Sujeito a:} \quad & \Delta P_n(V, \theta, \alpha) = 0 & n=1, \dots, \text{nbccr} \\
 & \Delta Q_l(V, \theta, \alpha) = 0 & l=1, \dots, \text{nbc} \\
 & Q_j + s\bar{Q}_j = \bar{Q}_j & j=1, \dots, \text{nbc} \\
 & Q_j - s\underline{Q}_j = \underline{Q}_j & j=1, \dots, \text{nbc} \\
 & V_i + s\bar{V}_i = \bar{V}_i & i=1, \dots, \text{nb} \\
 & V_i - s\underline{V}_i = \underline{V}_i & i=1, \dots, \text{nb} \\
 & s\bar{Q}_j \geq 0 \\
 & s\underline{Q}_j \geq 0 \\
 & s\bar{V}_i \geq 0 \\
 & s\underline{V}_i \geq 0
 \end{aligned} \tag{6}$$

Onde:

- $s\bar{V}_i$ é variável auxiliar inferior associada a V_i ;
- $s\underline{V}_i$ é variável auxiliar inferior associada a V_i ;
- $s\bar{Q}_j$ é variável auxiliar inferior associada a Q_j ;
- $s\underline{Q}_j$ é variável auxiliar inferior associada a Q_j ;

Na seqüência, aplica-se uma relaxação, nas condições de não-negatividade do problema (6), usando o parâmetro de barreira e tem-se:

Maximizar α

$$\begin{aligned}
 \text{Sujeito a:} \quad & \Delta P_n(V, \theta, \alpha) = 0 & n=1, \dots, \text{nbccr} \\
 & \Delta Q_l(V, \theta, \alpha) = 0 & l=1, \dots, \text{nbc} \\
 & Q_j + s\bar{Q}_j = \bar{Q}_j & j=1, \dots, \text{nbc} \\
 & Q_j - s\underline{Q}_j = \underline{Q}_j & j=1, \dots, \text{nbc} \\
 & V_i + s\bar{V}_i = \bar{V}_i & i=1, \dots, \text{nb} \\
 & V_i - s\underline{V}_i = \underline{V}_i & i=1, \dots, \text{nb} \\
 & s\bar{Q}_j \geq -\mu \\
 & s\underline{Q}_j \geq -\mu \\
 & s\bar{V}_i \geq -\mu \\
 & s\underline{V}_i \geq -\mu
 \end{aligned} \tag{7}$$

em que $\mu > 0$ é o parâmetro de barreira.

O método proposto por Polyak é utilizado para transformar o problema (7) no seguinte problema modificado:

Maximizar α

$$\begin{aligned}
 \text{Sujeito a:} \quad & \Delta P_n(V, \theta, \alpha) = 0 & n=1, \dots, \text{nbccr} \\
 & \Delta Q_l(V, \theta, \alpha) = 0 & l=1, \dots, \text{nbc} \\
 & Q_j + s\bar{Q}_j = \bar{Q}_j & j=1, \dots, \text{nbc} \\
 & Q_j - s\underline{Q}_j = \underline{Q}_j & j=1, \dots, \text{nbc} \\
 & V_i + s\bar{V}_i = \bar{V}_i & i=1, \dots, \text{nb} \\
 & V_i - s\underline{V}_i = \underline{V}_i & i=1, \dots, \text{nb} \\
 & \mu \ln(\mu^{-1} s\bar{V}_i + 1) \geq 0 \\
 & \mu \ln(\mu^{-1} s\underline{V}_i + 1) \geq 0 \\
 & \mu \ln(\mu^{-1} s\bar{Q}_i + 1) \geq 0 \\
 & \mu \ln(\mu^{-1} s\underline{Q}_i + 1) \geq 0
 \end{aligned} \tag{8}$$

Associa-se ao problema (8) a seguinte função Lagrangiana:

$$\begin{aligned}
 L(\alpha, V, \theta, s, \pi, \mu) = & \alpha - \mu \sum_{i=1}^{nb} u\underline{V}_i \ln(\mu^{-1} s\underline{V}_i + 1) - \mu \sum_{i=1}^{nb} u\bar{V}_i \ln(\mu^{-1} s\bar{V}_i + 1) + \\
 & - \mu \sum_{j=1}^{nbc} u\underline{Q}_j \ln(\mu^{-1} s\underline{Q}_j + 1) - \mu \sum_{j=1}^{npv} u\bar{Q}_j \ln(\mu^{-1} s\bar{Q}_j + 1) + \\
 & - \sum_{n=1}^{nb-1} \lambda P_n \Delta P_n(V, \theta, \alpha) - \sum_{l=1}^{nbc} \lambda Q_l \Delta Q_l(V, \theta, \alpha) + \\
 & - \sum_{i=1}^{nb} \pi \underline{V}_i (V_i - s\underline{V}_i - \underline{V}_i) - \sum_{i=1}^{nb} \pi \bar{V}_i (V_i + s\bar{V}_i - \bar{V}_i) + \\
 & - \sum_{j=1}^{nbc} \pi \underline{Q}_j (Q_j - s\underline{Q}_j - \underline{Q}_j) - \sum_{j=1}^{npv} \pi \bar{Q}_j (Q_j + s\bar{Q}_j - \bar{Q}_j)
 \end{aligned} \tag{9}$$

Em que:

- λP_n é o vetor dos multiplicadores de Lagrange associado à restrição de igualdade ΔP_n ;
- λQ_l é o vetor dos multiplicadores de Lagrange associado à restrição de igualdade ΔQ_l ;

- $\pi \bar{V}_i$ é o vetor dos multiplicadores de Lagrange associado à equação superior de V_i ;
- $\pi \underline{V}_i$ é o vetor dos multiplicadores de Lagrange associado à equação inferior de V_i ;
- $\pi \bar{Q}_j$ é o vetor dos multiplicadores de Lagrange associado à equação superior de Q_j ;
- $\pi \underline{Q}_j$ é o vetor dos multiplicadores de Lagrange associado à equação inferior de Q_j ;
- $u \bar{V}_i$ é o vetor dos multiplicador de Lagrange associado à equação superior de $s \bar{V}_i$;
- $u \underline{V}_i$ é o vetor dos multiplicador de Lagrange associado à equação superior de $s \underline{V}_i$;
- $u \bar{Q}_j$ é o vetor dos multiplicador de Lagrange associado à equação superior de $s \bar{Q}_j$;
- $u \underline{Q}_j$ é o vetor dos multiplicador de Lagrange associado à equação superior de $s \underline{Q}_j$;

As condições necessárias de primeira-ordem são aplicadas à FLBM, gerando um sistema de equações não lineares, como segue:

$$\nabla L(\alpha, v, \theta, s \underline{V}_i, s \bar{V}_i, s \underline{Q}_j, s \bar{Q}_j, \lambda P_n, \lambda Q_l, \pi \underline{V}_i, \pi \bar{V}_i, \pi \underline{Q}_j, \pi \bar{Q}_j) = 0 \quad (10)$$

Em que:

$$\nabla_d L = \begin{bmatrix} 1 - (P_K^g - P_K^c) - (Q_K^g - Q_K^c) \\ -\lambda P_n^T J_p(x) - \lambda Q_j^T J_q(x) - \pi \bar{Q}_l^T J_Q(x) - \pi \underline{Q}_l^T J_Q(x) - (\pi V_i) - (\pi \bar{V}_i) \\ -\frac{u \bar{V}_i}{\mu^{-1} s \bar{V}_i + 1} - \pi \bar{V}_i \\ -\frac{u V_i}{\mu^{-1} s \pi V_i + 1} - \pi V_i \\ -\frac{u \bar{Q}_j}{\mu^{-1} s \bar{Q}_j + 1} - \pi \bar{Q}_j \\ -\frac{u Q_j}{\mu^{-1} s \pi Q_j + 1} - \pi Q_j \\ gp \\ gq \\ -(V_i - s V_i - \bar{V}_i) \\ -(V_j + s \bar{V}_i - \bar{V}_i) \\ -(Q_j - s \underline{Q}_j - \underline{Q}_j) \\ -(Q_j + s \bar{Q}_j - \bar{Q}_j) \end{bmatrix} \quad (11)$$

Onde:

- $gp = -\Delta P_k(V, \theta, \alpha);$
- $gq = -\Delta Q_k(V, \theta, \alpha);$
- $J_p(x) = (\nabla_x gp_1(x), \dots, \nabla_x gp_{nb-1}(x));$
- $J_q(x) = (\nabla_x gq_1(x), \dots, \nabla_x gq_{nb-1}(x));$
- $J_Q(x) = (\nabla_x Q_1(x), \nabla_x Q_2(x), \dots, \nabla_x Q_{npv}(x)).$

O sistema de equações não lineares (11) é solucionado utilizando o método de Newton. A aplicação do método de Newton gera as direções de busca, que serão usadas para a atualização das variáveis do sistema e resulta em um sistema matricial, que pode ser representado de forma simplificada como:

$$W\Delta x = -\nabla L \quad (12)$$

Em que:

$$\Delta x^T = (\Delta\alpha, \Delta V, \Delta\theta, \Delta s\underline{V}_i, \Delta s\bar{V}_i, \Delta s\underline{Q}_j, \Delta s\bar{Q}_j, \Delta\lambda P_n, \Delta\lambda Q_l, \Delta\pi\underline{V}_i, \Delta\pi\bar{V}_i, \Delta\pi\underline{Q}_j, \Delta\pi\bar{Q}_j)$$

$$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -P_K^G + P_K^C & -Q_K^G + Q_K^C & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \nabla_{xx}^2 L & 0 & 0 & 0 & 0 & -J_p(x) & -J_q(x) & -J_p(x) & -J_q(x) & -I & -I \\ 0 & 0 & \mu^{-1}S_1 & 0 & 0 & 0 & I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu^{-1}S_2 & 0 & 0 & 0 & -I & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu^{-1}S_3 & 0 & 0 & 0 & I & 0 & 0 & 0 \\ -P_K^G + P_K^C & 0 & I & 0 & 0 & \mu^{-1}S_4 & 0 & 0 & 0 & -I & 0 & 0 \\ -Q_K^G + Q_K^C & -J_p(x) & 0 & -I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -J_q(x) & 0 & 0 & I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -J_q(x) & 0 & 0 & 0 & -I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -J_q(x) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

W é a matriz Hessiana da função Lagrangiana. As submatrizes S_1 , S_2 , S_3 e S_4 são dadas, respectivamente, por:

$$S_1 = \begin{pmatrix} \frac{u\bar{V}_1}{(\mu^{-1}s\bar{V}_1 + 1)^2} & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \frac{u\bar{V}_{NB}}{(\mu^{-1}s\bar{V}_{NB} + 1)^2} \end{pmatrix}, \quad S_2 = \begin{pmatrix} \frac{u\underline{V}_1}{(\mu^{-1}s\underline{V}_1 + 1)^2} & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \frac{u\underline{V}_{NB}}{(\mu^{-1}s\underline{V}_{NB} + 1)^2} \end{pmatrix},$$

$$S_3 = \begin{pmatrix} \frac{u\bar{Q}_1}{(\mu^{-1}s\bar{Q}_1 + 1)^2} & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \frac{u\bar{Q}_{NBCR}}{(\mu^{-1}s\bar{Q}_{NBCR} + 1)^2} \end{pmatrix} \quad \text{e} \quad S_4 = \begin{pmatrix} \frac{u\underline{V}_1}{(\mu^{-1}s\underline{V}_1 + 1)^2} & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \frac{u\underline{V}_{NB}}{(\mu^{-1}s\underline{V}_{NB} + 1)^2} \end{pmatrix}$$

Tendo definido o vetor gradiente, ∇L e a matriz Hessiana da função Lagrangiana, W , o sistema (12) é resolvido e determina-se o vetor das direções de busca, Δd . Os vetores das variáveis α , x , s , λ e π são atualizados utilizando o vetor Δd juntamente com os passos primais e duais, da seguinte forma:

$$\alpha^{k+1} = \alpha^k + \alpha_p \Delta \alpha^k$$

$$V^{k+1} = V^k + \alpha_p \Delta V^k$$

$$\theta^{k+1} = \theta^k + \alpha_p \Delta \theta^k$$

$$s\bar{V}_i^{k+1} = s\bar{V}_i^k + \alpha_d s\bar{V}_i^k$$

$$s\underline{V}_i^{k+1} = s\underline{V}_i^k + \alpha_d s\underline{V}_i^k$$

$$s\bar{Q}_j^{k+1} = s\bar{Q}_j^k + \alpha_d s\bar{Q}_j^k$$

$$s\underline{Q}_j^{k+1} = s\underline{Q}_j^k + \alpha_d s\underline{Q}_j^k$$

$$\lambda P_n = \lambda P_n^k + \alpha_d P_n^k$$

$$\lambda Q_l = \lambda Q_l^k + \alpha_d Q_l^k$$

$$\Delta \pi \bar{V}_i^{k+1} = \pi \bar{V}_i^k + \alpha_d \pi \bar{V}_i^k$$

$$\Delta \pi \underline{V}_i^{k+1} = \pi \underline{V}_i^k + \alpha_d \pi \underline{V}_i^k$$

$$\Delta \pi \bar{Q}_j^{k+1} = \pi \bar{Q}_j^k + \alpha_d \pi \bar{Q}_j^k$$

$$\Delta\pi\underline{Q}_j^{k+1} = \pi\underline{Q}_j^k + \alpha_d \Delta\pi\underline{Q}_j^k$$

sendo α_p e α_d o tamanho do passo utilizado na atualização das variáveis primais e duais, respectivamente. O cálculo do passo máximo é uma adaptação da estratégia utilizada por Granville (1994), Quintana et al. (1995), entre outros. O passo primal é determinado pelo menor valor entre os componentes das variáveis auxiliares positivas e o valor 1. O objetivo do passo primal é garantir que as variáveis primais obedeçam a seus limites na solução e é dado por:

$$\alpha_p = \min \left\{ \left(\min_{\Delta s \bar{V}_i < 0 \text{ e } s \bar{V}_i > 0} \frac{s \bar{V}_i}{|\Delta s \bar{V}_i|}, \min_{\Delta s \bar{Q}_j < 0 \text{ e } s \bar{Q}_j > 0} \frac{s \bar{Q}_j}{|\Delta s \bar{Q}_j|}, \min_{\Delta s \underline{V}_i < 0 \text{ e } s \underline{V}_i > 0} \frac{s \underline{V}_i}{|\Delta s \underline{V}_i|}, \min_{\Delta s \underline{Q}_j < 0 \text{ e } s \underline{Q}_j > 0} \frac{s \underline{Q}_j}{|\Delta s \underline{Q}_j|} \right), 1 \right\} \quad (13)$$

O passo dual é calculado de forma que cada componente dos vetores duais permaneçam com seus respectivos sinais, isto é:

$$\alpha_d = \min \left\{ \left(\min_{\Delta \pi \bar{V}_i < 0 \text{ e } \pi \bar{V}_i > 0} \frac{\pi \bar{V}_i}{|\Delta \pi \bar{V}_i|}, \min_{\Delta \pi \bar{Q}_j < 0 \text{ e } \pi \bar{Q}_j > 0} \frac{\pi \bar{Q}_j}{|\Delta \pi \bar{Q}_j|}, \min_{\Delta \pi \underline{V}_i < 0 \text{ e } \pi \underline{V}_i > 0} \frac{\pi \underline{V}_i}{|\Delta \pi \underline{V}_i|}, \min_{\Delta \pi \underline{Q}_j < 0 \text{ e } \pi \underline{Q}_j > 0} \frac{\pi \underline{Q}_j}{|\Delta \pi \underline{Q}_j|} \right), 1 \right\} \quad (14)$$

O parâmetro de barreira é atualizado segundo Melman e Polyak (1996), como segue:

$$\mu^{k+1} = \mu^k \left(1 - \frac{\eta}{\sqrt{r}} \right) \quad (15)$$

Onde r é o número de restrições de desigualdade do problema e η é dado por:

$$\eta = \max \left(\frac{1}{\mu^{-1}s + 1} \right), \quad j = 1, \dots, r \text{ para } s > 0$$

Sendo $s = \{ s \bar{V}_i, s \underline{V}_i, s \bar{Q}_j \text{ e } s \underline{Q}_j \}$

O vetor dos multiplicadores de Lagrange, u , é atualizado pela regra de Polyak (1992), da seguinte forma:

$$u^{k+1} = \frac{u^k \mu^{k+1}}{s^{k+1} + \mu^{k+1}} \quad (16)$$

Sendo $u = \{, u\bar{V}_i, u\underline{V}_i, u\bar{Q}_j \text{ e } u\underline{Q}_j \}$.

3.2.2 Inicialização das variáveis

Os valores iniciais das variáveis magnitudes das tensões nas barras e das restrições de geração de reativos devem estar dentro de seus limites relaxados. As equações de balanço do problema de Máximo Carregamento não precisam ser satisfeitas no início do processo iterativo. As variáveis de folga ou excesso podem ser calculadas inicialmente em função das demais variáveis. O valor inicial do parâmetro de barreira é determinado pelo usuário. Os vetores dos multiplicadores de Lagrange, associados com a função barreira modificada são inicializados com valor 1 ou outro valor maior que zero. Os vetores dos multiplicadores de Lagrange associados às restrições de igualdade, são inicializados com o valor nulo. Esses multiplicadores são irrestritos quanto ao sinal, podendo ser positivos ou negativos.

O método da Função Lagrangiana Barreira Modificada, aplicado ao problema de Máximo Carregamento, pode ser representado por meio do fluxograma dado pela Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma do método da Função Lagrangiana Barreira Modificada, aplicada ao problema de Máximo Carregamento

Em cada bloco mostrado no fluxograma da figura 2, são realizadas as seguintes tarefas:

Início: inicialização do programa.

Leitura de Parâmetros: nessa sub-rotina é feita a leitura dos parâmetros de barreira μ . Cabe destacar que o valor inicial dos parâmetros deve ser fornecido pelo usuário para cada sistema a ser resolvido.

Leitura de Dados: nessa sub-rotina é executada a leitura dos dados de barras, das linhas de transmissão e dos limites de tensão para o caso base do sistema, ou seja, considerando os dados iniciais da rede elétrica.

Topologia da Rede: nessa sub-rotina as ligações existentes entre as barras do sistema são armazenadas. É de fundamental importância para a criação do vetor gradiente e da matriz Lagrangiana.

Iniciar: contém as sub-rotinas responsáveis pelo cálculo dos valores iniciais das variáveis de folga e dos multiplicadores de Lagrange.

Vetor gradiente: nessa sub-rotina é formado o vetor gradiente – vetor formado pelas derivadas da função Lagrangiana Barreira Modificada em relação às variáveis do problema.

Matriz Lagrangiana: forma a Matriz Lagrangiana, a qual é utilizada na resolução do sistema linear (8); esta é construída em um formato vetorial.

Resolução do Sistema $Ax=b$: a sub-rotina MA-57² é utilizada para resolver o sistema linear (12).

² A sub-rotina M57, desenvolvida por L.S Duff e J.K. Reid, do Rutherford Appleton Laboratory, determina a solução de sistemas lineares esparsos, utilizando uma variante da eliminação de Gauss.

Atualização das Variáveis: essa sub-rotina é responsável pela atualização das variáveis primais e duais na resolução do problema de Máximo Carregamento.

Saída: gera o arquivo de saída de dados, que contém a solução do problema de Máximo Carregamento.

O critério de parada do programa de Máximo Carregamento é satisfazer as equações do fluxo de potência dentro de uma tolerância e as condições de KKT, maximizando a função objetivo, ou seja, o fator de carregamento do sistema.

Uma aplicação detalhada do método da FLBM é apresentado no item 5.1.1.

Capítulo 4

4 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A Análise de Sensibilidade pode ser definida como uma técnica que permite de forma controlada conduzir experimentos e investigações com o uso de um modelo de simulação. Também é utilizada para solucionar problemas provenientes da ocorrência de uma perturbação local, em um dado problema original. Neste capítulo, será apresentada a técnica de Análise de Sensibilidade aplicada a problemas de Programação Não Linear (PNL), utilizada neste trabalho (SILVA, 2005).

A metodologia apresentada é baseada no teorema proposto por Fiacco (1976), que utiliza a Análise de Sensibilidade de primeira ordem aplicada à solução local de segunda ordem para estimar a solução após a ocorrência de perturbações no problema de PNL. As perturbações podem ser tanto nas restrições como na função objetivo. Na Análise de Sensibilidade apresentada a seguir, são consideradas apenas as perturbações nas restrições de igualdade.

A seguir, no problema generalizado de programação não linear, perturbações ε são incluídas às restrições de igualdade.

$$\begin{aligned} &\text{Minimizar } f(x) \\ &\text{sujeito a :} \\ &\quad g(x) + \varepsilon = 0 \\ &\quad h(x) \leq 0 \end{aligned} \tag{17}$$

Em que:

- $x \in \mathcal{R}^n$ é o vetor das variáveis do problema;

- $f(x)$ é a função objetivo;
- $g(x) \in \mathbb{R}^m$ é o vetor das restrições de igualdade;
- $h(x) \in \mathbb{R}^p$ é o vetor das restrições de desigualdade;
- $\varepsilon \in \mathbb{R}^m$ é o vetor perturbação nas restrições de igualdade.

Associa-se ao Problema (14), a seguinte função Lagrangiana:

$$L = f(x) + \pi^T (h(x)) + \lambda^T (g(x) + \varepsilon) \quad (18)$$

em que λ e π são os vetores dos multiplicadores de Lagrange associados às restrições de igualdade e desigualdade, respectivamente.

Essa técnica utiliza, como informação inicial, a solução ótima do Problema (17) não perturbado, isto é, $(x, \pi, \lambda, \varepsilon) = (x^*, \pi^*, \lambda^*, 0)$. Nesse ponto, são aplicadas as seguintes condições:

a) Condições necessárias de primeira ordem da função Lagrangiana:

$$\nabla_x f(x^*) + \pi^{*T} \nabla_x h(x^*) + \lambda^{*T} \nabla_x [g(x^*) + \varepsilon] = 0 \quad (19)$$

b) Igualdade satisfeita:

$$g(x^*) + \varepsilon = 0 \quad (20)$$

c) Folga complementar:

$$\pi^{*T} h(x^*) = 0 \quad (21)$$

As raízes das equações (19) à (21) são encontradas linearizando o sistema no ponto $(x^*, \pi^*, \lambda^*, 0)$, o que resulta em:

$$\begin{aligned}
& (\nabla_x f(x^*) + \pi^{*T} \nabla_x h(x^*)) + \lambda^{*T} \nabla_x g(x^*) + \nabla_{xx}^2 L^* \Delta x + \nabla_x g(x^*)^T \Delta \lambda + \\
& + \nabla_x h(x^*)^T \Delta \pi = 0 \\
& (g(x^*) + \varepsilon) + \nabla_x g(x^*)^T \Delta x = 0 \\
& (\pi^{*T} h(x^*) + \pi^{*T} \nabla_x h(x^*) \Delta x + h(x^*)^T \Delta \pi = 0
\end{aligned} \tag{22}$$

Eliminando os termos nulos de (22), tem-se que:

$$\begin{aligned}
\nabla_{xx}^2 L^* \Delta x & + \nabla_x h(x^*) \Delta \pi + \nabla_x g(x^*) \Delta \lambda & = & 0 \\
\pi^{*T} \nabla_x h(x^*)^T \Delta x & + h(x^*) \Delta \pi & = & 0 \\
\nabla_x g(x^*)^T \Delta x & + \varepsilon & = & 0
\end{aligned} \tag{23}$$

Reescrevendo o sistema (23) em forma matricial:

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta \sigma \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \nabla_{xx}^2 L^* & \nabla_x h(x^*) & \nabla_x g(x^*) \\ \pi^{*T} \nabla_x h(x^*)^T & h(x^*) & 0 \\ \nabla_x g(x^*)^T & 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \varepsilon \end{bmatrix} \tag{24}$$

Em que:

$$\nabla_{xx}^2 L^* = \nabla_{xx}^2 f(x^*) + \nabla_{xx}^2 \sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(x^*) - \nabla_{xx}^2 \sum_{j=1}^r \pi_j h_j(x^*)$$

Em que:

m=nbc

r=npv+nb

No Sistema (24), a matriz dos coeficientes é a matriz de sensibilidade proposta por Fiacco (1976). O vetor $(\Delta x, \Delta \sigma, \Delta \lambda)$ é utilizado na atualização das variáveis e o vetor independente corresponde às perturbações introduzidas ao sistema.

A matriz (24), escrita de forma compacta, é dada em (25):

$$\begin{bmatrix} x(\varepsilon) \\ \sigma(\varepsilon) \\ \lambda(\varepsilon) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x^* \\ \sigma^* \\ \lambda^* \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \nabla^2 L^* & H^* & G^* \\ M^* (H^*)^T & \text{diag}[h_j(x^*)] & 0 \\ (G^*)^T & 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \varepsilon_i \end{bmatrix} \quad (25)$$

Em que:

$$M^* = \begin{pmatrix} \pi_1^* & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \pi_j^* \end{pmatrix};$$

$$G^* = (\nabla g_1^*, \dots, \nabla g_m^*); \quad H^* = (\nabla h_1^*, \dots, \nabla h_r^*); \quad E = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \dots \\ \varepsilon_m \end{bmatrix};$$

Após a determinação de $(\Delta x, \Delta \sigma, \Delta \lambda)$, obtém-se a nova solução ótima do problema para o caso perturbado, em que as variáveis são atualizadas de acordo com:

$$x(\varepsilon) = x^* - \Delta x$$

$$\pi(\varepsilon) = \pi^* - \Delta \pi \quad (26)$$

$$\lambda(\varepsilon) = \lambda^* - \Delta \lambda$$

A matriz de sensibilidade (25) é esparsa e simétrica de posição, mas não de valores. Para resolver esse sistema, utilizou-se uma técnica de esparsidade elaborada pelo Grupo de Algoritmos Numéricos, do Laboratório Harwell, do United Kingdom Atomic Energy Authority. A sub-rotina utilizada foi a MA28³. Essa sub-rotina é utilizada para resolver sistemas cujas matrizes são esparsas, fazendo uso de uma variante da eliminação de Gauss. A

³ A sub-rotina MA28 foi apresentada por DUFF & REID (1979), constitui um método direto de resolução de sistemas do tipo $Ax = b$. O método é uma variante da eliminação Gauss para sistemas esparsos.

sub-rotina MA28 trabalha somente com os valores não-nulos da matriz. A técnica de Análise de Sensibilidade foi implementado em Fortran, assim como a sub- -rotina MA28.

A técnica de Análise de Sensibilidade pode ser representada por meio do fluxograma da Figura 3.

Figura 3- Fluxograma da técnica de Análise de Sensibilidade

A seguir, é apresentada uma breve descrição dos módulos para solução do algoritmo.

Leitura de Dados: nessa sub-rotina é feita a leitura de dois bancos de dados. No primeiro banco, encontram-se os parâmetros e os dados do sistema elétrico. No segundo banco, encontra-se a solução ótima do sistema obtida via solução do problema de Máximo Carregamento.

$$\begin{aligned}
& \text{Maximizar } x_1^2 + x_2^2 \\
& \text{Sujeito a :} \\
& \quad x_1 + 2x_2 = 1 + \varepsilon \\
& \quad x_1^2 - x_2 \leq 0
\end{aligned} \tag{28}$$

Para que a técnica de Análise de Sensibilidade possa ser aplicada, a solução ótima do problema (28) deve ser obtida, a priori. Em seguida, por meio da técnica de Análise de Sensibilidade, uma nova solução para o problema perturbado é estimada, quando $\varepsilon \neq 0$.

4.1.1 Obtenção da solução ótima

Ao problema (28), associa-se a seguinte função Lagrangiana:

$$L = (x_1^2 + x_2^2) + \lambda(x_1 + 2x_2 - 1 - \varepsilon) + \sigma(x_1^2 - x_2)$$

Aplicada a condição de otimalidade à função Lagrangiana, o seguinte sistema de equações não lineares é obtido:

$$\begin{aligned}
\nabla L x_1 &= 2x_1 + \lambda + 2\sigma x_1 = 0 \\
\nabla L x_2 &= 2x_2 + 2\lambda - \sigma = 0 \\
\nabla L \lambda &= x_1 + 2x_2 - 1 - \varepsilon = 0 \\
\nabla L \sigma &= x_1^2 - x_2 = 0
\end{aligned} \tag{29}$$

Resolvendo o sistema (29), sua solução, em função de ε , é dada pelo seguinte sistema de equações (SE):

$$\begin{aligned}
 x_1 &= \left(\frac{-1 - \sqrt{9 - 8\varepsilon}}{4} \right) \\
 x_2 &= x_1^2 \\
 \sigma &= \frac{-4x_1 + 2x_2}{(4x_1 + 1)} \\
 \lambda &= \frac{-2x_2 + \sigma}{2}
 \end{aligned} \tag{30}$$

Na tabela 1, é apresentada a legenda dos símbolos utilizados para a representação gráfica da solução do problema (27). A solução gráfica do mesmo encontra-se na figura 4.

Tabela 1 – Legenda de símbolos da figura 5 até a figura 9

Símbolo	Significado
*	Ponto ótimo, sem perturbação, utilizado na Análise de Sensibilidade
+	Ponto ótimo após perturbação
○	Ponto estimado através da AS
—	Restrição de desigualdade
---	Restrição de igualdade
—	Restrição de igualdade perturbada

O ponto ótimo do problema sem perturbação, para $\varepsilon=0$, que satisfaz KKT, obtido por meio do sistema de equações dado em (30), é apresentado na tabela 2 e está representado na figura 4. Na tabela 2, também são apresentados os valores dos multiplicadores associados à equação de igualdade e à inequação, dados por λ e σ , respectivamente, assim como o valor da função objetivo dado por (FO), a qual é representada por curvas de nível, na figura 4.

Figura 4 – Solução ótima do problema, $\varepsilon=0$

Tabela 2 - Solução ótima do problema, $\varepsilon=0$

$\varepsilon\%$	ε	x_1	x_2	σ	λ	F0
0%	0,0000	-1,0000	1,0000	-2,0000	-2,0000	2,0000

4.1.2 Estimação do novo ponto via sensibilidade

A forma compacta da representação matricial da técnica de Análise de Sensibilidade é dada por meio do seguinte sistema:

$$\begin{bmatrix} x(\varepsilon) \\ \sigma(\varepsilon) \\ \lambda(\varepsilon) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x^* \\ \sigma^* \\ \lambda^* \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \nabla^2 L^* & H^* & G^* \\ M^* (H^*)^T & \text{diag}[h_j(x^*)] & 0 \\ (G^*)^T & 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \varepsilon_i \end{bmatrix} \quad (31)$$

Substituindo os valores das variáveis dadas na tabela 2 e realizando as devidas operações, tem-se:

$$\begin{bmatrix} x_1(\varepsilon) \\ x_2(\varepsilon) \\ \sigma(\varepsilon) \\ \lambda(\varepsilon) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1,0000 \\ 1,0000 \\ -2,0000 \\ -2,0000 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -2,0000 & 0,0000 & -2,0000 & 1,0000 \\ 0,0000 & 2,0000 & -1,0000 & 2,0000 \\ 4,0000 & 2,0000 & 0,0000 & 0,0000 \\ 1,0000 & 2,0000 & 0,0000 & 0,0000 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0,0000 \\ 0,0000 \\ 0,0000 \\ \varepsilon \end{bmatrix} \quad (32)$$

Onde as variáveis em função da perturbação ε são determinadas por:

$$\begin{bmatrix} x_1(\varepsilon) \\ x_2(\varepsilon) \\ \sigma(\varepsilon) \\ \lambda(\varepsilon) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1,0000 \\ 1,0000 \\ -2,0000 \\ -2,0000 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -0,3333\varepsilon \\ 0,6667\varepsilon \\ 0,0000\varepsilon \\ -0,6667\varepsilon \end{bmatrix} \quad (33)$$

4.1.3 Validação da metodologia da técnica de Análise de Sensibilidade

Ao problema (28), serão aplicadas as seguintes perturbações: $\varepsilon=0,01$, $\varepsilon=0,05$, $\varepsilon=0,1$, $\varepsilon=0,2$ e $\varepsilon=0,5$ que correspondem, respectivamente, às variações de 1%, 5%, 10%, 20% e 50% nos recursos da restrição de igualdade. Para cada caso será apresentada a comparação entre a solução via técnica de Análise de Sensibilidade e a solução via sistema de equações. Serão mostradas as curvas referentes à equação de igualdade sem perturbação e com perturbação e, também, à inequação.

A tabela 3, a seguir, mostra os pontos obtidos via técnica de AS, “+” e via SE, “o”, para $\varepsilon=0,01$, os quais podem ser visualizados na figura 5.

Tabela 3 – Solução pós-perturbação, $\varepsilon=0,01$							
	$\varepsilon\%$	ε	x_1	x_2	σ	λ	F0
AS	1%	0,01	-0,9967	0,9933	-2,0000	-2,0000	1,9801
SE	1%	0,01	-0,9967	0,9933	-2,0000	-1,9934	1,9801

Figura 5 – Solução do problema para $\varepsilon=0,01$

A tabela 4 mostra os pontos obtidos via AS, “+” e via SE, “o”, para $\varepsilon=0,05$, os quais podem ser visualizados na figura 6.

Tabela 4– Solução pós-perturbação, $\varepsilon=0,05$							
	$\varepsilon\%$	ε	x_1	x_2	σ	λ	F0
AS	5%	0,05	-0,9833	0,9667	-2,0000	-1,9933	1,9014
SE	5%	0,05	-0,9831	0,9665	-2,0002	-1,9666	1,9006

Figura 6 – Solução do problema para $\varepsilon = 0,05$

A tabela 5 mostra os pontos obtidos via AS, “+” e via SE, “o”, para $\varepsilon=0,1$, os quais podem ser visualizados na figura 7.

Tabela 5 – Solução pós-perturbação, $\varepsilon=0,1$							
	$\varepsilon\%$	ε	x_1	x_2	σ	λ	F0
AS	10%	0,1	-0,9667	0,9333	-2,0000	-1,9333	1,8056
SE	10%	0,1	-0,9659	0,9330	-2,0008	-1,9334	1,8035

Figura 7 – Solução do problema para $\varepsilon=0,1$

A tabela 6 mostra os pontos obtidos via AS, “+” e via SE, “o”, para $\varepsilon=0,2$, os quais podem ser visualizados na Figura 8.

Tabela 6 – Solução pós-perturbação, $\varepsilon=0,2$							
	$\varepsilon\%$	ε	x_1	x_2	σ	λ	F0
AS	20%	0,2	-0,9333	0,8667	-2,0000	-1,8667	1,6222
SE	20%	0,2	-0,9301	0,8651	-2,0036	-1,8669	1,6135

Figura 8 – Solução do problema para $\varepsilon=0,2$

A tabela 7 mostra os pontos obtidos via AS, “+” e via SE, “o”, para $\varepsilon=0,5$, os quais podem ser visualizados na Figura 9.

Tabela 7 – Solução pós-perturbação, $\varepsilon=0,5$							F0
	$\varepsilon\%$	ε	x_1	x_2	σ	λ	
AS	50%	0,5	-0,8333	0,6667	-2,0000	-1,6667	1,1389
SE	50%	0,5	-0,8090	0,6545	-2,0326	-1,6708	1,0829

Figura 9 – Solução do problema para $\varepsilon=0,5$

Por meio do exemplo numérico apresentado nessa seção, comprova-se que a técnica de Análise de Sensibilidade pode ser aplicada a problemas de programação não linear de forma

eficiente. Percebe-se que, quanto menor for a perturbação, mais próximos são os resultados obtidos via AS e via Sistema de Equações. A obtenção de novas soluções para o problema perturbado via AS apresenta a vantagem de não ser iterativa e de não depender da escolha e do ajuste de parâmetros iniciais e de correção.

Capítulo 5

5 RESULTADOS NUMÉRICOS

Neste capítulo são apresentados os resultados numéricos obtidos por meio das metodologias desenvolvidas neste trabalho, método da FLBM e técnica de AS. Os sistemas elétricos de potência de 3 barras, IEEE 14, 57, 118 e 300 barras são analisados. Para o sistema elétrico de potência de 3 barras, é demonstrada uma aplicação detalhada para as duas metodologias.

5.1 RESULTADOS – SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA DE 3 BARRAS

Na figura 10 é apresentado o sistema elétrico de potência de 3 barras:

Figura 10 – Sistema elétrico de potência de 3 barras

O sistema teste da figura 10 apresenta as seguintes características:

- 1 barra slack;
- 1 barra de controle reativo;
- 1 barra de carga;
- 2 linhas de transmissão.

Os dados correspondentes ao estado inicial do sistema elétrico de potência de 3 barras (magnitude e fase das tensões, geração ativa e reativa e carga ativa e reativa), são apresentados na tabela 8.

Tabela 8 – Dados do estado inicial do sistema de energia de 3 barras

Barra	Tensão (p.u.)	Ângulo (graus)	P^G (MW)	Q^G (MVar)	P^C (MW)	Q^C (MVar)
1	1,000	0,0	42,92	28,34	-	-
2	1,000	0,0	17,00	101,13	-	-
3	1,000	0,0	-	-	200,00	100,00

Na tabela 9, são apresentados os limites inferiores e superiores das tensões de barra e os limites de geração de reativos, sendo que, por convenção, os valores dos limites de reativos entre - 9999 e 9999 indicam que as gerações estão livres.

Tabela 9 – Limites de tensão e de geração de potência reativa

Barra	$V_{\min}$ (pu)	$V_{\max}$ (pu)	$Q_{\min}$ (MVar)	$Q_{\max}$ (MVar)
1	0,000	1,100	- 9999,00	9999,00
2	0,000	1,100	- 100,00	200,00
3	0,000	1,100	-	-

5.1.1 Solução do problema de Máximo Carregamento via FLBM – Sistema elétrico de potência de 3 barras

O problema de Máximo Carregamento para o sistema apresentado na figura 10 é formulado de acordo com o problema (30), onde todos os limites são dados em p.u. A função

objetivo representa o fator de carregamento do sistema. As equações de igualdade são as equações de balanço da rede ΔP_2 , ΔP_3 e ΔQ_3 e as restrições de desigualdade são os limites inferior e superior da geração de reativos da barra 2 e os limites das tensões das barras.

Maximizar α

Sujeito a :

$$\begin{aligned}
 \Delta P_2 &= 0 \\
 \Delta P_3 &= 0 \\
 \Delta Q_3 &= 0 \\
 -1,0 &\leq Q_2 \leq 2,0 \\
 0,0 &\leq V_1 \leq 1,1 \\
 0,0 &\leq V_2 \leq 1,1 \\
 0,0 &\leq V_3 \leq 1,1
 \end{aligned} \tag{34}$$

Onde:

$$\Delta P_2 = (P_2^G - P_2^C)(1 + \alpha) - V_2 \sum_{i=1}^3 V_i (g_{2i} \cos \theta_{2i} + b_{2i} \sin \theta_{2i}) \tag{35}$$

$$\Delta P_3 = (P_3^G - P_3^C)(1 + \alpha) - V_3 \sum_{i=1}^3 V_i (g_{3i} \cos \theta_{3i} + b_{3i} \sin \theta_{3i}) \tag{36}$$

$$\Delta Q_3 = (Q_3^G - Q_3^C)(1 + \alpha) - V_3 \sum_{i=1}^3 V_i (g_{3i} \sin \theta_{3i} - b_{3i} \cos \theta_{3i}) \tag{37}$$

$$Q_2 = V_2 \sum_{i=1}^3 V_i (g_{2i} \sin \theta_{2i} - b_{2i} \cos \theta_{2i}) \tag{38}$$

Para a solução do problema de Máximo Carregamento, será empregado o método da FLMB, apresentado no terceiro capítulo. De acordo com esse método, as restrições de desigualdade devem ser transformadas em restrições de igualdade por meio do artifício das variáveis de folga ou excesso. Aplicando o método da FLBM ao problema (34), tem-se o problema (39):

$$\begin{aligned}
& \text{Maximizar } \alpha \\
& \text{Sujeito a : } \Delta P_2 = 0 \\
& \quad \Delta P_3 = 0 \\
& \quad \Delta Q_3 = 0 \\
& \quad \mu \ln(\mu^{-1} s \bar{V} 1 + 1) \geq 0; \mu \ln(\mu^{-1} s \underline{V} 1 + 1) \geq 0; \mu \ln(\mu^{-1} s \bar{V} 2 + 1) \geq 0; \\
& \quad \mu \ln(\mu^{-1} s \underline{V} 2 + 1) \geq 0; \mu \ln(\mu^{-1} s \bar{V} 3 + 1) \geq 0; \mu \ln(\mu^{-1} s \underline{V} 3 + 1) \geq 0; \\
& \quad \mu \ln(\mu^{-1} s \underline{Q} 2 + 1) \geq 0; \mu \ln(\mu^{-1} s \underline{Q} 2 + 1) \geq 0; \\
& \quad (V_1 - \bar{V}_1 + s \bar{V} 1) = 0; (V_1 - \underline{V}_1 - s_{\underline{V} 1}) = 0; \\
& \quad (V_2 - \bar{V}_2 + s \bar{V} 2) = 0; (V_2 - \underline{V}_2 - s_{\underline{V} 2}) = 0; \\
& \quad (V_3 - \bar{V}_3 + s \bar{V} 3) = 0; (V_3 - \underline{V}_3 - s_{\underline{V} 3}) = 0; \\
& \quad (Q_2 - \bar{Q}_2 + s \bar{Q} 2) = 0; (Q_2 - \underline{Q}_2 - s_{\underline{Q} 2}) = 0
\end{aligned} \tag{39}$$

Ao problema (39) associa-se a função Lagrangiana barreira modificada. Para cada restrição do problema tem-se um multiplicador de Lagrange correspondente. A função Lagrangiana é dada por:

$$\begin{aligned}
L = & \alpha - u_{\bar{V} 1} \mu \ln(\mu^{-1} s_{\bar{V} 1} + 1) - u_{\underline{V} 1} \mu \ln(\mu^{-1} s_{\underline{V} 1} + 1) - u_{\bar{V} 2} \mu \ln(\mu^{-1} s_{\bar{V} 2} + 1) + \\
& - u_{\underline{V} 2} \mu \ln(\mu^{-1} s_{\underline{V} 2} + 1) + - u_{\bar{V} 3} \mu \ln(\mu^{-1} s_{\bar{V} 3} + 1) - u_{\underline{V} 3} \mu \ln(\mu^{-1} s_{\underline{V} 3} + 1) + \\
& - u_{\bar{Q} 2} \mu \ln(\mu^{-1} s_{\bar{Q} 2} + 1) - u_{\underline{Q} 2} \mu \ln(\mu^{-1} s_{\underline{Q} 2} + 1) + \\
& - \lambda p_2 ((P_2^G - P_2^C)(1 + \alpha) - V_2 \sum_{i=1}^3 V_i (g_{2i} \cos \theta_{2i} + b_{2i} \sin \theta_{2i})) + \\
& - \lambda p_3 ((P_3^G - P_3^C)(1 + \alpha) - V_3 \sum_{i=1}^3 V_i (g_{3i} \cos \theta_{3i} + b_{3i} \sin \theta_{3i})) + \\
& - \lambda q_3 ((Q_3^G - Q_3^C)(1 + \alpha) - V_3 \sum_{i=1}^3 V_i (g_{3i} \sin \theta_{3i} - b_{3i} \cos \theta_{3i})) + \\
& - \pi_{\bar{V} 1} (V_1 + s_{\bar{V} 1} - \bar{V}_1) - \pi_{\underline{V} 1} (V_1 - s_{\underline{V} 1} - \underline{V}_1) - \pi_{\bar{V} 2} (V_2 + s_{\bar{V} 2} - \bar{V}_2) + \\
& - \pi_{\underline{V} 2} (V_2 - s_{\underline{V} 2} - \underline{V}_2) - \pi_{\bar{V} 3} (V_3 + s_{\bar{V} 3} - \bar{V}_3) - \pi_{\underline{V} 3} (V_3 - s_{\underline{V} 3} - \underline{V}_3) + \\
& - \pi_{\bar{Q} 2} (Q_2(V, \theta) + s_{\bar{Q} 2} - \bar{Q}_2) - \pi_{\underline{Q} 2} (Q_2(V, \theta) - s_{\underline{Q} 2} - \underline{Q}_2)
\end{aligned} \tag{40}$$

À função Lagrangiana apresentada acima são aplicadas as condições necessárias de primeira ordem, gerando um sistema de equações não lineares, cuja solução é encontrada por meio do método de Newton. Os multiplicadores de Lagrange irrestritos, associados às

equações de igualdade λ_{p2} , λ_{p3} e λ_{q3} são inicializados em zero e multiplicadores do tipo π e as variáveis de folga e de excesso s , conforme mencionado na seção 3.2.2, satisfazendo KKT.

Na tabela 10, é apresentada a solução do problema de Máximo Carregamento para a tolerância do erro das equações de balanço de 10^{-8} pu. Na solução do problema, as restrições de tensão na barra 1 e de limite de reativo da barra 2 ficaram ativas, enquanto que as demais restrições permaneceram dentro dos limites estabelecidos. No ponto de Máximo Carregamento, a barra de controle de reativos fornece seu limite máximo de 200 MW.

Tabela 10 – Solução para o sistema de 3 barras

Barra	Tipo	V(pu)	θ°	P^G (MW)	Q^G (MVar)	P^C (MW)	Q^C (MVar)
1	2	1,100	0.000	165,68	196,71	-	-
2	1	0,991	16,809	334,51	200,00	-	-
3	0	0,735	-0,718	-	-	393,54	196,77
Fator de carregamento: 0,968							

5.1.2 Análises dos multiplicadores de Lagrange, das restrições e da condição de folga complementar

Conforme apresentado na tabela 10, as restrições de tensão da barra 1 e da geração de potência reativa da barra 2 atingiram seus limites superiores. De acordo com as condições de otimalidade, tem-se que para as restrições ativas os multiplicadores associados devem ser diferentes de zero, para as restrições que não atingiram seus limites os multiplicadores devem ser nulos, os sinais dos multiplicadores devem obedecer às condições de KKT e a condição de folga complementar deve ser satisfeita. Os multiplicadores associados às restrições de igualdade são irrestritos, podendo assumir valores negativos e positivos. Já os multiplicadores associados às restrições de desigualdade devem satisfazer as condições de KKT.

Na tabela 11, são apresentados os valores dos multiplicadores de Lagrange associados às restrições de igualdade e na tabela 12, os relacionados às restrições de desigualdade.

Tabela 11 – Multiplicadores de Lagrange de igualdade

λ_{p2}	λ_{p3}	λ_{Q3}
-0,025	-0,324	-0,394

Tabela 12– Multiplicadores de Lagrange de desigualdade

π_{Q2_s}	π_{Q2_I}	π_{V1_s}	π_{V1_I}	π_{V2_s}	π_{V2_I}	π_{V3_s}	π_{V3_I}
0,323	0,000	2,402	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Como a tensão da barra 1 e a geração de reativos da barra 2 convergiram para o limite superior, tais restrições de desigualdade apresentam multiplicadores associados a elas. Já para as demais restrições de desigualdade, os multiplicadores são nulos.

5.1.3 Técnica de Análise de Sensibilidade aplicada ao sistema de 3 barras

Após obter a solução base ótima do sistema (figura 9), perturbações serão incluídas nas equações de igualdade do problema (34) e, por meio da Análise de Sensibilidade, um novo ponto de operação para o sistema será determinado, sem a necessidade de executar novamente o programa de Máximo Carregamento.

O Problema (34), agora com perturbações nas restrições de igualdade, é escrito da seguinte forma:

Maximizar α

Sujeito a :

$$\Delta P_2 = ((P_{2G} - (P_{2C} - \varepsilon_{P_2})) + (P_{2G} - (P_{2C} - \varepsilon_{P_2}))\alpha) - (V_2^2 G_{22} + V_2 V_3 (G_{23} \cos \theta_{23} + B_{23} \sin \theta_{23}))$$

$$\Delta P_3 = ((P_3^G - (P_3^C - \varepsilon_{P_3})) + (P_3^G - (P_3^C - \varepsilon_{P_3}))\alpha) - V_3 \sum_{i=1}^3 V_i (g_{3i} \cos \theta_{3i} + b_{3i} \sin \theta_{3i})$$

$$\Delta Q_3 = ((Q_3^G - (Q_3^C - \varepsilon_{Q_3})) + (Q_3^G - (Q_3^C - \varepsilon_{Q_3}))\alpha) - V_3 \sum_{i=1}^3 V_i (g_{3i} \sin \theta_{3i} - b_{3i} \cos \theta_{3i})$$

$$(-1,0) \leq Q_2 \leq (2,0)$$

$$(0,0) \leq V_1 \leq (1,1)$$

$$(0,0) \leq V_2 \leq (1,1)$$

$$(0,0) \leq V_3 \leq (1,1)$$

(41)

Sendo que Q_2 é dado por:

$$Q_2(V, \theta) = V_2 \sum_{i=1}^3 V_i (g_{2i} \sin \theta_{2i} - b_{2i} \cos \theta_{2i})$$

A fim de simplificar a representação do problema, todas as restrições de desigualdade serão apresentadas como restrições do tipo $\leq$, bastando para isso que as restrições $\geq$ sejam multiplicadas por (-1). Assim, o problema (41) pode ser reescrito como:

Maximizar α

Sujeito a :

$$\Delta P_2 = 0$$

$$\Delta P_3 = 0$$

$$\Delta Q_3 = 0$$

$$Q_2 \leq 2,0$$

$$-Q_2 \leq -(-1,0) \quad (42)$$

$$V_1 \leq 1,1$$

$$-V_1 \leq -0,0$$

$$V_2 \leq 1,1$$

$$-V_2 \leq -0,0$$

$$V_3 \leq 1,1$$

$$-V_3 \leq -0,0$$

Por questões também de simplificação e de mais fácil entendimento do desenvolvimento da formulação das submatrizes que compõem a técnica de Análise de Sensibilidade, no problema 40 a função objetivo α será dada por $f(x)$, as restrições de igualdade ΔP_2 , ΔP_3 e ΔQ_3 por $g_1(x)$, $g_2(x)$ e $g_3(x)$, respectivamente, e as restrições de desigualdade por $h_i(x)$, $i = 1, \dots, 8$, conforme a ordem apresentada em (42). Assim, a função Lagrangiana associada ao problema (43) é dada por:

$$\begin{aligned} L = & f(x) + \lambda_1 g_1(x) + \lambda_2 g_2(x) + \lambda_3 g_3(x) + \\ & \pi_1 h_1(x) + \pi_2 h_2(x) + \pi_3 h_3(x) + \\ & \pi_4 h_4(x) + \pi_5 h_5(x) + \pi_6 h_6(x) + \\ & \pi_7 h_7(x) + \pi_8 h_8(x) \end{aligned} \quad (43)$$

À função Lagrangiana (43) são aplicadas as condições de KKT:

a) condições necessárias de primeira ordem em relação às variáveis primais:

$$\nabla_x L(x, \lambda, \pi, \varepsilon) = 0 \quad (44)$$

b) as restrições de igualdade devem ser satisfeitas:

$$\begin{aligned} g_1(x, \varepsilon) &= 0 \\ g_2(x, \varepsilon) &= 0 \\ g_3(x, \varepsilon) &= 0 \end{aligned} \quad (45)$$

c) a condição de folga complementar deve ser satisfeita:

$$\begin{aligned}
 \pi_1 h_1(x, \varepsilon) &= 0 \\
 \pi_2 h_2(x, \varepsilon) &= 0 \\
 \pi_3 h_3(x, \varepsilon) &= 0 \\
 \pi_4 h_4(x, \varepsilon) &= 0 \\
 \pi_5 h_5(x, \varepsilon) &= 0 \\
 \pi_6 h_6(x, \varepsilon) &= 0 \\
 \pi_7 h_7(x, \varepsilon) &= 0 \\
 \pi_8 h_8(x, \varepsilon) &= 0
 \end{aligned} \tag{46}$$

As submatrizes de sensibilidade dadas em função das variáveis elétricas são apresentadas conforme elucidado a seguir:

$$\nabla_{xx}^2 L(x^*, \lambda^*, \pi^*) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 L}{\partial V_1^2} & \frac{\partial^2 L}{\partial V_1 \partial V_2} & \frac{\partial^2 L}{\partial V_1 \partial V_3} & \frac{\partial^2 L}{\partial V_1 \partial \theta_2} & \frac{\partial^2 L}{\partial V_1 \partial \theta_3} & \frac{\partial^2 L}{\partial V_1 \partial \alpha} \\ \frac{\partial^2 L}{\partial V_2 \partial V_1} & \frac{\partial^2 L}{\partial V_2^2} & \frac{\partial^2 L}{\partial V_2 \partial V_3} & \frac{\partial^2 L}{\partial V_2 \partial \theta_2} & \frac{\partial^2 L}{\partial V_2 \partial \theta_3} & \frac{\partial^2 L}{\partial V_2 \partial \alpha} \\ \frac{\partial^2 L}{\partial V_3 \partial V_1} & \frac{\partial^2 L}{\partial V_3 \partial V_2} & \frac{\partial^2 L}{\partial V_3^2} & \frac{\partial^2 L}{\partial V_3 \partial \theta_2} & \frac{\partial^2 L}{\partial V_3 \partial \theta_3} & \frac{\partial^2 L}{\partial V_3 \partial \alpha} \\ \frac{\partial^2 L}{\partial \theta_2 \partial V_1} & \frac{\partial^2 L}{\partial \theta_2 \partial V_2} & \frac{\partial^2 L}{\partial \theta_2 \partial V_3} & \frac{\partial^2 L}{\partial \theta_2^2} & \frac{\partial^2 L}{\partial \theta_2 \partial \theta_3} & \frac{\partial^2 L}{\partial \theta_2 \partial \alpha} \\ \frac{\partial^2 L}{\partial \theta_3 \partial V_1} & \frac{\partial^2 L}{\partial \theta_3 \partial V_2} & \frac{\partial^2 L}{\partial \theta_3 \partial V_3} & \frac{\partial^2 L}{\partial \theta_3 \partial \theta_2} & \frac{\partial^2 L}{\partial \theta_3^2} & \frac{\partial^2 L}{\partial \theta_3 \partial \alpha} \\ \frac{\partial^2 L}{\partial \alpha \partial V_1} & \frac{\partial^2 L}{\partial \alpha \partial V_2} & \frac{\partial^2 L}{\partial \alpha \partial V_3} & \frac{\partial^2 L}{\partial \alpha \partial \theta_2} & \frac{\partial^2 L}{\partial \alpha \partial \theta_3} & \frac{\partial^2 L}{\partial \alpha^2} \end{bmatrix} \tag{47}$$

$$\nabla_x g(x^*) = \begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial V_1} & \frac{\partial g_2}{\partial V_1} & \frac{\partial g_3}{\partial V_1} \\ \frac{\partial g_1}{\partial V_2} & \frac{\partial g_2}{\partial V_2} & \frac{\partial g_3}{\partial V_2} \\ \frac{\partial g_1}{\partial V_3} & \frac{\partial g_2}{\partial V_3} & \frac{\partial g_3}{\partial V_3} \\ \frac{\partial \theta_2}{\partial g_1} & \frac{\partial \theta_2}{\partial g_2} & \frac{\partial \theta_2}{\partial g_3} \\ \frac{\partial \theta_3}{\partial g_1} & \frac{\partial \theta_3}{\partial g_2} & \frac{\partial \theta_3}{\partial g_3} \\ \frac{\partial \alpha}{\partial g_1} & \frac{\partial \alpha}{\partial g_2} & \frac{\partial \alpha}{\partial g_3} \end{bmatrix} \quad (48)$$

$$\nabla_x h(x^*) = \begin{bmatrix} \frac{\partial h_1}{\partial V_1} & \frac{\partial h_2}{\partial V_1} & \frac{\partial h_3}{\partial V_1} & \frac{\partial h_4}{\partial V_1} & \frac{\partial h_5}{\partial V_1} & \frac{\partial h_6}{\partial V_1} & \frac{\partial h_7}{\partial V_1} & \frac{\partial h_8}{\partial V_1} \\ \frac{\partial h_1}{\partial V_2} & \frac{\partial h_2}{\partial V_2} & \frac{\partial h_3}{\partial V_2} & \frac{\partial h_4}{\partial V_2} & \frac{\partial h_5}{\partial V_2} & \frac{\partial h_6}{\partial V_2} & \frac{\partial h_7}{\partial V_2} & \frac{\partial h_8}{\partial V_2} \\ \frac{\partial h_1}{\partial V_3} & \frac{\partial h_2}{\partial V_3} & \frac{\partial h_3}{\partial V_3} & \frac{\partial h_4}{\partial V_3} & \frac{\partial h_5}{\partial V_3} & \frac{\partial h_6}{\partial V_3} & \frac{\partial h_7}{\partial V_3} & \frac{\partial h_8}{\partial V_3} \\ \frac{\partial \theta_2}{\partial h_1} & \frac{\partial \theta_2}{\partial h_2} & \frac{\partial \theta_2}{\partial h_3} & \frac{\partial \theta_2}{\partial h_4} & \frac{\partial \theta_2}{\partial h_5} & \frac{\partial \theta_2}{\partial h_6} & \frac{\partial \theta_2}{\partial h_7} & \frac{\partial \theta_2}{\partial h_8} \\ \frac{\partial \theta_3}{\partial h_1} & \frac{\partial \theta_3}{\partial h_2} & \frac{\partial \theta_3}{\partial h_3} & \frac{\partial \theta_3}{\partial h_4} & \frac{\partial \theta_3}{\partial h_5} & \frac{\partial \theta_3}{\partial h_6} & \frac{\partial \theta_3}{\partial h_7} & \frac{\partial \theta_3}{\partial h_8} \\ \frac{\partial \alpha}{\partial h_1} & \frac{\partial \alpha}{\partial h_2} & \frac{\partial \alpha}{\partial h_3} & \frac{\partial \alpha}{\partial h_4} & \frac{\partial \alpha}{\partial h_5} & \frac{\partial \alpha}{\partial h_6} & \frac{\partial \alpha}{\partial h_7} & \frac{\partial \alpha}{\partial h_8} \end{bmatrix} \quad (49)$$

$$\pi^{*T} \nabla_x h(x^*)^T = \begin{bmatrix} \pi_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \pi_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pi_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pi_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \pi_5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pi_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pi_7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pi_8 \end{bmatrix} \nabla_x h(x^*)^T \quad (50)$$

$$h(x^*) = \begin{bmatrix} h_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & h_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_8 \end{bmatrix} \quad (51)$$

em que a solução ótima do problema não perturbado é dada por:

$$x^* = (V_1, V_2, V_3, \theta_2, \theta_3, \alpha)^*$$

5.1.4 Perturbações na carga do sistema

Após a determinação de todas as submatrizes para a aplicação da técnica de Análise de Sensibilidade, as cargas ativas e reativas da barra de carga do sistema (42) foram perturbadas. Foram realizados acréscimos de 1 a 4% nos recursos das equações de igualdade, sendo que os valores das perturbações em p.u. para a barra de carga, com carga inicial de 200 MW e 100 MVA, são apresentados na tabela 13:

Tabela 13 – Valores das perturbações

Perturbações	1%	2%	3%	4%
ε_{p3}	0,02	0,04	0,06	0,08
ε_{q3}	0,01	0,02	0,03	0,04

O ponto de operação para o sistema perturbado é dado na tabela 14:

Tabela 14– Pontos de operação para diferentes percentuais de perturbação

ε	Magnitude (p.u) e ângulos (graus) das tensões nas barras						Fator de carregamento
	V_1	V_2	V_3	θ_1	θ_2	θ_3	α
0%	1,100	0,991	0,735	0,000	16,809	-0,718	0,968
1%	1,100	0,992	0,736	0,000	17,062	-0,542	0,978
2%	1,100	0,993	0,737	0,000	17,315	-0,366	0,989
3%	1,100	0,995	0,739	0,000	17,567	-0,191	0,999
4%	1,100	0,996	0,740	0,000	17,820	-0,015	1,009

Observa-se, na tabela 14, que conforme a carga da barra de carga diminuiu, a tensão das barras 2 e 3 aumentou, assim como o fator de carregamento do sistema.

A geração de reativos da barra 2 se manteve em seu limite superior, ou seja, permaneceu ativa nas soluções perturbadas.

A figura 11 apresenta o erro das equações de balanço para o sistema elétrico de potência de 3 barras, sendo que a curva em azul representa o erro em p.u. para as equações de igualdade de potência ativa e a curva em vermelho o erro em p.u. para as equações de igualdade de potência reativa.

Figura 11 – Erro nas equações de balanço

Após a obtenção do caso base ótimo do problema de Máximo Carregamento para os sistemas IEEE 14, 57, 118 e 300 por meio do método da FLBM, a fim de determinar qual a barra de cada sistema é a melhor opção para o corte de carga (ou seja, leva o fator de carregamento desse sistema ao máximo aumento), foram feitos testes realizando corte de carga em cada uma das barras de controle de reativos e barras de carga para todos os sistemas. Em cada teste, apenas a carga da barra analisada era modificada, ou seja, as demais cargas eram mantidas de acordo com o banco de dados. Foram realizados cortes de carga de 1% na carga ativa, no caso das barras com controle de potência reativa, e, também, de 1% da carga ativa e reativa, mantendo o fator de potência constante, no caso das barras de carga. Esses mesmos testes, para todos os sistemas, foram realizados utilizando-se a técnica de AS.

Os resultados obtidos por meio de ambas as abordagens foram confrontados a fim de validar o uso da técnica de AS como ferramenta para indicação da barra mais sensível em relação à variação do fator de carregamento dos sistemas analisados. Essa informação é muito importante para o operador do sistema elétrico de potência, pois no caso do sistema encontrar-se na proximidade de um colapso de tensão, o operador poderá atuar de forma rápida, cortando – primeiramente – a carga da barra que irá proporcionar um maior aumento da

Tabela 15 – Solução ótima do sistema de 14 barras ($\varepsilon=0$) usada pela AS

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
1	1,1000	0,0000
2	0,9445	-8,7467
3	0,7860	-29,1344
4	0,7963	-21,7059
5	0,8248	-17,6256
6	0,7057	-38,1150
7	0,7297	-33,1907
8	0,7836	-33,1907
9	0,6745	-40,2937
10	0,6582	-41,2179
11	0,6715	-40,2210
12	0,6603	-41,9012
13	0,6458	-42,2235
14	0,6028	-46,1797
Fator de carregamento: 0,8484		

As barras de controle de geração de potência reativa 2,3,6 e 8 atingiram seus limites superiores de geração de potência reativa, conforme verifica-se na tabela 16.

Tabela 16 – Geração de potência reativa do sistema IEEE 14 barras

Barra	Potência Reativa Gerada (MVA_r)
1	312,407
2	50,000
3	40,000
6	24,000
8	24,000

Na solução base ótima obtida por meio do método da FLBM, o maior erro para potência ativa ocorreu na barra 5 e foi menor que 9×10^{-6} p.u. Para a potência reativa ocorreu na barra 13 e foi menor que 10×10^{-6} p.u.

Realizando o teste de corte de carga, a barra que apresentou maior sensibilidade em relação ao fator de carregamento foi a barra 9. Essa barra seria a melhor opção para se realizar um corte de carga e, assim, obter um maior aumento do fator de carregamento do sistema.

5.2.2 Análise de Sensibilidade – Determinação da barra com maior sensibilidade em relação ao fator de carregamento para o sistema IEEE 14 Barras

Aplicando a técnica de AS, foi verificado que seria mais eficiente para o aumento do fator de carregamento do sistema a realização de um corte de carga também na barra 9. A tabela 17 mostra os valores de magnitude de tensão, ângulo e fator de carregamento para a perturbação de 1% na barra de carga 9, mantendo o fator de potência do sistema elétrico de potência constante.

Tabela 17 – Corte de carga na barra 9 do sistema IEEE 14 barras ($\varepsilon=1\%$)

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
1	1,1000	0,0000
2	0,9445	-8,7417
3	0,7861	-29,1060
4	0,7963	-21,6942
5	0,8248	-17,6162
6	0,7058	-38,0993
7	0,7297	-33,1955
8	0,7836	-33,1955
9	0,6745	-40,3091
10	0,6582	-41,2266
11	0,6715	-40,2161
12	0,6603	-41,8788
13	0,6458	-42,2028
14	0,6028	-46,1716
Fator de carregamento: 0,8506		

Para o corte de carga de 1% na barra de carga 9, o maior erro para potência ativa ocorreu na barra 3 e foi menor que 5×10^{-3} p.u. Para a potência reativa ocorreu na barra 9 e foi menor que 4×10^{-4} p.u.

A seguir, na tabela 18, são apresentados os resultados obtidos perturbando a barra crítica do sistema IEEE 14 barras, ou seja, a barra 14.

Tabela 18 – Corte de carga na barra 14 do sistema IEEE 14 barras ($\varepsilon=1\%$)		
Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
1	1,1000	0,0000
2	0,9445	-8,7472
3	0,7860	-29,1420
4	0,7963	-21,7063
5	0,8248	-17,6251
6	0,7058	-38,1059
7	0,7297	-33,1833
8	0,7836	-33,1833
9	0,6745	-40,2816
10	0,6582	-41,2072
11	0,6715	-40,2118
12	0,6603	-41,8896
13	0,6458	-42,2058
14	0,6028	-46,1252
Fator de carregamento: 0,8492		

Para o corte de carga de 1% na barra de carga 14, o maior erro para potência ativa ocorreu na barra 14 e foi menor que 5×10^{-3} p.u. e para a potência reativa foi na barra 9 e foi menor que 7×10^{-4} p.u.

Observa-se que a magnitude de tensão da barra 1 manteve-se em seu limite superior para as perturbações tanto na barra de carga 9 quanto na barra crítica.

A barra 14, por ser a barra com menor magnitude de tensão, poderia ser indicada como a primeira opção no corte de carga para melhorar o fator de carregamento do sistema, porém, conforme verificado por meio das duas metodologias, a melhor opção é um corte de carga na barra 9.

5.3 IEEE 57 BARRAS

5.3.1 Solução do problema de Máximo Carregamento via FLBM – IEEE 57 barras

Na tabela 19 é apresentada a solução base ótima das variáveis primais do problema de Máximo Carregamento para o sistema IEEE 57 barras, mostrado na figura 13. O fator de carregamento do sistema é 0,6634 e a barra crítica é a barra 31 com a magnitude de tensão de 0,4896 p.u. Verifica-se que apenas a barra 1 atingiu seu limite superior de tensão.

Figura 13 – Sistema IEEE 57 barras

Tabela 19 – Solução ótima do sistema IEEE 57 barras ($\varepsilon=0$) usada pela AS

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
1	1,1000	0,0000
2	1,0571	-2,0975
3	1,0000	-10,0002
4	0,9863	-12,2634
5	0,9798	-14,4861
6	0,9869	-14,8289
7	0,9791	-13,1691
8	1,0294	-8,1285
9	0,9603	-16,1413
10	0,9466	-19,1014
11	0,9370	-16,9373
12	0,9949	-16,9231
13	0,9503	-16,0480
14	0,9406	-15,2357
15	0,9783	-11,6267
16	1,0046	-14,1374
17	1,0330	-8,3729
18	0,9443	-20,4157
19	0,8632	-23,2288
20	0,8364	-23,6043
21	0,8229	-23,1498
22	0,8215	-22,9912
23	0,8171	-23,0983
24	0,7740	-23,0744
25	0,6239	-40,8040
26	0,7823	-22,2456
27	0,8674	-20,2253
28	0,9118	-18,5402
29	0,9470	-17,4464
30	0,5663	-43,4597
31	0,4896	-47,7474
		continua

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
32	0,5494	-44,0640
33	0,5427	-44,2631
34	0,6984	-25,7151
35	0,7223	-25,3535
36	0,7496	-24,8780
37	0,7701	-24,4311
38	0,8298	-22,7459
39	0,7670	-24,5523
40	0,7474	-25,0610
41	0,8453	-26,3392
42	0,7590	-29,4765
43	0,9078	-19,5502
44	0,8582	-21,0257
45	0,9418	-16,1820
46	0,9071	-18,9688
47	0,8599	-22,0860
48	0,8511	-22,3289
49	0,8636	-22,7672
50	0,8485	-23,8079
51	0,9256	-21,6340
52	0,8708	-20,3252
53	0,8427	-21,6158
54	0,8826	-20,3883
55	0,9403	-18,4849
56	0,7398	-30,3597
57	0,7208	-31,8096
Fator de carregamento: 0,6634		

conclusão

As barras de controle de geração de potência reativa 2, 3, 6, 8, 9 e 12 atingiram seus limites superiores de geração de potência reativa, conforme observa-se na tabela 20.

Tabela 20 – Geração de reativos do sistema IEEE 57 barras

Barra com controle de Potência Reativa	Potência Reativa Gerada (MVar)
1	325,86
2	50,00
3	60,00
6	25,00
8	200,00
9	9,00
12	24,00

Na solução base ótima, o maior erro para potência ativa ocorreu na barra 13 e foi menor que 2×10^{-6} p.u.; para a potência reativa o maior erro ocorreu na barra de carga 13 e foi menor que 6×10^{-6} p.u.

Realizando o teste de corte de carga, a barra que apresentou maior sensibilidade em relação ao fator de carregamento foi a barra 12. Essa barra seria a melhor opção para a realização de um corte de carga e, assim, obter um maior aumento do fator de carregamento do sistema.

5.3.2 Análise de Sensibilidade – Determinação da barra com maior sensibilidade em relação ao fator de carregamento do sistema IEEE 57 Barras

Aplicando a técnica de AS, foi obtido que seria mais eficiente para o aumento do fator de carregamento do sistema um corte de carga também na barra 12. A tabela 21 mostra os valores de magnitude de tensão, ângulo e fator de carregamento para a perturbação de 1% na barra 12.

Tabela 21 – Corte de carga na barra 12 do sistema IEEE 57 barras ($\varepsilon=1\%$) usada pela AS

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
1	1,1000	0,0000
2	1,0567	-2,0702
3	0,9998	-9,8709
4	0,9863	-12,1091
5	0,9799	-14,3001
6	0,9870	-14,6397
7	0,9790	-12,9872
8	1,0283	-7,9827
9	0,9601	-15,8966
10	0,9466	-18,7812
11	0,9370	-16,6684
12	0,9956	-16,6008
13	0,9503	-15,7814
14	0,9406	-14,9948
15	0,9783	-11,4588
16	1,0049	-13,8876
17	1,0333	-8,2404
18	0,9444	-20,1893
19	0,8633	-22,9023
20	0,8365	-23,2456
21	0,8229	-22,7797
22	0,8215	-22,6203
23	0,8171	-22,7237
24	0,7740	-22,6847
25	0,6240	-40,2212
26	0,7824	-21,8654
27	0,8675	-19,9281
28	0,9118	-18,2884
29	0,9470	-17,2235
30	0,5665	-42,7677
31	0,4901	-46,8732
		continua

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
32	0,5494	-43,2950
33	0,5428	-43,4803
34	0,6985	-25,1774
35	0,7223	-24,8436
36	0,7496	-24,4043
37	0,7701	-23,9875
38	0,8298	-22,3839
39	0,7671	-24,1042
40	0,7475	-24,5833
41	0,8452	-25,9811
42	0,7592	-29,0177
43	0,9078	-19,2568
44	0,8582	-20,7074
45	0,9417	-15,9664
46	0,9071	-18,6906
47	0,8599	-21,7553
48	0,8511	-21,9861
49	0,8637	-22,4223
50	0,8487	-23,4294
51	0,9256	-21,2962
52	0,8709	-19,9996
53	0,8429	-21,2490
54	0,8827	-20,0617
55	0,9402	-18,2185
56	0,7400	-29,8554
57	0,7210	-31,2694
Fator de carregamento: 0,6764		

conclusão

Para um corte de carga de 1% na barra 31, barra crítica, o maior erro para a potência ativa foi menor do que 2×10^{-2} p.u. e o maior erro para a potência reativa menor do que 2×10^{-2} p.u.

Na tabela 22, são apresentados os valores das variáveis primais para o sistema IEEE 57 barras obtidos após um corte de carga de 1% na barra crítica, ou seja, na barra 31.

Tabela 22 – Corte de carga na barra 31 do sistema IEEE 57 barras ($\epsilon=1\%$) usada pela AS

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
1	1,1000	0,0000
2	1,0570	-2,0928
3	0,9999	-9,9780
4	0,9863	-12,2365
5	0,9798	-14,4544
6	0,9869	-14,7978
7	0,9790	-13,1433
8	1,0292	-8,1158
9	0,9603	-16,1045
10	0,9466	-19,0526
11	0,9370	-16,8944
12	0,9950	-16,8799
13	0,9503	-16,0057
14	0,9406	-15,1947
15	0,9783	-11,5978
16	1,0047	-14,1008
17	1,0331	-8,3516
18	0,9444	-20,3681
19	0,8632	-23,1584
20	0,8364	-23,5283
21	0,8229	-23,0754
22	0,8215	-22,9175
23	0,8171	-23,0240
24	0,7740	-23,0026
25	0,6240	-40,7073
26	0,7823	-22,1757
27	0,8674	-20,1713
		continua

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
28	0,9118	-18,4963
29	0,9470	-17,4093
30	0,5663	-43,3551
31	0,4897	-47,6530
32	0,5494	-43,9340
33	0,5427	-44,1297
34	0,6984	-25,6098
35	0,7223	-25,2519
36	0,7496	-24,7829
37	0,7701	-24,3419
38	0,8298	-22,6742
39	0,7670	-24,4620
40	0,7474	-24,9647
41	0,8453	-26,2699
42	0,7590	-29,3803
43	0,9078	-19,5000
44	0,8582	-20,9630
45	0,9417	-16,1421
46	0,9071	-18,9178
47	0,8599	-22,0217
48	0,8511	-22,2619
49	0,8637	-22,7019
50	0,8485	-23,7369
51	0,9256	-21,5788
52	0,8708	-20,2611
53	0,8428	-21,5412
54	0,8826	-20,3267
55	0,9403	-18,4411
56	0,7399	-30,2519
		continua

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
57	0,7209	-31,6923
Fator de carregamento: 0,6673		
conclusão		

Para a perturbação de 1% na barra crítica do sistema IEEE 57, o maior erro para as equações de igualdade de potência ativa ocorreu na barra 8 e foi menor do que 3×10^{-2} p.u.; para as equações de igualdade de potência reativa o maior erro ocorreu na barra 13 e foi menor do que 2×10^{-3} p.u.

A barra 31, por ser a barra com menor magnitude de tensão, poderia ser indicada como a primeira opção no corte de carga para melhoramento do fator de carregamento do sistema, porém, como pode ser observado, a melhor opção é um corte de carga na barra 12.

5.4 IEEE 118 BARRAS

5.4.1 Solução do sistema IEEE 118 Barras – Método da FLBM

Conforme apresentado na tabela 23, no Apêndice B, o fator de carregamento para o sistema IEEE 118 barras é de 1,3100 e a barra crítica para esse sistema é a barra 76, cujo valor de magnitude de tensão é de 0,8250 p.u. O maior erro para a potência ativa foi menor que 7×10^{-6} para barra 26 e o maior erro para a potência reativa foi menor que 2×10^{-6} barra 94. Também, nessa tabela, verifica-se que as barras 1, 10, 24, 25, 26, 27, 31, 42, 61, 65, 66, 72, 87, 89, 90, 91, 107 e 112 atingiram seus limites superiores de tensão.

As barras de controle de geração de potência reativa 4, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 19, 32, 34, 36, 40, 46, 49, 54, 55, 56, 59, 62, 65, 69, 70, 73, 74, 76, 77, 80, 85, 92, 99, 100, 103, 104,

105, 107 e 113 atingiram seus limites superiores de geração de potência reativa, como observa-se na tabela 24, no Apêndice B.

Realizando os testes de corte de carga, a barra que apresentou a maior sensibilidade em relação ao fator de carregamento para o sistema IEEE 118 barras foi a barra 11. Essa barra seria, inicialmente, a melhor opção para sofrer um corte de carga e, assim, melhorar o fator de carregamento do sistema.

5.4.2 Análise de Sensibilidade – Determinação da barra com maior sensibilidade em relação ao fator de carregamento do sistema IEEE 118 Barras

Aplicando a técnica de AS, foi obtido que seria mais eficiente para o aumento do fator de carregamento do sistema um corte de carga também na barra 11. Para o corte de carga na barra 11, o maior erro para a potência ativa foi para a barra 89 com valor menor que 2×10^{-2} p.u. Já para a potência reativa foi para a barra 68 com um valor menor que 5×10^{-2} p.u. A barra 11 apresentou um fator de carregamento de 1,3113. Os valores das variáveis primais obtidos para esse teste são apresentados na tabela 27, no Apêndice C.

A barra crítica 76, com um corte de carga de 1% em sua carga ativa, apresentou um fator de carregamento de 1,3105. O maior erro para a potência ativa foi para a barra 76 com um valor menor que 9×10^{-3} e o maior erro para a potência reativa foi na barra 118 com um valor menor que 4×10^{-3} . Os valores das variáveis primais para esse teste são apresentados na tabela 28, no Apêndice C.

A barra 76, por ser a barra com menor magnitude de tensão, poderia ser indicada como a primeira opção no corte de carga para melhoramento do fator de carregamento do sistema. A melhor opção, porém, seria um corte de carga na barra 11.

5.5 IEEE 300 BARRAS

5.5.1 Solução do sistema IEEE 300 Barras – Método da FLBM

A tabela 25, do Apêndice B, apresenta a solução ótima base para o sistema IEEE 300 barras. Para esse sistema o fator de carregamento é 0,1474; a barra crítica é a barra 236, cujo valor de tensão é de 0,8439 e as barras, 84, 91, 92, 98, 119, 147, 149, 152, 153, 163, 176, 185, 186, 187, 191, 198, 213, 219, 230, 236, 239, 250, 7002, 7023, 7024, 7039, 7044, 7130 e 7139 atingiram seus limites superiores de tensão. O maior erro para a potência ativa ocorreu na barra 119 e seu valor é menor que 2×10^{-5} p.u. O menor erro para a potência reativa ocorreu na barra 164 e é menor que 4×10^{-4} p.u.

De acordo com a tabela 26, do Apêndice B, as barras de controle de geração de potência reativa 8, 10, 20, 63, 76, 108, 124, 125, 138, 141, 143, 146, 156, 170, 171, 177, 220, 221, 227, 238, 7001, 7003, 7011, 7017, 7055, 7057, 7061, 7062, 7071, 9002, 9051, 9053, 9054, 9055 atingiram seus limites superiores de geração de potência reativa. E as barras

A barra que apresentou a maior sensibilidade em relação ao fator de carregamento do sistema IEEE 300 barras foi a barra 526, que é, também, para esse sistema elétrico de potência, a barra crítica.

5.5.2 Análise de Sensibilidade – Determinação da barra com maior sensibilidade em relação ao fator de carregamento do sistema IEEE 300 Barras

Aplicando a técnica de AS, a barra que apresentou maior sensibilidade com relação ao fator de carregamento também foi a barra 526, cujo valor após a perturbação de 1% foi de 0,1509. Para o sistema perturbado, o máximo erro para a potência reativa ocorreu na barra 57e foi menor que 0,06 p.u. e para a potência reativa menor que 0,1 p.u., na barra 231. Os

valores das variáveis primais para esse teste podem ser verificados na tabela 29, do Apêndice C.

Para sistemas com grande número de barras, a obtenção da barra com maior sensibilidade torna-se inviável pelo método da FLBM, devido ao grande custo computacional e a necessidade do ajuste de parâmetros empíricos. Neste trabalho foram realizados tais testes para os sistemas IEEE 14, 57, 118 e 300 barras somente em função da necessidade de validação da técnica de AS.

Capítulo 6

6 CONCLUSÕES

Nesse trabalho, o ponto de Máximo Carregamento foi determinado por meio de um problema de otimização não linear utilizando uma variante do método de pontos interiores, o método da Função Lagrangiana Barreira Modificada, considerando o Fator de Carregamento como função objetivo do problema. O conjunto de restrições de igualdade foi formado pelas equações de balanço do sistema e o das desigualdades pelos limites de tensões nas barras e pelos limites de geração de potência reativa, pelas barras de controle de geração de reativos.

No método utilizado para resolver o problema de Máximo Carregamento, as restrições canalizadas foram desmembradas em duas desigualdades, nas quais se acrescentaram variáveis de folga, restrições de maior ou igual ou de excesso, restrições de menor ou igual, a fim de transformar essas desigualdades em igualdades. As variáveis de folga ou de excesso devem ser estritamente positivas, pois foram tratadas pela função barreira logarítmica e por um parâmetro de barreira. O valor inicial desse parâmetro é determinado de forma empírica, por meio da sensibilidade do usuário.

O método da FLBM é dependente dos valores estimados para o parâmetro de barreira e para o parâmetro utilizado na atualização desse. Apenas após o ajuste correto desses parâmetros a convergência é alcançada, ou seja, um ponto de operação da rede elétrica é obtido, satisfazendo todas as restrições do problema. Verificou-se que a abordagem é muito eficiente na obtenção das variáveis primais e duais do problema para parâmetros empíricos ajustados corretamente.

A fim de aumentar a segurança dos sistemas elétricos de potência (aumentar suas margens de carregamento), estudos aplicando o corte de carga foram realizados para os sistemas IEEE 14, 57, 118 e 300 barras.

O presente trabalho procurou responder a principal pergunta referente ao procedimento de corte de carga, ou seja, onde fazer o corte de carga. Foram realizados testes de corte de carga a fim de determinar qual a barra que apresentaria a maior sensibilidade em relação ao fator de carregamento e buscou-se qual seria, inicialmente, a barra que deveria sofrer o corte de carga para que a margem de carregamento dos sistemas elétricos de potência analisados aumentasse o máximo possível. Em cada teste, apenas a carga da barra analisada era modificada, ou seja, as demais cargas eram mantidas de acordo com o banco de dados. Foram realizados cortes de carga de 1% na carga ativa, no caso das barras com controle de potência reativa e, também, de 1% da carga ativa e reativa, mantendo o fator de potência constante, no caso das barras de carga. Esses mesmos testes foram realizados, de forma extremamente rápida e simples, utilizando a técnica AS.

A Análise de Sensibilidade mostrou-se uma ferramenta muito eficiente, indicando para o corte de carga a mesma barra obtida por meio da aplicação do PMC, além de fornecer pontos factíveis de operação. Essa técnica apresenta a grande vantagem de ser extremamente rápida (devido ao fato de ser não iterativa) e pode ser usada para estudos de planejamento e operação do sistema a fim de indicar qual barra, inicialmente, deveria sofrer o corte de carga. Além disso, não depende de ajuste de parâmetros.

Como a técnica de AS é mais indicada para fornecer pontos de operação após a ocorrência de pequenas perturbações, ela apresenta-se como uma ferramenta muito importante para a indicação de onde deve ser feito o corte de carga. Com essa informação é possível, por meio da ferramenta do PMC, atuar diretamente na barra indicada por meio da técnica de AS, realizando qualquer quantidade de corte de carga nessa barra e, assim, obter o ponto exato de operação do sistema.

Como perspectiva para continuidade desse trabalho, pretende-se determinar qual o *ranking* para corte de carga e a potência de corte de todos os sistemas analisados.

Pretende-se, também, modelar as metodologias com a introdução das restrições de fluxo nas linhas e taps dos transformadores, além de introduzir perturbações nas restrições de desigualdade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AJJARAPU; V., CHRISTY, C. The Continuation Power Flow: a tool for steady state voltage stability analysis. **IEEE Transactions on Power Systems** , v. 7, p. 416-423,1992.

ALVES, D.A., DA SILVA, L.C.P., CASTRO, C.A., DA COSTA, V.F. Parameterized fast decoupled load flow for tracing the power system bifurcation diaframs, **IEEE Power Engineering Society Summer Meeting**, 1999.

ALMEIDA, K., SALGADO, R. Optimal Power Flow Solutions Under variable Load Conditions. **IEEE Transactions on Power Systems** , v. 15, p. 1204-1211, 2000.

AMJADY, N. E. Application of a New Sensitivity Analysis Framework for Voltage Contingency Ranking. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 20, n. 2, p. 973-983, 2005.

ARYAA , L.D.; PANDEB, V.S.; KOTHARI, D.P. A technique for load-shedding based on voltage stability consideration. **Electrical Power and Energy Systems**. n.27, p.506–517, 2005.

BARBOSA, L. S.Estudo do Máximo Carregamento de Sistemas de Potência via Algoritmos de Pontos Interiores. **Proceedings of XII Brazilian Automatic Control Conference** , v. 6, p. 2005-2010, 1998.

BARBOZA, L.V.; ALMEIDA K.C.; SALGADO, R. An Interior Point Optimization Approach for Loadability Limit Studies. **Anais do VI Seminário de Planejamento e Operação de Sistemas de Potência (SEPOPE)**, Salvador , maio,1998.

BEGOVIC, M. M. Control of Voltage Stability Using Sensitmtty Analysis. **IEE Transactions on Power Systems** , v. 7 , n. 1, p. 114-120, 1992.

CAPITANESCU, F. Unified Sensitivity Analysis of Unstable or Low Voltages Caused by Load Increases or Contingencies. **IEEE Transactions on Power Systems** , v. 20, n.1, p. 321-329, 2005.

CORTEZ, A. N., VALE, M. H. M. Estabilidade de tensão: Impactos técnicos e econômicos decorrentes das metodologias utilizadas na determinação da margem de segurança. **XVI SNPTEE**, Campinas-SP, 2001.

DORIGO, M.; STÜTZLE T. Ant colony optimization, **MIT press**, Cambridge, MA, 2004.

ECHAVARREN, F. L. A corrective load shedding scheme to mitigate voltage collapse. **Electrical Power and Energy Systems**. n. 28, p. 58–64, 2006.

FIACCO, A.V.. Sensitivity Analysis for Nonlinear Programming Using Penalty Methods, *Mathematical Programming*, 10(3), p. 278-311, 1976.

FIACCO, A.V.; McCORMICK, G.P. Nonlinear Programming-Sequential Unconstrained Optimization Techniques, Philadelphia, SIAM. Classics in Applied Mathematics, v. 4, 1990.

FLATABO, N; OGNEDAL, R.; CARLSEN, T. Voltage Stability Condition In A Power Transmission System Calculated By Sensitivity Methods. **IEEE Transaction on Power Systems**, v. 5, n.4, p. 1286-1293, 1990.

FLUECK, A. J. A new power sensitivity method of ranking branch outage contingencies for voltage collapse. **IEEE Transactions on Power Systems** , v. 17, n. 2, p. 265–270, 2002.

GAO. B., MORISON , G.R., KUNDUR , P.. Voltage stability evaluation using modal analysis, **IEEE Transactions on Power Systems**, vol.7, n.4, 1993.

GCOI - Grupo Coordenador para Operação Interligada, **Análise das perturbações dos dias 24 e 25/04/97 no sistema interligado S/SE/CO**, Relatório SCO/SCEL-01/97, 1997.

GRANVILLE, S. Optimal reactive dispatch through interior point methods. **IEEE Transactions on Power Systems** ,v. 9, feb, 1994.

GREENE, S. D. Sensitivity of the loading margin to voltage collapse with respect to arbitrary parameter. **IEEE Transactions on Power Systems** , v. 12, n.1, p. 262-272, 1997.

GREENE, S.; DOBSON, I.; ALVARADO, F. L. Contingency Ranking for Voltage Collapse via Sensitivities from a Single Nose Curve. v. 14, n. 1, p. 232-240, feb, 1999.

HUNT, S. A. Unlocking the grid. **IEEE Spectrum** , v. 33 , n.7, p. 20-25, 1996.

ILIC, M. G. Power Systems Restructuring: Engineering and Economics. **Kluwer Academic Publishers** , 1998.

IRISARRI, G. D.. Maximum Loadability of Power Systems Using Interior Point Non-Linear Optimization Method. **IEEE Transactions on Power Systems** , v.12 n.1, p. 162-172, 1997.

JIANYUAN, X.; WEIFU, Q.; WANG, L.; YUYING, L. Study of Load Shedding Procedure for Power System Voltage Stability. **IEEE - Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), Asia-Pacific** - Chengdu, March 2010- 28-3, p. 1-4.

KUNDUR, P. . Power System Stability and Control. McGraw Hill, 1994.

MELMAN, A.; POLYAK, R.. The Newton Modified Barrier Method for QP Problems. **Annals of Operations Research** , v. 54, p. 465-519, 1996.

MOHAMED A., JASMON. G. Determining the weak segment of a power system with voltage stability considerations. **Electric Machines and Power Systems** , p. 555-568, 1996.

MOMOH, J. A.. The Sensitivity Analysis - Based Corrective Control Scheme of Power System. **IEEE** , p. 1351- 1355, 1995.

MONTICELLI, A. Fluxo de Carga em Redes de Energia Elétrica. São Paulo, Editora Edgar Blucher Ltda. Cap. 5, p. 75-100.

NAKAWIRO, W.; ERLICH, I. **Optimal Load Shedding for Voltage Stability Enhancement by Ant Colony Optimization**. ISAP 2009, Power & Energy Society, November 2009, Curitiba, Brasil.

NEMA, O. M. S.; CASTRO, C.. Índice de proximidade ao colapso de tensão baseado nas perdas de potência ativa – potencial de utilização na operação em tempo real. **III SIMPASE**, p. 1-7, 1996.

OVERBYE T. J. A power flow measure for unsovable cases. **IEEE Transaction on Power Systems**, 9 (3) , agosto, p. 1359-1365,1994.

PAL, M. K..Voltage Stability Conditions Considering Load Characteristics. **Transactions on Power Systems**. v.1, n. 01, p.243-249, 1992.

POLYAK, R.A. Modified barrier functions. **Mathematical Programming** ,v. 54, n.2, p. 177-222, 1992.

QUINTANA, V. H.; GOMEZ, A.; MARTINEZ, J. L.. Nonlinear Optimal Power Flows by Logarithmic-Barrier Primal-Dual Algorithm. **IEEE NAPS Meeting**, 1995.

RIDER, M. J.. Um método de pontos interiores para aplicações em otimização de sistemas de potência. **Anais do XV CBA - Congresso Brasileiro de Automática**, v.1, p. 1-6, 2004.

SHUIPING L., Mingbo L., Min X.. Study of MPC-based Load Shedding for Long-term VoltageStability Enhancement Using Trajectory Sensitivities. **IEEE - Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), Asia-Pacific** - Chengdu, March 2010- 28-3, p. 1-5.

SILVA, L. C. da. Riscos e incertezas: análises de sensibilidade. Espírito Santo. Universidade Federal do Espírito Santo, 2005. Disponível em <<<http://www.agaci.com/risco.htm#T3>>>. Acessado em 26 de março de 2011.

SOUSA, V. A. **Resolução do Problema de Fluxo de Potência Ótimo Reativo Via Método da Função Lagrangiana Barreira Modificada**. 2006. 126 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SOCHA, K.; DORIGO ,M., Ant colony optimization for continuous domains, **European Journal of Operational Research**, vol.185, p. 1155-1173, 2008.

TAYLOR, C.. Power System Voltage Stability. New York: McGraw-Hill, 1994.

TUAN, T. Q., FANDINO, J., SABONNADIÈRE J. C. Emergency load shedding to avoid of voltage stability using indicators. **IEEE Transactions on Power Systems**, PWRS-9, 1994.

XU, J; QI , W.; WANG, L; LIU,Y. **Study of Load Shedding Procedure for Power System Voltage Stability**. IEEE. 2010.

XIAO, Y.; ZHU, Y.. Strategy research on load rejection based on voltage stability, **Shanxi Electric Power**, 2007.

ZAHIDI, R. A.; ABIDIN, I. Z.; HASHIM, H.; OMAR, Y. R.; AHMAD, N.; ALI, A. M.. Study of Static Voltage Stability Index as an Indicator for Under Voltage Load Shedding Schemes. **International Conference on Energy and Environment**, 7-8 December 2009, Malacca, Malaysia.

ZAMBRONI, A. C. Increasing the Loadability of Power Systems Through Optimal-Local-Control Actions. **IEEE Transactions on Power System** , v.19, n.1, p. 188-194, 2004.

Apêndice A – Bancos de dados para os sistemas elétricos de Potência IEEE 14, 57, 118 e 300 barras

• IEEE 14 barras

1	1	3	0	Bus-1-----HV	1.0600	0.0	1.1	0.000000	232.39160	-16.5500	-9999.00	9999.000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.000000															
2	2	2	0	Bus-2-----HV	1.0450	0.0	1.1	-4.9830	40.000000	43.55470	-40.0000	50.00000	21.700000	12.700000	0.0000000
0.000000															
3	3	2	0	Bus-3-----HV	1.0100	0.0	1.1	-12.730	0.0000000	25.07400	0.000000	40.00000	94.200000	19.000000	0.0000000
0.000000															
4	4	0	1	Bus-4-----HV	1.0177	0.0	1.1	-10.310	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	47.800000	-3.900000	0.0000000
0.000000															
5	5	0	2	Bus-5-----HV	1.0195	0.0	1.1	-8.7740	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	7.6000000	1.6000000	0.0000000
0.000000															
6	6	2	0	Bus-6-----LV	1.0700	0.0	1.1	-14.220	0.0000000	12.72970	-6.00000	24.00000	11.100	7.5000000	0.0000000
	7	0	3	Bus-7-----ZV	1.0615	0.0	1.1	-13.360	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.000000															
8	8	2	0	Bus-8-----TV	1.0900	0.0	1.1	-13.360	0.0000000	17.62270	-6.00000	24.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.000000															
9	9	0	4	Bus-9-----LV	1.0559	0.0	1.1	-14.940	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	29.500000	16.600000	0.0000000
0.190000															
10	10	0	5	Bus-10----LV	1.0510	0.0	1.1	-15.100	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	9.0000000	5.8000000	0.0000000
0.000000															
11	11	0	6	Bus-11----LV	1.0569	0.0	1.1	-14.790	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	3.5000000	1.8000000	0.0000000
0.000000															
12	12	0	7	Bus-12----LV	1.0552	0.0	1.1	-15.080	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	6.1000000	1.6000000	0.0000000
0.000000															
13	13	0	8	Bus-13----LV	1.0504	0.0	1.1	-15.160	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	13.500000	5.8000000	0.0000000
0.000000															
14	14	0	9	Bus-14----LV	1.0355	0.0	1.1	-16.030	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	14.900000	5.0000000	0.0000000
0.000000															
99999															
1	1	2	1	2	0	0.0193800	0.05917000	0.0528000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	1	5	1	5	0	0.0540300	0.22304000	0.0492000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	2	3	2	3	0	0.0469900	0.19797000	0.0438000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
4	2	4	2	4	0	0.0581100	0.17632000	0.0340000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	2	5	2	5	0	0.0569500	0.17388000	0.0346000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
6	3	4	3	4	0	0.0670100	0.17103000	0.0128000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
7	4	5	4	5	0	0.0133500	0.04211000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
8	4	7	4	7	1	0.0000000	0.20912000	0.0000000	0.97800	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
9	4	9	4	9	1	0.0000000	0.55618000	0.0000000	0.96900	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
10	5	6	5	6	1	0.0000000	0.25202000	0.0000000	0.93200	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
11	6	11	6	11	0	0.0949800	0.19890000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
12	6	12	6	12	0	0.1229100	0.25581000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
13	6	13	6	13	0	0.0661500	0.13027000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
14	7	8	7	8	0	0.0000000	0.17615000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
15	7	9	7	9	0	0.0000000	0.11001000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
16	9	10	9	10	0	0.0318100	0.08450000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
17	9	14	9	14	0	0.1271100	0.27038000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
18	10	11	10	11	0	0.0820500	0.19207000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
19	12	13	12	13	0	0.2209200	0.19988000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
20	13	14	13	14	0	0.1709300	0.34802000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

- **IEEE 57 barras**

1	1	3	0 Kanawha---V1	1.0400	0.0	1.1	0.000000	478.66360	128.8500	-9999.00	9999.000	55.000000	17.000000		
0.000000	0.000000														
2	2	2	0 Turner----	V1	1.0100	0.0	1.1	-1.1880	0.0000000	-0.75499	-17.0000	50.00000	3.0000000	88.000000	0.000000
0.000000															
3	3	2	0 Logan-----	V1	0.9850	0.0	1.1	-5.9880	40.000000	-0.90508	-10.0000	60.00000	41.000000	21.000000	0.000000
0.000000															
4	4	0	1 Sprigg----	V1	0.9808	0.0	1.1	-7.3370	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.0000000	0.0000000	0.000000
0.000000															
5	5	0	2 Bus-5-----	V1	0.9765	0.0	1.1	-8.5460	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	13.000000	4.0000000	0.000000
0.000000															
6	6	2	0 Beaver-Ck-V1	0.9800	0.0	1.1	-8.6740	0.0000000	0.871383	-8.00000	25.00000	75.000000	2.0000000		
0.000000	0.000000														
7	7	0	3 Bus-7-----	V1	0.9842	0.0	1.1	-7.6010	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.0000000	0.0000000	0.000000
0.000000															
8	8	2	0 Clinch-Rv-V1	1.0050	0.0	1.1	-4.4780	450.00000	62.09960	-140.000	200.0000	150.00000	22.000000	0.000000	
0.000000															
9	9	2	0 Saltville-V1	0.9800	0.0	1.1	-9.5850	0.0000000	2.288220	-3.00000	9.000000	121.00000	26.000000	0.000000	
0.000000															
10	10	0	4 Bus-10----	V1	0.9862	0.0	1.1	-11.450	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	5.0000000	2.0000000	
0.000000	0.000000														
11	11	0	5 Tazewell--V1	0.9740	0.0	1.1	-10.190	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.0000000	0.0000000	
0.000000	0.000000														
12	12	2	0 Glen-Lyn--V1	1.0150	0.0	1.1	-10.470	310.00000	128.6310	-150.000	155.0000	377.00000	24.000000		
0.000000	0.000000														
13	13	0	6 Bus-13----	V1	0.9789	0.0	1.1	-9.8040	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	18.000000	2.3000000	
0.000000	0.000000														
14	14	0	7 Bus-14----	V1	0.9702	0.0	1.1	-9.3500	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	10.500000	5.3000000	
0.000000	0.000000														
15	15	0	8 Bus-15----	V1	0.9880	0.0	1.1	-7.1900	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	22.000000	5.0000000	
0.000000	0.000000														
16	16	0	9 Bus-16----	V1	1.0134	0.0	1.1	-8.8590	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	43.000000	3.0000000	
0.000000	0.000000														
17	17	0	10 Bus-17----	V1	1.0175	0.0	1.1	-5.3960	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	42.000000	8.000	

36	36	0	29	Bus-36----	V3	0.9758	0.0	1.1	-13.630	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000															
37	37	0	30	Bus-37----	V3	0.9849	0.0	1.1	-13.450	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000															
38	38	0	31	Bus-38----	V3	1.0128	0.0	1.1	-12.730	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	14.000000	7.000000	
0.000000	0.000000															
39	39	0	32	Bus-39----	V3	0.9828	0.0	1.1	-13.490	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000															
40	40	0	33	Bus-40----	V3	0.9728	0.0	1.1	-13.660	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000															
41	41	0	34	Tazewell--	V6	0.9962	0.0	1.1	-14.080	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	6.300000	3.000000	
0.000000	0.000000															
42	42	0	35	Bus-42----	V6	0.9665	0.0	1.1	-15.530	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	7.100000	4.400000	
0.000000	0.000000															
43	43	0	36	Tazewell--	V7	1.0096	0.0	1.1	-11.350	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	2.000000	1.000000	
0.000000	0.000000															
44	44	0	37	Bus-44----	V3	1.0168	0.0	1.1	-11.860	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	12.000000	1.800000	
0.000000	0.000000															
45	45	0	38	Bus-45----	V3	1.0360	0.0	1.1	-9.2700	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000															
46	46	0	39	Bus-46----	V3	1.0598	0.0	1.1	-11.120	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000															
47	47	0	40	Bus-47----	V3	1.0333	0.0	1.1	-12.510	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	29.700000	11.600000	
0.000000	0.000000															
48	48	0	41	Bus-48----	V3	1.0274	0.0	1.1	-12.610	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000															
49	49	0	42	Bus-49----	V3	1.0362	0.0	1.1	-12.940	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	18.000000	8.500000	
0.000000	0.000000															
50	50	0	43	Bus-50----	V3	1.0233	0.0	1.1	-13.410	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	21.000000	10.500000	
0.000000	0.000000															
51	51	0	44	Bus-51----	V3	1.0523	0.0	1.1	-12.530	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	18.000000	5.300000	
0.000000	0.000000															
52	52	0	45	Bus-52----	V5	0.9804	0.0	1.1	-11.500	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	4.900000	2.200000	
0.000000	0.000000															
53	53	0	46	Bus-53----	V5	0.9709	0.0	1.1	-12.250	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	20.000000	10.000000	
0.000000	0.063000															
54	54	0	47	Bus-54----	V5	0.9963	0.0	1.1	-11.710	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	4.100000	1.400000	
0.000000	0.000000															
55	55	0	48	Saltville-V5		1.0308	0.0	1.1	-10.800	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	6.800000	3.400000	
0.000000	0.000000															
56	56	0	49	Bus-56----	V6	0.9684	0.0	1.1	-16.070	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	7.600000	2.200000	
0.000000	0.000000															
57	57	0	50	Bus-57----	V6	0.9648	0.0	1.1	-16.580	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	6.700000	2.000000	
0.000000	0.000000															
99999																
1	1	2	1	2		0	0.0083000	0.02800000	0.1290000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	2	3	2	3		0	0.0298000	0.08500000	0.0818000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	3	4	3	4		0	0.0112000	0.03660000	0.0380000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
4	4	5	4	5		0	0.0625000	0.13200000	0.0258000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	4	6	4	6		0	0.0430000	0.14800000	0.0348000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
6	6	7	6	7		0	0.0200000	0.10200000	0.0276000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
7	6	8	6	8		0	0.0339000	0.17300000	0.0470000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
8	8	9	8	9		0	0.0099000	0.05050000	0.0548000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
9	9	10	9	10		0	0.0369000	0.16790000	0.0440000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
10	9	11	9	11		0	0.0258000	0.08480000	0.0218000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
11	9	12	9	12		0	0.0648000	0.29500000	0.0772000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
12	9	13	9	13		0	0.0481000	0.15800000	0.0406000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
13	13	14	13	14		0	0.0132000	0.04340000	0.0110000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
14	13	15	13	15		0	0.0269000	0.08690000	0.0230000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
15	1	15	1	15		0	0.0178000	0.09100000	0.0988000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
16	1	16	1	16		0	0.0454000	0.20600000	0.0546000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
17	1	17	1	17		0	0.0238000	0.10800000	0.0286000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
18	3	15	3	15		0	0.0162000	0.05300000	0.0544000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
19	4	18	4	18		1	0.0000000	0.55500000	0.0000000	0.97000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
20	4	18	4	18		1	0.0000000	0.43000000	0.0000000	0.97800	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
21	5	6	5	6		0	0.0302000	0.06410000	0.0124000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
22	7	8	7	8		0	0.0139000	0.07120000	0.0194000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
23	10	12	10	12		0	0.0277000	0.12620000	0.0328000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
24	11	13	11	13		0	0.0223000	0.07320000	0.0188000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
25	12	13	12	13		0	0.0178000	0.05800000	0.0604000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
26	12	16	12	16		0	0.0180000	0.08130000	0.0216000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
27	12	17	12	17		0	0.0397000	0.17900000	0.0476000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
28	14	15	14	15		0	0.0171000	0.05470000	0.0148000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
29	18	19	18	19		0	0.4610000	0.68500000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
30	19	20	19	20		0	0.2830000	0.43400000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
31	21	20	21	20		1	0.0000000	0.77670000	0.0000000	1.04300	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

```

32 21 22 21 22 0 0.0736000 0.11700000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
33 22 23 22 23 0 0.0099000 0.01520000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
34 23 24 23 24 0 0.1660000 0.25600000 0.0084000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
35 24 25 24 25 1 0.0000000 1.18200000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
36 24 25 24 25 1 0.0000000 1.23000000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
37 24 26 24 26 1 0.0000000 0.04730000 0.0000000 1.04300 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
38 26 27 26 27 0 0.1650000 0.25400000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
39 27 28 27 28 0 0.0618000 0.09540000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
40 28 29 28 29 0 0.0418000 0.05870000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
41 7 29 7 29 1 0.0000000 0.06480000 0.0000000 0.96700 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
42 25 30 25 30 0 0.1350000 0.20200000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
43 30 31 30 31 0 0.3260000 0.49700000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
44 31 32 31 32 0 0.5070000 0.75500000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
45 32 33 32 33 0 0.0392000 0.03600000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
46 34 32 34 32 1 0.0000000 0.95300000 0.0000000 0.97500 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
47 34 35 34 35 0 0.0520000 0.07800000 0.0032000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
48 35 36 35 36 0 0.0430000 0.05370000 0.0016000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
49 36 37 36 37 0 0.0290000 0.03660000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
50 37 38 37 38 0 0.0651000 0.10090000 0.0020000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
51 37 39 37 39 0 0.0239000 0.03790000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
52 36 40 36 40 0 0.0300000 0.04660000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
53 22 38 22 38 0 0.0192000 0.02950000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
54 11 41 11 41 1 0.0000000 0.74900000 0.0000000 0.95500 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
55 41 42 41 42 0 0.2070000 0.35200000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
56 41 43 41 43 0 0.0000000 0.41200000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
57 38 44 38 44 0 0.0289000 0.05850000 0.0020000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
58 15 45 15 45 1 0.0000000 0.10420000 0.0000000 0.95500 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
59 14 46 14 46 1 0.0000000 0.07350000 0.0000000 0.90000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
60 46 47 46 47 0 0.0230000 0.06800000 0.0032000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
61 47 48 47 48 0 0.0182000 0.02330000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
62 48 49 48 49 0 0.0834000 0.12900000 0.0048000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
63 49 50 49 50 0 0.0801000 0.12800000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
64 50 51 50 51 0 0.1386000 0.22000000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
65 10 51 10 51 1 0.0000000 0.07120000 0.0000000 0.93000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
66 13 49 13 49 1 0.0000000 0.19100000 0.0000000 0.89500 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
67 29 52 29 52 0 0.1442000 0.18700000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
68 52 53 52 53 0 0.0762000 0.09840000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
69 53 54 53 54 0 0.1878000 0.23200000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
70 54 55 54 55 0 0.1732000 0.22650000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
71 11 43 11 43 1 0.0000000 0.15300000 0.0000000 0.95800 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
72 44 45 44 45 0 0.0624000 0.12420000 0.0040000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
73 40 56 40 56 1 0.0000000 1.19500000 0.0000000 0.95800 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
74 56 41 56 41 0 0.5530000 0.54900000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
75 56 42 56 42 0 0.2125000 0.35400000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
76 39 57 39 57 1 0.0000000 1.35500000 0.0000000 0.98000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
77 57 56 57 56 0 0.1740000 0.26000000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
78 38 49 38 49 0 0.1150000 0.17700000 0.0030000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
79 38 48 38 48 0 0.0312000 0.04820000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
80 9 55 9 55 1 0.0000000 0.12050000 0.0000000 0.94000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000

```

• IEEE 118 barras

```

1 69 3 0 Sporn-----V2 1.0350 0.0 1.1 30.0000 513.48070 -82.3860 -300.000 300.0000 0.0000000 0.0000000 0.0000000
0.0000000
2 2 0 1 Pokagon---V2 0.9714 0.0 1.1 11.5220 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 20.000000 9.0000000
0.0000000 0.0000000
3 3 0 2 HickryCk--V2 0.9677 0.0 1.1 11.8660 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 39.000000 10.000000
0.0000000 0.0000000
4 4 2 0 NwCarls--V2 0.9980 0.0 1.1 15.5830 0.0000000 -15.0060 -300.000 300.0000 39.000000 12.000000 0.0000000
0.0000000
5 5 0 3 Olive-----V2 1.0020 0.0 1.1 16.0280 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000
-0.00
6 6 2 0 Kankakee--V2 0.9900 0.0 1.1 13.3010 0.0000000 15.92970 -13.0000 50.00000 52.000000 22.000000
0.0000000 0.0000000
7 7 0 4 JacksnRd--V2 0.9893 0.0 1.1 12.8570 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 19.000000 2.0000000
0.0000000 0.0000000
8 8 2 0 Olive-----V1 1.0150 0.0 1.1 21.0490 0.0000000 62.75680 -300.000 300.0000 28.000000 0.0000000 0.0000000
0.0000000

```


47	47	0	27 Crooksvl--V2	1.0171	0.0	1.1	20.8050	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	34.000000	0.0000000
0.000000	0.000000												
48	48	0	28 Zanesvll--V2	1.0206	0.0	1.1	20.0250	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	20.000000	11.000000
0.000000	0.150000												
49	49	2	0 Philo-----V2	1.0250	0.0	1.1	21.0280	204.00000	115.6480	-85.0000	210.0000	87.000000	30.000000
0.000000													
50	50	0	29 WCambrdg--V2	1.0011	0.0	1.1	18.9890	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	17.000000	4.0000000
0.000000	0.000000												
51	51	0	30 Newcmrst--V2	0.9669	0.0	1.1	16.3700	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	17.000000	8.0000000
0.000000	0.000000												
52	52	0	31 SCoshoct--V2	0.9568	0.0	1.1	15.4160	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	18.000000	5.0000000
0.000000	0.000000												
53	53	0	32 Wooster---V2	0.9460	0.0	1.1	14.4410	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	23.000000	11.000000
0.000000	0.000000												
54	54	2	0 Torrey----V2	0.9550	0.0	1.1	15.3530	48.000000	3.902530	-300.000	300.0000	113.00000	32.000000
0.000000	0.000000												
55	55	2	0 Wagenhls--V2	0.9520	0.0	1.1	15.0630	0.0000000	4.664190	-8.00000	23.00000	63.000000	22.000000
0.000000	0.000000												
56	56	2	0 Sunnysde--V2	0.9540	0.0	1.1	15.2500	0.0000000	-2.28560	-8.00000	15.00000	84.000000	18.000000
0.000000	0.000000												
57	57	0	33 WNwPhil1--V2	0.9706	0.0	1.1	16.4550	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	12.000000	3.0000000
0.000000	0.000000												
58	58	0	34 WNwPhil2--V2	0.9590	0.0	1.1	15.5980	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	12.000000	3.0000000
0.000000	0.000000												
59	59	2	0 Tidd-----V2	0.9850	0.0	1.1	19.4520	155.00000	76.83320	-60.0000	180.0000	277.00000	113.00000
0.000000	0.000000												
60	60	0	35 SWKammer--V2	0.9932	0.0	1.1	23.2340	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	78.000000	3.0000000
0.000000	0.000000												
61	61	2	0 W.Kammer--V2	0.9950	0.0	1.1	24.1250	160.00000	-40.3940	-100.000	300.0000	0.0000000	0.0000000
0.000000	0.000000												
62	62	2	0 Natrium---V2	0.9980	0.0	1.1	23.5080	0.0000000	1.258800	-20.0000	20.00000	77.000000	14.000000
0.000000	0.000000												
63	63	0	36 Tidd-----V1	0.9687	0.0	1.1	22.8310	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.000000	0.000000												
64	64	0	37 Kammer----V1	0.9837	0.0	1.1	24.5970	0.0000000	0.00				

85	85	2	0	BeaverCk--V2	0.9850	0.0	1.1	32.5550	0.0000000	-5.76950	-8.00000	23.00000	24.000000	15.000000
0.000000	0.000000													
86	86	0	48	Hazard----	0.9867	0.0	1.1	31.1850	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	21.000000	10.000000
0.000000	0.000000													
87	87	2	0	Pineville--V3	1.0150	0.0	1.1	31.4450	4.0000000	11.02160	-100.000	1000.000	0.0000000	0.0000000
0.000000	0.000000													
88	88	0	49	Fremont---V2	0.9875	0.0	1.1	35.6860	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	48.000000	10.000000
0.000000	0.000000													
89	89	2	0	ClinchRv--V2	1.0050	0.0	1.1	39.7410	607.00000	-11.7940	-210.000	300.0000	0.0000000	0.0000000
0.000000	0.000000													
90	90	2	0	Holston---V2	0.9850	0.0	1.1	33.3370	0.0000000	59.29970	-300.000	300.0000	163.00000	42.000000
0.000000	0.000000													
91	91	2	0	HolstonT--V2	0.9800	0.0	1.1	33.3550	0.0000000	-14.8470	-100.000	100.0000	10.000000	0.0000000
0.000000	0.000000													
92	92	2	0	Saltville--V2	0.9923	0.0	1.1	33.8540	0.0000000	-3.00000	-3.00000	9.000000	65.000000	10.000000 0.000000
0.000000														
93	93	0	50	Tazewell--V2	0.9869	0.0	1.1	30.8430	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	12.000000	7.0000000
0.000000	0.000000													
94	94	0	51	Switchbk--V2	0.9906	0.0	1.1	28.6890	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	30.000000	16.000000
0.000000	0.000000													
95	95	0	52	Caldwell--V2	0.9809	0.0	1.1	27.7180	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	42.000000	31.000000
0.000000	0.000000													
96	96	0	53	Baileysv--V2	0.9927	0.0	1.1	27.5500	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	38.000000	15.000000
0.000000	0.000000													
97	97	0	54	Sundial---V2	1.0114	0.0	1.1	27.9240	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	15.000000	9.0000000
0.000000	0.000000													
98	98	0	55	Bradley---V2	1.0235	0.0	1.1	27.4460	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	34.000000	8.0000000
0.000000	0.000000													
99	99	2	0	Hinton----	1.0100	0.0	1.1	27.0840	0.0000000	-17.5370	-100.000	100.0000	42.000000	0.0000000
0.000000	0.000000													
100	100	2	0	Glen-Lyn--V2	1.0170	0.0	1.1	28.0800	252.00000	110.0790	-50.0000	155.0000	37.000000	18.000000
0.000000	0.000000													
101	101	0	56	Wythe-----V2	0.9924	0.0	1.1	29.6530	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	22.000000	15.000000
0.000000	0.000000													
102	102	0	57	Smythe----V2	0.9910	0.0	1.1	32.3510	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	5.0000000	3.0000000
0.000000	0.000000													
103	103	2	0	Claytor---V2	1.0007	0.0	1.1	24.4850	40.000000	40.00000	-15.0000	40.00000	23.000000	16.000000
0.000000	0.000000													
104	104	2	0	Hancock---V2	0.9710	0.0	1.1	21.7400	0.0000000	5.651900	-8.00000	23.00000	38.000000	25.000000
0.000000	0.000000													
105	105	2	0	Roanoke---V2	0.9660	0.0	1.1	20.6180	0.0000000	-8.00000	-8.00000	23.00000	31.000000	26.000000
0.000000	0.200000													
106	106	0	58	Cloverdl--V2	0.9618	0.0	1.1	20.3710	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	43.000000	16.000000
0.000000	0.000000													
107	107	2	0	Reusens---V2	0.9520	0.0	1.1	17.5800	0.0000000	5.695100	-200.000	200.0000	50.000000	12.000000
0.000000	0.060000													
108	108	0	59	Blaine----V2	0.9668	0.0	1.1	19.4270	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	2.0000000	1.0000000
0.000000	0.000000													
109	109	0	60	Franklin--V2	0.9675	0.0	1.1	18.9780	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	8.0000000	3.0000000
0.000000	0.000000													
110	110	2	0	Fieldale--V2	0.9730	0.0	1.1	18.1390	0.0000000	4.860490	-8.00000	23.00000	39.000000	30.000000
0.000000	0.060000													
111	111	2	0	DanRiver--V2	0.9800	0.0	1.1	19.7840	36.000000	-1.84380	-100.000	1000.000	0.0000000	0.0000000
0.000000	0.000000													
112	112	2	0	Danville--V2	0.9750	0.0	1.1	15.0400	0.0000000	41.51170	-100.000	1000.000	68.000000	13.000000
0.000000	0.000000													
113	113	2	0	Deer-Crk--V2	0.9930	0.0	1.1	14.0030	0.0000000	6.320580	-100.000	200.0000	6.0000000	0.0000000
0.000000	0.000000													
114	114	0	61	WMedford--V2	0.9604	0.0	1.1	14.7290	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	8.0000000	3.0000000
0.000000	0.000000													
115	115	0	62	Medford---V2	0.9603	0.0	1.1	14.7220	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	22.000000	7.0000000
0.000000	0.000000													
116	116	2	0	KygerCrk--V2	1.0050	0.0	1.1	27.1660	0.0000000	51.32370	-1000.00	1000.000	184.00000	0.0000000
0.000000	0.000000													
117	117	0	63	Corey-----V2	0.9738	0.0	1.1	10.9580	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	20.000000	8.0000000
0.000000	0.000000													
118	118	0	64	WHuntngd--V2	0.9494	0.0	1.1	21.9450	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	33.000000	15.000000
0.000000	0.000000													
99999														
1	69	2	1	2	0	0.0303000	0.09990000	0.0254000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	69	3	1	3	0	0.0129000	0.04240000	0.0108200	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	4	5	4	5	0	0.0017600	0.00798000	0.0021000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
4	3	5	3	5	0	0.0241000	0.10800000	0.0284000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	5	6	5	6	0	0.0119000	0.05400000	0.0142600	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
6	6	7	6	7	0	0.0045900	0.02080000	0.0055000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
7	8	9	8	9	0	0.0024400	0.03050000	1.1620000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

8	8	5	8	5	1	0.0000000	0.02670000	0.0000000	0.98500	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
9	9	10	9	10		0.0025800	0.03220000	1.2300000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
10	4	11	4	11		0.0.0209000	0.06880000	0.0174800	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
11	5	11	5	11		0.0.0203000	0.06820000	0.0173800	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
12	11	12	11	12		0.0.0059500	0.01960000	0.0050200	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
13	2	12	2	12		0.0.0187000	0.06160000	0.0157200	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
14	3	12	3	12		0.0.0484000	0.16000000	0.0406000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
15	7	12	7	12		0.0.0086200	0.03400000	0.0087400	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
16	11	13	11	13		0.0.0222500	0.07310000	0.0187600	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
17	12	14	12	14		0.0.0215000	0.07070000	0.0181600	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
18	13	15	13	15		0.0.0744000	0.24440000	0.0626800	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
19	14	15	14	15		0.0.0595000	0.19500000	0.0502000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
20	12	16	12	16		0.0.0212000	0.08340000	0.0214000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
21	15	17	15	17		0.0.0132000	0.04370000	0.0444000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
22	16	17	16	17		0.0.0454000	0.18010000	0.0466000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
23	17	18	17	18		0.0.0123000	0.05050000	0.0129800	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
24	18	19	18	19		0.0.0111900	0.04930000	0.0114200	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
25	19	20	19	20		0.0.0252000	0.11700000	0.0298000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
26	15	19	15	19		0.0.0120000	0.03940000	0.0101000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
27	20	21	20	21		0.0.0183000	0.08490000	0.0216000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
28	21	22	21	22		0.0.0209000	0.09700000	0.0246000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
29	22	23	22	23		0.0.0342000	0.15900000	0.0404000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
30	23	24	23	24		0.0.0135000	0.04920000	0.0498000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
31	23	25	23	25		0.0.0156000	0.08000000	0.0864000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
32	26	25	26	25		1	0.0000000	0.03820000	0.0000000	0.96000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
33	25	27	25	27		0.0.0318000	0.16300000	0.1764000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
34	27	28	27	28		0.0.0191300	0.08550000	0.0216000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
35	28	29	28	29		0.0.0237000	0.09430000	0.0238000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
36	30	17	30	17		1	0.0000000	0.03880000	0.0000000	0.96000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
37	8	30	8	30		0.0.0043100	0.05040000	0.5140000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
38	26	30	26	30		0.0.0079900	0.08600000	0.9080000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
39	17	31	17	31		0.0.0474000	0.15630000	0.0399000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
40	29	31	29	31		0.0.0108000	0.03310000	0.0083000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
41	23	32	23	32		0.0.0317000	0.11530000	0.1173000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
42	31	32	31	32		0.0.0298000	0.09850000	0.0251000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
43	27	32	27	32		0.0.0229000	0.07550000	0.0192600	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
44	15	33	15	33		0.0.0380000	0.12440000	0.0319400	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
45	19	34	19	34		0.0.0752000	0.24700000	0.0632000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
46	35	36	35	36		0.0.0022400	0.01020000	0.0026800	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
47	35	37	35	37		0.0.0110000	0.04970000	0.0131800	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
48	33	37	33	37		0.0.0415000	0.14200000	0.0366000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
49	34	36	34	36		0.0.0087100	0.02680000	0.0056800	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
50	34	37	34	37		0.0.0025600	0.00940000	0.0098400	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
51	38	37	38	37		1	0.0000000	0.03750000	0.0000000	0.93500	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
52	37	39	37	39		0.0.0321000	0.10600000	0.0270000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
53	37	40	37	40		0.0.0593000	0.16800000	0.0420000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
54	30	38	30	38		0.0.0046400	0.05400000	0.4220000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
55	39	40	39	40		0.0.0184000	0.06050000	0.0155200	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
56	40	41	40	41		0.0.0145000	0.04870000	0.0122200	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
57	40	42	40	42		0.0.0555000	0.18300000	0.0466000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
58	41	42	41	42		0.0.0410000	0.13500000	0.0344000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
59	43	44	43	44		0.0.0608000	0.24540000	0.0606800	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
60	34	43	34	43		0.0.0413000	0.16810000	0.0422600	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
61	44	45	44	45		0.0.0224000	0.09010000	0.0224000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
62	45	46	45	46		0.0.0400000	0.13560000	0.0332000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
63	46	47	46	47		0.0.0380000	0.12700000	0.0316000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
64	46	48	46	48		0.0.0601000	0.18900000	0.0472000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
65	47	49	47	49		0.0.0191000	0.06250000	0.0160400	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
66	42	49	42	49		0.0.0715000	0.32300000	0.0860000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
67	42	49	42	49		0.0.0715000	0.32300000	0.0860000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
68	45	49	45	49		0.0.0684000	0.18600000	0.0444000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
69	48	49	48	49		0.0.0179000	0.05050000	0.0125800	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
70	49	50	49	50		0.0.0267000	0.07520000	0.0187400	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
71	49	51	49	51		0.0.0486000	0.13700000	0.0342000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
72	51	52	51	52		0.0.0203000	0.05880000	0.0139600	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
73	52	53	52	53		0.0.0405000	0.16350000	0.0405800	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
74	53	54	53	54		0.0.0263000	0.12200000	0.0310000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
75	49	54	49	54		0.0.0730000	0.28900000	0.0738000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
76	49	54	49	54		0.0.0869000	0.29100000	0.0730000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
77	54	55	54	55		0.0.0169000	0.07070000	0.0202000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
78	54	56	54	56		0.0.0027500	0.00955000	0.0073200	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
79	55	56	55	56		0.0.0048800	0.01510000	0.0037400	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
80	56	57	56	57		0.0.0343000	0.09660000	0.0242000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
81	50	57	50	57		0.0.0474000	0.13400000	0.0332000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
82	56	58	56	58		0.0.0343000	0.09660000	0.0242000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
83	51	58	51	58		0.0.0255000	0.07190000	0.0178800	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

84	54	59	54	59	0 0.0503000 0.22930000 0.0598000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
85	56	59	56	59	0 0.0825000 0.25100000 0.0569000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
86	56	59	56	59	0 0.0803000 0.23900000 0.0536000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
87	55	59	55	59	0 0.0473900 0.21580000 0.0564600 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
88	59	60	59	60	0 0.0317000 0.14500000 0.0376000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
89	59	61	59	61	0 0.0328000 0.15000000 0.0388000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
90	60	61	60	61	0 0.0026400 0.01350000 0.0145600 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
91	60	62	60	62	0 0.0123000 0.05610000 0.0146800 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
92	61	62	61	62	0 0.0082400 0.03760000 0.0098000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
93	63	59	63	59	1 0.0000000 0.03860000 0.0000000 0.96000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
94	63	64	63	64	0 0.0017200 0.02000000 0.2160000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
95	64	61	64	61	1 0.0000000 0.02680000 0.0000000 0.98500 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
96	38	65	38	65	0 0.0090100 0.09860000 1.0460000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
97	64	65	64	65	0 0.0026900 0.03020000 0.3800000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
98	49	66	49	66	0 0.0180000 0.09190000 0.0248000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
99	49	66	49	66	0 0.0180000 0.09190000 0.0248000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
100	62	66	62	66	0 0.0482000 0.21800000 0.0578000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
101	62	67	62	67	0 0.0258000 0.11700000 0.0310000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
102	65	66	65	66	1 0.0000000 0.03700000 0.0000000 0.93500 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
103	66	67	66	67	0 0.0224000 0.10150000 0.0268200 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
104	65	68	65	68	0 0.0013800 0.01600000 0.6380000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
105	47	1	47	69	0 0.0844000 0.27780000 0.0709200 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
106	49	1	49	69	0 0.0985000 0.32400000 0.0828000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
107	68	1	68	69	1 0.0000000 0.03700000 0.0000000 0.93500 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
108	1	70	69	70	0 0.0300000 0.12700000 0.1220000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
109	24	70	24	70	0 0.0022100 0.41150000 0.1019800 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
110	70	71	70	71	0 0.0088200 0.03550000 0.0087800 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
111	24	72	24	72	0 0.0488000 0.19600000 0.0488000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
112	71	72	71	72	0 0.0446000 0.18000000 0.0444400 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
113	71	73	71	73	0 0.0086600 0.04540000 0.0117800 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
114	70	74	70	74	0 0.0401000 0.13230000 0.0336800 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
115	70	75	70	75	0 0.0428000 0.14100000 0.0360000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
116	1	75	69	75	0 0.0405000 0.12200000 0.1240000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
117	74	75	74	75	0 0.0123000 0.04060000 0.0103400 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
118	76	77	76	77	0 0.0444000 0.14800000 0.0368000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
119	1	77	69	77	0 0.0309000 0.10100000 0.1038000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
120	75	77	75	77	0 0.0601000 0.19990000 0.0497800 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
121	77	78	77	78	0 0.0037600 0.01240000 0.0126400 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
122	78	79	78	79	0 0.0054600 0.02440000 0.0064800 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
123	77	80	77	80	0 0.0170000 0.04850000 0.0472000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
124	77	80	77	80	0 0.0294000 0.10500000 0.0228000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
125	79	80	79	80	0 0.0156000 0.07040000 0.0187000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
126	68	81	68	81	0 0.0017500 0.02020000 0.8080000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
127	81	80	81	80	1 0.0000000 0.03700000 0.0000000 0.93500 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
128	77	82	77	82	0 0.0298000 0.08530000 0.0817400 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
129	82	83	82	83	0 0.0112000 0.03665000 0.0379600 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
130	83	84	83	84	0 0.0625000 0.13200000 0.0258000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
131	83	85	83	85	0 0.0430000 0.14800000 0.0348000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
132	84	85	84	85	0 0.0302000 0.06410000 0.0123400 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
133	85	86	85	86	0 0.0350000 0.12300000 0.0276000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
134	86	87	86	87	0 0.0282800 0.20740000 0.0445000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
135	85	88	85	88	0 0.0200000 0.10200000 0.0276000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
136	85	89	85	89	0 0.0239000 0.17300000 0.0470000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
137	88	89	88	89	0 0.0139000 0.07120000 0.0193400 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
138	89	90	89	90	0 0.0518000 0.18800000 0.0528000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
139	89	90	89	90	0 0.0238000 0.09970000 0.1060000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
140	90	91	90	91	0 0.0254000 0.08360000 0.0214000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
141	89	92	89	92	0 0.0099000 0.05050000 0.0548000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
142	89	92	89	92	0 0.0393000 0.15810000 0.0414000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
143	91	92	91	92	0 0.0387000 0.12720000 0.0326800 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
144	92	93	92	93	0 0.0258000 0.08480000 0.0218000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
145	92	94	92	94	0 0.0481000 0.15800000 0.0406000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
146	93	94	93	94	0 0.0223000 0.07320000 0.0187600 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
147	94	95	94	95	0 0.0132000 0.04340000 0.0111000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
148	80	96	80	96	0 0.0356000 0.18200000 0.0494000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
149	82	96	82	96	0 0.0162000 0.05300000 0.0544000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
150	94	96	94	96	0 0.0269000 0.08690000 0.0230000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
151	80	97	80	97	0 0.0183000 0.09340000 0.0254000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
152	80	98	80	98	0 0.0238000 0.10800000 0.0286000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
153	80	99	80	99	0 0.0454000 0.20600000 0.0546000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
154	92	100	92	100	0 0.0648000 0.29500000 0.0472000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
155	94	100	94	100	0 0.0178000 0.05800000 0.0604000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
156	95	96	95	96	0 0.0171000 0.05470000 0.0147400 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
157	96	97	96	97	0 0.0173000 0.08850000 0.0240000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
158	98	100	98	100	0 0.0397000 0.17900000 0.0476000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
159	99	100	99	100	0 0.0180000 0.08130000 0.0216000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000

160	100	101	100	101	0	0.0277000	0.1262000	0.0328000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
161	92	102	92	102	0	0.0123000	0.0559000	0.0146400	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
162	101	102	101	102	0	0.0246000	0.1120000	0.0294000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
163	100	103	100	103	0	0.0160000	0.0525000	0.0536000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
164	100	104	100	104	0	0.0451000	0.2040000	0.0541000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
165	103	104	103	104	0	0.0466000	0.1584000	0.0407000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
166	103	105	103	105	0	0.0535000	0.1625000	0.0408000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
167	100	106	100	106	0	0.0605000	0.2290000	0.0620000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
168	104	105	104	105	0	0.0099400	0.0378000	0.0098600	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
169	105	106	105	106	0	0.0140000	0.0547000	0.0143400	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
170	105	107	105	107	0	0.0530000	0.1830000	0.0472000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
171	105	108	105	108	0	0.0261000	0.0703000	0.0184400	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
172	106	107	106	107	0	0.0530000	0.1830000	0.0472000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
173	108	109	108	109	0	0.0105000	0.0288000	0.0076000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
174	103	110	103	110	0	0.0390600	0.1813000	0.0461000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
175	109	110	109	110	0	0.0278000	0.0762000	0.0202000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
176	110	111	110	111	0	0.0220000	0.0755000	0.0200000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
177	110	112	110	112	0	0.0247000	0.0640000	0.0620000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
178	17	113	17	113	0	0.0091300	0.0301000	0.0076800	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
179	32	113	32	113	0	0.0615000	0.2030000	0.0518000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
180	32	114	32	114	0	0.0135000	0.0612000	0.0162800	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
181	27	115	27	115	0	0.0164000	0.0741000	0.0197200	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
182	114	115	114	115	0	0.0023000	0.0104000	0.0027600	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
183	68	116	68	116	0	0.000340									

- **IEEE 300 barras**

1	7049	3	0	-1.0000	0.4	1.1	0.00000	460.07400	-24.2120	-9999.00	9999.000	0.0000000	0.0000000	0.000000	0.000000
2	2	0	1	-1.0347	0.4	1.1	6.42510	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	56.000000	15.000000	0.000000	0.000000
3	3	0	2	-0.9959	0.4	1.1	5.33430	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	20.000000	0.0000000	0.000000	0.000000
4	4	0	3	-1.0289	0.4	1.1	3.40510	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.0000000	0.0000000	0.000000	0.000000
5	5	0	4	-1.0185	0.4	1.1	3.37150	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	353.00000	130.00000	0.000000	0.000000
6	6	0	5	-1.0305	0.4	1.1	5.67680	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	120.00000	41.000000	0.000000	0.000000
7	7	0	6	-0.9924	0.4	1.1	4.88000	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.0000000	0.0000000	0.000000	0.000000
8	8	2	0	-1.0139	0.4	1.1	1.07470	0.0000000	10.00000	-10.0000	10.0000	63.00000	14.000000	0.000000	0.000000
9	9	0	7	-1.0029	0.4	1.1	1.53390	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	96.000000	43.000000	0.000000	0.000000
10	10	2	0	-1.0198	0.4	1.1	0.02358	0.0000000	20.00000	-20.0000	20.0000	153.0000	33.000000	0.000000	0.000000
11	11	0	8	-1.0052	0.4	1.1	1.13910	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	83.000000	21.000000	0.000000	0.000000
12	12	0	9	-0.9966	0.4	1.1	3.89820	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.0000000	0.0000000	0.000000	0.000000
13	13	0	10	-0.9971	0.4	1.1	-1.8820	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	58.000000	10.000000	0.000000	0.000000
14	14	0	11	-0.9960	0.4	1.1	-6.1590	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	160.00000	60.000000	0.000000	0.000000
15	15	0	12	-1.0297	0.4	1.1	-9.9470	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	126.70000	23.000000	0.000000	0.000000
16	16	0	13	-1.0272	0.4	1.1	-3.9550	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.0000000	0.0000000	0.000000	0.000000
17	17	0	14	-1.0603	0.4	1.1	-14.520	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	561.00000	220.00000	0.000000	0.000000
18	19	0	15	-0.9812	0.4	1.1	-0.2590	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.0000000	0.0000000	0.000000	0.000000
19	20	2	0	-1.0004	0.4	1.1	-3.7940	0.0000000	20.00000	-20.0000	20.0000	605.0000	120.00000	0.000000	0.000000
20	21	0	16	-0.9745	0.4	1.1	0.29166	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	77.000000	1.0000000	0.000000	0.000000
21	22	0	17	-0.9957	0.4	1.1	-3.3070	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	81.000000	23.000000	0.000000	0.000000
22	23	0	18	-1.0499	0.4	1.1	2.60370	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	21.000000	7.0000000	0.000000	0.000000
23	24	0	19	-1.0054	0.4	1.1	4.68990	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.0000000	0.0000000	0.000000	0.000000
24	25	0	20	-1.0231	0.4	1.1	0.10471								

40	46	0	36 - 1.0283 0.4 1.1 -13.140 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
41	47	0	37 - 0.9725 0.4 1.1 -24.700 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 58.000000 11.800000 0.000000 0.000000
42	48	0	38 - 0.9950 0.4 1.1 -17.550 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 41.000000 19.000000 0.000000 0.000000
43	49	0	39 - 1.0046 0.4 1.1 -3.2550 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 92.000000 26.000000 0.000000 0.000000
44	51	0	40 - 0.9991 0.4 1.1 -9.1300 5.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5.000000 0.000000 0.000000 0.000000
45	52	0	41 - 0.9786 0.4 1.1 -13.100 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 61.000000 28.000000 0.000000 0.000000
46	53	0	42 - 0.9861 0.4 1.1 -19.080 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 69.000000 3.000000 0.000000 0.000000
47	54	0	43 - 0.9952 0.4 1.1 -17.690 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 10.000000 1.000000 0.000000 0.000000
48	55	0	44 - 1.0017 0.4 1.1 -13.520 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 22.000000 10.000000 0.000000 0.000000
49	57	0	45 - 1.0274 0.4 1.1 -9.3210 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 98.000000 20.000000 0.000000 0.000000
50	58	0	46 - 0.9888 0.4 1.1 -7.3750 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 14.000000 1.000000 0.000000 0.000000
51	59	0	47 - 0.9768 0.4 1.1 -6.6790 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 218.000000 106.000000 0.000000 0.000000
52	60	0	48 - 1.0199 0.4 1.1 -10.960 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
53	61	0	49 - 0.9892 0.4 1.1 -4.8540 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 227.000000 110.000000 0.000000 0.000000
54	62	0	50 - 1.0133 0.4 1.1 -2.4600 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
55	63	2	0 - 0.9534 0.4 1.1 -19.110 0.0000000 25.000000 -25.000000 25.000000 30.000000 30.000000 0.000000 0.000000 0.000000
56	64	0	51 - 0.9435 0.4 1.1 -14.410 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
57	69	0	52 - 0.9617 0.4 1.1 -27.210 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
58	70	0	53 - 0.9481 0.4 1.1 -36.760 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 56.000000 20.000000 0.000000 0.000000
59	71	0	54 - 0.9764 0.4 1.1 -31.450 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 116.000000 38.000000 0.000000 0.000000
60	72	0	55 - 0.9673 0.4 1.1 -29.040 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 57.000000 19.000000 0.000000 0.000000
61	73	0	56 - 0.9743 0.4 1.1 -27.310 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 224.000000 71.000000 0.000000 0.000000
62	74	0	57 - 0.9926 0.4 1.1 -23.520 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
63	76	2	0 - 0.9608 0.4 1.1 -28.100 0.0000000 35.000000 12.000000 35.000000 208.000000 107.000000 0.000000 0.000000 0.000000
64	77	0	58 - 0.9819 0.4 1.1 -26.500 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 74.000000 28.000000 0.000000 0.000000
65	78	0	59 - 0.9883 0.4 1.1 -25.610 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
66	79	0	60 - 0.9800 0.4 1.1 -26.530 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 48.000000 14.000000 0.000000 0.000000
67	80	0	61 - 0.9858 0.4 1.1 -26.520 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 28.000000 7.000000 0.000000 0.000000
68	81	0	62 - 1.0310 0.4 1.1 -20.380 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
69	84	2	0 - 1.0250 0.4 1.1 -18.710 375.000000 137.7400 -240.0000 240.0000 37.000000 13.000000 0.000000 0.000000 0.000000
70	85	0	63 - 0.9869 0.4 1.1 -19.190 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
71	86	0	64 - 0.9905 0.4 1.1 -15.670 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
72	87	0	65 - 0.9914 0.4 1.1 -9.1890 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
73	88	0	66 - 1.0119 0.4 1.1 -22.470 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
74	89	0	67 - 1.0269 0.4 1.1 -12.550 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 44.200000 0.000000 0.000000 0.000000
75	90	0	68 - 1.0191 0.4 1.1 -12.650 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 66.000000 0.000000 0.000000 0.000000
76	91	2	0 - 1.0520 0.4 1.1 -10.900 155.000000 48.68760 -11.0000 96.00000 17.400000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
77	92	2	0 - 1.0520 0.4 1.1 -7.6780 290.00000 37.99490 -153.000 153.0000 15.80000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
78	94	0	69 - 0.9926 0.4 1.1 -10.860 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 60.300000 0.000000 0.000000 0.000000
79	97	0	70 - 1.0180 0.4 1.1 -14.730 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 39.900000 0.000000 0.000000 0.000000
80	98	2	0 - 1.0000 0.4 1.1 -16.100 68.000000 -10.3750 -30.0000 56.00000 66.700000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
81	99	0	71 - 0.9892 0.4 1.1 -21.800 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 83.500000 0.000000 0.000000 0.000000
82	100	0	72 - 1.0059 0.4 1.1 -15.940 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
83	102	0	73 - 1.0006 0.4 1.1 -16.720 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 77.800000 0.000000 0.000000 0.000000
84	103	0	74 - 1.0280 0.4 1.1 -13.550 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 32.000000 0.000000 0.000000 0.000000
85	104	0	75 - 0.9956 0.4 1.1 -18.830 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 8.600000 0.000000 0.000000 0.000000
86	105	0	76 - 1.0209 0.4 1.1 -14.420 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 49.600000 0.000000 0.000000 0.000000
87	107	0	77 - 1.0058 0.4 1.1 -17.520 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 4.600000 0.000000 0.000000 0.000000
88	108	2	0 - 0.9900 0.4 1.1 -21.790 117.00000 24.26460 -24.0000 77.00000 112.10000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
89	109	0	78 - 0.9731 0.4 1.1 -27.610 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 30.700000 0.000000 0.000000 0.000000
90	110	0	79 - 0.9719 0.4 1.1 -26.260 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 63.000000 0.000000 0.000000 0.000000
91	112	0	80 - 0.9714 0.4 1.1 -30.250 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 19.600000 0.000000 0.000000 0.000000
92	113	0	81 - 0.9658 0.4 1.1 -26.930 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 26.200000 0.000000 0.000000 0.000000
93	114	0	82 - 0.9736 0.4 1.1 -30.140 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 18.200000 0.000000 0.000000 0.000000
94	115	0	83 - 0.9602 0.4 1.1 -14.900 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
95	116	0	84 - 1.0248 0.4 1.1 -14.020 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
96	117	0	85 - 0.9347 0.4 1.1 -6.0500 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 3.250000
97	118	0	86 - 0.9298 0.4 1.1 -5.4520 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 14.100000 650.00000 0.000000 0.000000
98	119	2	0 - 1.0435 0.4 1.1 3.83690 1930.0000 1051.220 -500.000 1500.000 0.0000000 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000
99	120	0	87 - 0.9584 0.4 1.1 -10.100 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 777.00000 215.00000 0.000000 0.550000
100	121	0	88 - 0.9870 0.4 1.1 -13.970 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 535.00000 55.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
101	122	0	89 - 0.9727 0.4 1.1 -15.700 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 229.10000 11.800000 0.000000 0.000000
0.000000			
102	123	0	90 - 1.0005 0.4 1.1 -18.970 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 78.000000 1.400000 0.000000 0.000000
0.000000			
103	124	2	0 - 1.0232 0.4 1.1 -14.820 240.00000 120.0000 -60.0000 120.0000 276.40000 59.300000 0.000000 0.000000 0.000000
104	125	2	0 - 1.0101 0.4 1.1 -19.760 0.0000000 200.0000 -25.0000 200.0000 514.80000 82.700000 0.000000 0.000000 0.000000
105	126	0	91 - 0.9976 0.4 1.1 -14.190 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 57.900000 5.100000 0.000000 0.000000
0.000000			
106	127	0	92 - 0.9999 0.4 1.1 -11.850 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 380.80000 37.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
107	128	0	93 - 1.0021 0.4 1.1 -6.1020 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
108	129	0	94 - 1.0025 0.4 1.1 -5.7230 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			

109	130	0	95 - 1.0185 0.4 1.1 4.24790 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.0000000 0.0000000 0.000000
0.000000			
110	131	0	96 - 0.9852 0.4 1.1 4.74620 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.0000000 0.0000000 0.000000
0.000000			
111	132	0	97 - 1.0039 0.4 1.1 1.73050 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.0000000 0.0000000 0.000000
0.000000			
112	133	0	98 - 1.0018 0.4 1.1 -6.7870 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.0000000 0.0000000 0.000000
0.000000			
113	134	0	99 - 1.0219 0.4 1.1 -9.3730 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.0000000 0.0000000 0.000000
0.000000			
114	135	0	100 - 1.0192 0.4 1.1 -8.0850 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 169.20000 41.600000 0.000000
0.000000			
115	136	0	101 - 1.0475 0.4 1.1 0.21263 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 55.200000 18.200000 0.000000
0.000000			
116	137	0	102 - 1.0470 0.4 1.1 -2.7830 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 273.60000 99.800000 0.000000
0.000000			
117	138	2	0 - 1.0550 0.4 1.1 -7.6820 0.0000000 228.8940 -125.000 350.0000 1019.2000 135.20000 0.000000 0.000000
	139	0	103 - 1.0117 0.4 1.1 -4.8980 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 595.00000 83.300000 0.000000
0.000000			
119	140	0	104 - 1.0430 0.4 1.1 -4.7660 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 387.70000 114.70000 0.000000
0.000000			
120	141	2	0 - 1.0510 0.4 1.1 -1.2820 281.00000 65.13680 -50.0000 75.00000 145.00000 58.000000 0.000000 0.000000
121	142	0	105 - 1.0155 0.4 1.1 -4.1050 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 56.500000 24.500000 0.000000
0.000000			
122	143	2	0 - 1.0435 0.4 1.1 2.69350 696.00000 126.8420 -100.000 300.0000 89.500000 35.500000 0.000000 0.000000
123	144	0	106 - 1.0136 0.4 1.1 -2.0580 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.0000000 0.0000000 0.000000
0.000000			
124	145	0	107 - 1.0081 0.4 1.1 -1.4940 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 24.000000 14.000000 0.000000
0.000000			
125	146	2	0 - 1.0528 0.4 1.1 2.98680 84.000000 35.00000 -15.0000 35.00000 0.0000000 0.0000000 0.000000 0.000000
126	147	2	0 - 1.0528 0.4 1.1 7.02970 217.00000 -49.9530 -50.0000 100.0000 0.0000000 0.0000000 0.000000 0.000000
127	148	0	108 - 1.0577 0.4 1.1 -1.0610 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 63.000000 25.000000 0.000000
0.000000			
128	149	2	0 - 1.0735 0.4 1.1 3.89080 103.00000 49.96900 -25.0000 50.00000 0.0000000 0.0000000 0.000000 0.000000
129	150	0	109 - 0.9859 0.4 1.1 5.02890 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.0000000 0.0000000 0.000000
0.000000			
130	151	0	110 - 1.0042 0.4 1.1 2.81870 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.0000000 0.0000000 0.000000
0.000000			
131	152	2	0 - 1.0535 0.4 1.1 7.91350 372.00000 -49.8150 -50.0000 175.0000 17.000000 9.0000000 0.000000 0.000000
132	153	2	0 - 1.0435 0.4 1.1 9.13310 216.00000 -23.8020 -50.0000 90.00000 0.0000000 0.0000000 0.000000 0.000000
133	154	0	111 - 0.9664 0.4 1.1 -3.1270 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 70.000000 5.0000000 0.000000
0.345000			
134	155	0	112 - 1.0177 0.4 1.1 5.42390 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 200.00000 50.000000 0.000000
0.000000			
135	156	2	0 - 0.9630 0.4 1.1 3.81830 0.0000000 15.00000 -10.0000 15.00000 75.000000 50.000000 0.000000 0.000000
136	157	0	113 - 0.9843 0.4 1.1 -13.260 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 123.50000 -24.30000 0.000000
0.000000			
137	158	0	114 - 0.9986 0.4 1.1 -12.730 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.0000000 0.0000000 0.000000
0.000000			
138	159	0	115 - 0.9865 0.4 1.1 -11.150 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 33.000000 16.500000 0.000000
0.000000			
139	160	0	116 - 0.9997 0.4 1.1 -13.880 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.0000000 0.0000000 0.000000
0.000000			
140	161	0	117 - 1.0361 0.4 1.1 7.51650 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 35.000000 15.000000 0.000000
0.000000			
141	162	0	118 - 0.9918 0.4 1.1 17.1740 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 85.000000 24.000000 0.000000
0.000000			
142	163	0	119 - 1.0410 0.4 1.1 1.57860 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.0000000 0.400 0.000000 0.000000
143	164	0	120 - 0.9839 0.4 1.1 8.33420 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.0000000 0.0000000 0.000000 -
2.12000			
144	165	0	121 - 1.0002 0.4 1.1 24.9820 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.0000000 0.0000000 0.000000
0.000000			
145	166	0	122 - 0.9972 0.4 1.1 28.8940 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.0000000 0.0000000 0.000000 -
1.03000			
146	167	0	123 - 0.9711 0.4 1.1 -8.2320 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 299.90000 95.700000 0.000000
0.000000			
147	168	0	124 - 1.0021 0.4 1.1 -6.1250 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.0000000 0.0000000 0.000000
0.000000			
148	169	0	125 - 0.9876 0.4 1.1 -8.0050 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.0000000 0.0000000 0.000000
0.000000			
149	170	2	0 - 0.9283 0.4 1.1 -1.2300 205.00000 90.00000 -40.0000 90.00000 481.80000 205.00000 0.000000 0.000000
150	171	2	0 - 0.9826 0.4 1.1 -11.260 0.0000000 150.0000 -50.0000 150.0000 763.60000 291.10000 0.000000 0.000000
151	172	0	126 - 1.0245 0.4 1.1 -7.5550 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 26.500000 0.0000000 0.000000
0.000000			
152	173	0	127 - 0.9837 0.4 1.1 -14.090 0.0000000 0.000000 0.000000 0.000000 163.50000 43.000000 0.000000
0.530000			

239	552	0	193 - 0.9991 0.4 1.1 -24.910 11.100000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 -1.400000 0.000000
0.000000			
240	562	0	194 - 0.9734 0.4 1.1 -29.570 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 50.500000 17.400000 0.000000
0.000000			
241	609	0	195 - 0.9564 0.4 1.1 -30.360 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 29.600000 0.600000 0.000000
0.000000			
242	664	0	196 - 1.0293 0.4 1.1 -18.500 113.70000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 76.700000 0.000000
0.000000			
243	1190	0	197 - 1.0129 0.4 1.1 2.57440 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 100.31000 29.170000 0.000000
0.000000			
244	1200	0	198 - 1.0244 0.4 1.1 -8.8540 100.00000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 34.170000 0.000000
0.000000			
245	1201	0	199 - 1.0122 0.4 1.1 -16.510 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
246	2040	0	200 - 0.9649 0.4 1.1 -16.490 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
247	7001	2	0 - 1.0507 0.4 1.1 9.48310 467.00000 142.3960 -210.000 210.0000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
248	7002	2	0 - 1.0507 0.4 1.1 11.1730 623.00000 98.19310 -280.000 280.0000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
249	7003	2	0 - 1.0311 0.4 1.1 12.4690 1210.0000 420.0000 -420.000 420.0000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
250	7011	2	0 - 1.0145 0.4 1.1 3.66810 234.00000 54.16960 -100.000 100.0000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
251	7012	2	0 - 1.0507 0.4 1.1 10.2620 372.00000 202.7720 -224.000 224.0000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
252	7017	2	0 - 1.0468 0.4 1.1 -11.870 330.00000 350.0000 0.000000 350.0000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
253	7023	2	0 - 1.0507 0.4 1.1 4.81420 185.00000 7.000130 0.000000 120.0000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
254	7024	2	0 - 1.0290 0.4 1.1 11.2670 410.00000 107.6260 -224.000 224.0000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
255	7039	2	0 - 1.0500 0.4 1.1 0.85323 500.00000 173.4610 -200.000 200.0000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
256	7044	2	0 - 1.0090 0.4 1.1 -15.350 37.000000 42.00000 0.000000 42.00000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
257	1	0	201 - 1.0279 0.4 1.1 4.63880 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 90.000000 49.000000 0.000000 0.000000
258	7055	2	0 - 0.9845 0.4 1.1 -8.6870 45.000000 25.00000 0.000000 25.00000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
259	7057	2	0 - 1.0156 0.4 1.1 -4.7140 165.00000 90.00000 -90.00000 90.00000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
260	7061	2	0 - 1.0145 0.4 1.1 0.58947 400.00000 127.0500 -150.000 150.0000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
261	7062	2	0 - 0.9992 0.4 1.1 4.46800 400.00000 150.0000 0.000000 150.0000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
262	7071	2	0 - 0.9866 0.4 1.1 -26.890 116.00000 87.00000 0.000000 87.00000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
263	7130	2	0 - 1.0507 0.4 1.1 17.7230 1292.0000 327.9650 -100.000 600.0000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
264	7139	2	0 - 1.0507 0.4 1.1 1.41530 700.00000 284.0040 -125.000 325.0000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
265	7166	2	0 - 1.0145 0.4 1.1 33.7230 553.00000 136.9580 -200.000 300.0000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
266	9001	0	202 - 0.9967 0.4 1.1 -12.530 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
267	9002	2	0 - 0.9821 0.4 1.1 -20.320 0.000000 2.000000 -2.00000 2.000000 4.200000 0.000000 0.000000 0.000000
268	9003	0	203 - 0.9699 0.4 1.1 -21.170 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2.710000 0.940000 0.001400
0.024000			
269	9004	0	204 - 0.9633 0.4 1.1 -21.310 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.860000 0.280000 0.000000
0.000000			
270	9005	0	205 - 0.9972 0.4 1.1 -12.610 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
271	9006	0	206 - 0.9900 0.4 1.1 -18.850 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
272	9007	0	207 - 0.9782 0.4 1.1 -20.140 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
273	9012	0	208 - 0.9900 0.4 1.1 -18.690 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
274	9021	0	209 - 0.9762 0.4 1.1 -20.550 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 4.750000 1.560000 0.000000
0.000000			
275	9022	0	210 - 0.9521 0.4 1.1 -23.190 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 1.530000 0.530000 0.000800
0.000000			
276	9023	0	211 - 0.9620 0.4 1.1 -20.870 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000			
277	9024	0	212 - 0.9578 0.4 1.1 -22.950 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 1.350000 0.470000 0.000700
0.000000			

278	9025	0	213	- 0.9520	0.4	1.1	-21.950	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.4500000	0.1600000	0.000200
0.000000														
279	9026	0	214	- 0.9528	0.4	1.1	-21.860	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.4500000	0.1600000	0.000200
0.000000														
280	9031	0	215	- 0.9174	0.4	1.1	-26.660	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.8400000	0.6400000	0.001000
0.000000														
281	9032	0	216	- 0.9300	0.4	1.1	-25.440	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.3900000	0.4800000	0.000700
0.000000														
282	9033	0	217	- 0.9144	0.4	1.1	-26.990	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.8900000	0.6500000	0.001000
0.000000														
283	9034	0	218	- 0.9833	0.4	1.1	-22.620	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.5500000	0.5400000	0.000800
0.017200														
284	9035	0	219	- 0.9364	0.4	1.1	-24.770	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.6600000	0.5800000	0.000900
0.000000														
285	9036	0	220	- 0.9458	0.4	1.1	-24.240	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	3.0300000	1.0000000	0.000000
0.000000														
286	9037	0	221	- 0.9432	0.4	1.1	-24.160	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.8600000	0.6400000	0.001000
0.000000														
287	9038	0	222	- 0.9249	0.4	1.1	-26.040	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	2.5800000	0.8900000	0.001400
0.000000														
288	9041	0	223	- 0.9498	0.4	1.1	-22.850	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.0100000	0.3500000	0.000500
0.000000														
289	9042	0	224	- 0.9363	0.4	1.1	-24.050	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.8100000	0.2800000	0.000400
0.000000														
290	9043	0	225	- 0.9509	0.4	1.1	-22.960	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.6000000	0.5200000	0.000000
0.000000														
291	9044	0	226	- 0.9655	0.4	1.1	-21.270	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.000000
0.000000														
292	9051	2	0	- 1.0000	0.4	1.1	-20.840	0.0000000	15.97340	-17.3500	17.35000	35.810000	0.0000000	0.000000
293	9052	0	227	- 0.9612	0.4	1.1	-18.730	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	30.000000	23.000000	0.000000
0.000000														
294	9053	2	0	- 0.9925	0.4	1.1	-19.130	0.0000000	12.83000	-12.8000	12.83000	26.480000	0.0000000	0.000000
295	9054	2	0	- 1.0000	0.4	1.1	-8.0510	50.000000	31.19580	-38.0000	38.00000	0.0000000	0.0000000	0.000000
296	9055	2	0	- 1.0000	0.4	1.1	-8.7730	8.0000000	5.817030	-6.00000	6.000000	0.0000000	0.0000000	0.000000
297	9071	0	228	- 0.9620	0.4	1.1	-21.980	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.0200000	0.3500000	0.000500
0.000000														
298	9072	0	229	- 0.9671	0.4	1.1	-21.410	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.0200000	0.3500000	0.000500
0.000000														
299	9121	0	230	- 0.9673	0.4	1.1	-20.770	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	3.8000000	1.2500000	0.000000
0.000000														
300	9533	0	231	- 1.0327	0.4	1.1	-19.650	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.1900000	0.4100000	0.001000
0.000000														
99999														
1	31	266	37	9001	2	0.0000600	0.00046000	0.0000000	1.00820	0.90430	1.10430	0.00000	0.00000	0.00000
2	266	270	9001	9005	0	0.0008000	0.00348000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	266	271	9001	9006	2	0.0243900	0.43682000	0.0000000	0.96291	0.93910	1.14780	0.00000	0.00000	0.00000
4	266	273	9001	9012	2	0.0362400	0.64898000	0.0000000	0.97601	0.93910	1.14780	0.00000	0.00000	0.00000
5	270	292	9005	9051	1	0.0157800	0.37486000	0.0000000	1.04350	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
6	270	293	9005	9052	1	0.0157800	0.37486000	0.0000000	0.93910	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
7	270	294	9005	9053	1	0.0160200	0.38046000	0.0000000	1.04350	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
8	270	295	9005	9054	1	0.0000000	0.15200000	0.0000000	1.04350	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
9	270	296	9005	9055	1	0.0000000	0.80000000	0.0000000	1.04350	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
10	271	272	9006	9007	0	0.0555800	0.24666000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
11	271	268	9006	9003	0	0.1111800	0.49332000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
12	271	268	9006	9003	0	0.1111800	0.49332000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
13	273	267	9012	9002	0	0.0762200	0.43286000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
14	273	267	9012	9002	0	0.0762200	0.43286000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
15	267	274	9002	9021	0	0.0537000	0.07026000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
16	274	276	9021	9023	0	1.1068000	0.95278000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
17	274	275	9021	9022	1	0.4436400	2.81520000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
18	267	277	9002	9024	1	0.5074800	3.22020000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
19	276	278	9023	9025	1	0.6668800	3.94400000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
20	276	279	9023	9026	1	0.6113000	3.61520000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
21	272	297	9007	9071	1	0.4412000	2.96680000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
22	272	298	9007	9072	1	0.3079200	2.05700000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
23	272	268	9007	9003	0	0.0558000	0.24666000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
24	268	280	9003	9031	1	0.7363300	4.67240000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
25	268	281	9003	9032	1	0.7697800	4.88460000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
26	268	282	9003	9033	1	0.7573200	4.80560000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
27	268	291	9003	9044	0	0.0737800	0.06352000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
28	291	269	9044	9004	0	0.0383200	0.02894000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
29	269	288	9004	9041	1	0.3661400	2.45600000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
30	269	289	9004	9042	1	1.0593000	5.45360000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
31	269	290	9004	9043	1	0.1567000	1.69940000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
32	268	283	9003	9034	1	0.1300600	1.39120000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
33	268	284	9003	9035	1	0.5448400	3.45720000	0.0000000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

110	48	49	55	57	0 0.0650000 0.16900000 0.0820000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
111	49	50	57	58	0 0.0460000 0.08000000 0.0360000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
112	49	55	57	63	0 0.1590000 0.53700000 0.0710000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
113	50	51	58	59	0 0.0090000 0.02600000 0.0050000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
114	51	53	59	61	0 0.0020000 0.01300000 0.0150000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
115	52	54	60	62	0 0.0090000 0.06500000 0.4850000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
116	54	56	62	64	0 0.0160000 0.10500000 0.2030000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
117	54	123	62	144	0 0.0010000 0.00700000 0.0130000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
118	55	236	63	526	0 0.0265000 0.17200000 0.0260000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
119	57	190	69	211	0 0.0510000 0.23200000 0.0280000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
120	57	66	69	79	0 0.0510000 0.15700000 0.0230000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
121	58	59	70	71	0 0.0320000 0.10000000 0.0620000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
122	58	237	70	528	0 0.0200000 0.12340000 0.0280000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
123	59	60	71	72	0 0.0360000 0.13100000 0.0680000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
124	59	61	71	73	0 0.0340000 0.09900000 0.0470000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
125	60	64	72	77	0 0.0180000 0.08700000 0.0110000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
126	60	238	72	531	0 0.0256000 0.19300000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
127	61	63	73	76	0 0.0210000 0.05700000 0.0300000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
128	61	66	73	79	0 0.0180000 0.05200000 0.0180000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
129	62	73	74	88	0 0.0040000 0.02700000 0.0500000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
130	62	240	74	562	0 0.0286000 0.20130000 0.3790000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
131	63	64	76	77	0 0.0160000 0.04300000 0.0040000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
132	64	65	77	78	0 0.0010000 0.00600000 0.0070000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
133	64	67	77	80	0 0.0140000 0.07000000 0.0380000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
134	64	239	77	552	0 0.0891000 0.26760000 0.0290000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
135	64	241	77	609	0 0.0782000 0.21270000 0.0220000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
136	65	66	78	79	0 0.0060000 0.02200000 0.0110000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
137	65	69	78	84	0 0.0000000 0.03600000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
138	66	190	79	211	0 0.0990000 0.37500000 0.0510000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
139	67	190	80	211	0 0.0220000 0.10700000 0.0580000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
140	68	173	81	194	0 0.0035000 0.03300000 0.5300000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
141	68	174	81	195	0 0.0035000 0.03300000 0.5300000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
142	70	71	85	86	0 0.0080000 0.06400000 0.1280000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
143	71	72	86	87	0 0.0120000 0.09300000 0.1830000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
144	71	234	86	323	0 0.0060000 0.04800000 0.0920000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
145	74	76	89	91	0 0.0470000 0.11900000 0.0140000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
146	75	77	90	92	0 0.0320000 0.17400000 0.0240000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
147	76	78	91	94	0 0.1000000 0.25300000 0.0310000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
148	76	79	91	97	0 0.0220000 0.07700000 0.0390000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
149	77	84	92	103	0 0.0190000 0.14400000 0.0170000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
150	77	86	92	105	0 0.0170000 0.09200000 0.0120000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
151	78	79	94	97	0 0.2780000 0.42700000 0.0430000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
152	79	82	97	100	0 0.0220000 0.05300000 0.0070000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
153	79	83	97	102	0 0.0380000 0.09200000 0.0120000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
154	79	84	97	103	0 0.0480000 0.12200000 0.0150000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
155	80	82	98	100	0 0.0240000 0.06400000 0.0070000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
156	80	83	98	102	0 0.0340000 0.12100000 0.0150000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
157	81	87	99	107	0 0.0530000 0.13500000 0.0170000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
158	81	88	99	108	0 0.0020000 0.00400000 0.0020000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
159	81	89	99	109	0 0.0450000 0.35400000 0.0440000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
160	81	90	99	110	0 0.0500000 0.17400000 0.0220000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
161	82	83	100	102	0 0.0160000 0.03800000 0.0040000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
162	83	85	102	104	0 0.0430000 0.06400000 0.0270000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
163	84	86	103	105	0 0.0190000 0.06200000 0.0080000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
164	85	88	104	108	0 0.0760000 0.13000000 0.0440000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
165	85	233	104	322	0 0.0440000 0.12400000 0.0150000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
166	86	87	105	107	0 0.0120000 0.08800000 0.0110000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
167	86	90	105	110	0 0.1570000 0.40000 0.0470000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
168	88	235	108	324	0 0.0740000 0.20800000 0.0260000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
169	89	90	109	110	0 0.0700000 0.18400000 0.0210000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
170	89	92	109	113	0 0.1000000 0.27400000 0.0310000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
171	89	93	109	114	0 0.1090000 0.39300000 0.0360000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
172	90	91	110	112	0 0.1420000 0.40400000 0.0500000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
173	91	93	112	114	0 0.0170000 0.04200000 0.0060000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
174	94	101	115	122	0 0.0036000 0.01990000 0.0040000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
175	95	99	116	120	0 0.0020000 0.10490000 0.0010000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
176	96	97	117	118	0 0.0001000 0.00180000 0.0170000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
177	97	98	118	119	0 0.0000000 0.02710000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
178	97	245	118	1201	0 0.0000000 0.61630000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
179	245	99	1201	120	0 0.0000000 0.36970000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
180	97	100	118	121	0 0.0022000 0.29150000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
181	98	99	119	120	0 0.0000000 0.03390000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
182	98	100	119	121	0 0.0000000 0.05820000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
183	101	102	122	123	0 0.0808000 0.23440000 0.0290000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
184	101	104	122	125	0 0.0965000 0.36690000 0.0540000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
185	102	103	123	124	0 0.0360000 0.10760000 0.1170000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000

186	102	104	123	125	0 0.0476000 0.14140000 0.1490000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
187	104	105	125	126	0 0.0006000 0.01970000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
188	105	106	126	127	0 0.0059000 0.04050000 0.2500000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
189	105	108	126	129	0 0.0115000 0.11060000 0.1850000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
190	105	111	126	132	0 0.0198000 0.16880000 0.3210000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
191	105	136	126	157	0 0.0050000 0.05000000 0.3300000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
192	105	137	126	158	0 0.0077000 0.05380000 0.3350000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
193	105	148	126	169	0 0.0165000 0.11570000 0.1710000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
194	106	107	127	128	0 0.0059000 0.05770000 0.0950000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
195	106	113	127	134	0 0.0049000 0.03360000 0.2080000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
196	106	147	127	168	0 0.0059000 0.05770000 0.0950000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
197	107	109	128	130	0 0.0078000 0.07730000 0.1260000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
198	107	112	128	133	0 0.0026000 0.01930000 0.0300000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
199	108	109	129	130	0 0.0076000 0.07520000 0.1220000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
200	108	112	129	133	0 0.0021000 0.01860000 0.0300000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
201	109	111	130	132	0 0.0016000 0.01640000 0.0260000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
202	109	130	130	151	0 0.0017000 0.01650000 0.0260000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
203	109	146	130	167	0 0.0079000 0.07930000 0.1270000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
204	109	147	130	168	0 0.0078000 0.07840000 0.1250000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
205	112	116	133	137	0 0.0017000 0.01170000 0.2890000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
206	112	147	133	168	0 0.0026000 0.01930000 0.0300000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
207	112	148	133	169	0 0.0021000 0.01860000 0.0300000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
208	112	150	133	171	0 0.0002000 0.01010000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
209	113	114	134	135	0 0.0043000 0.02930000 0.1800000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
210	113	163	134	184	0 0.0039000 0.03810000 0.2580000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
211	114	115	135	136	0 0.0091000 0.06230000 0.3850000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
212	115	116	136	137	0 0.0125000 0.08900000 0.5400000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
213	115	131	136	152	0 0.0056000 0.03900000 0.9530000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
214	116	119	137	140	0 0.0015000 0.01140000 0.2840000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
215	116	160	137	181	0 0.0005000 0.00340000 0.0210000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
216	116	165	137	186	0 0.0007000 0.01510000 0.1260000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
217	116	167	137	188	0 0.0005000 0.00340000 0.0210000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
218	118	151	139	172	0 0.0562000 0.22480000 0.0810000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
219	119	120	140	141	0 0.0120000 0.08360000 0.1230000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
220	119	121	140	142	0 0.0152000 0.11320000 0.6840000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
221	119	124	140	145	0 0.0468000 0.33690000 0.5190000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
222	119	125	140	146	0 0.0430000 0.30310000 0.4630000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
223	119	126	140	147	0 0.0489000 0.34920000 0.5380000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
224	119	161	140	182	0 0.0013000 0.00890000 0.1190000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
225	120	125	141	146	0 0.0291000 0.22670000 0.3420000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
226	121	122	142	143	0 0.0060000 0.05700000 0.7670000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
227	122	124	143	145	0 0.0075000 0.07730000 0.1190000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
228	122	128	143	149	0 0.0127000 0.09090000 0.1350000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
229	124	125	145	146	0 0.0085000 0.05880000 0.0870000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
230	124	128	145	149	0 0.0218000 0.15110000 0.2230000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
231	125	126	146	147	0 0.0073000 0.05040000 0.0740000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
232	127	157	148	178	0 0.0523000 0.15260000 0.0740000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
233	127	158	148	179	0 0.1371000 0.39190000 0.0760000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
234	131	132	152	153	0 0.0137000 0.09570000 0.1410000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
235	132	140	153	161	0 0.0055000 0.02880000 0.1900000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
236	133	135	154	156	0 0.1746000 0.31610000 0.0400000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
237	133	162	154	183	0 0.0804000 0.30540000 0.0450000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
238	134	140	155	161	0 0.0110000 0.05680000 0.3880000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
239	136	138	157	159	0 0.0008000 0.00980000 0.0690000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
240	137	138	158	159	0 0.0029000 0.02850000 0.1900000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
241	137	139	158	160	0 0.0066000 0.04480000 0.2770000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
242	141	143	162	164	0 0.0024000 0.03260000 0.2360000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
243	141	144	162	165	0 0.0018000 0.02450000 1.6620000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
244	142	143	163	164	0 0.0044000 0.05140000 3.5970000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
245	144	145	165	166	0 0.0002000 0.01230000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
246	146	148	167	169	0 0.0018000 0.01780000 0.0290000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
247	151	152	172	173	0 0.0669000 0.48430000 0.0630000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
248	151	153	172	174	0 0.0558000 0.22100000 0.0310000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
249	152	153	173	174	0 0.0807000 0.33310000 0.0490000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
250	152	154	173	175	0 0.0739000 0.30710000 0.0430000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
251	152	155	173	176	0 0.1799000 0.50170000 0.0690000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
252	154	155	175	176	0 0.0904000 0.36260000 0.0480000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
253	154	158	175	179	0 0.0770000 0.30920000 0.0540000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
254	155	156	176	177	0 0.0251000 0.08290000 0.0470000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
255	156	157	177	178	0 0.0222000 0.08470000 0.0500000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
256	157	158	178	179	0 0.0498000 0.18550000 0.0290000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
257	157	159	178	180	0 0.0061000 0.02900000 0.0840000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
258	160	117	181	138	0 0.0004000 0.02020000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
259	160	166	181	187	0 0.0004000 0.00830000 0.1150000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
260	163	164	184	185	0 0.0025000 0.02450000 0.1640000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
261	165	167	186	188	0 0.0007000 0.00860000 0.1150000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000

262	166	167	187	188	0 0.0007000 0.00860000 0.1150000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
263	167	117	188	138	0 0.0004000 0.02020000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
264	168	187	189	208	0 0.0330000 0.09500000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
265	168	188	189	209	0 0.0460000 0.06900000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
266	169	210	190	231	0 0.0004000 0.00220000 6.2000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
267	169	219	190	240	0 0.0000000 0.02750000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
268	170	171	191	192	0 0.0030000 0.04800000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
269	171	204	192	225	0 0.0020000 0.00900000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
270	172	184	193	205	0 0.0450000 0.06300000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
271	172	187	193	208	0 0.0480000 0.12700000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
272	173	198	194	219	0 0.0031000 0.02860000 0.5000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
273	173	242	194	664	0 0.0024000 0.03550000 0.3600000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
274	174	198	195	219	0 0.0031000 0.02860000 0.5000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
275	175	176	196	197	0 0.0140000 0.04000000 0.0040000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
276	175	189	196	210	0 0.0300000 0.08100000 0.0100000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
277	176	177	197	198	0 0.0100000 0.06000000 0.0090000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
278	176	190	197	211	0 0.0150000 0.04000000 0.0060000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
279	177	181	198	202	0 0.3320000 0.68800000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
280	177	182	198	203	0 0.0090000 0.04600000 0.0250000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
281	177	189	198	210	0 0.0200000 0.07300000 0.0080000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
282	177	190	198	211	0 0.0340000 0.10900000 0.0320000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
283	178	179	199	200	0 0.0760000 0.13500000 0.0090000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
284	178	189	199	210	0 0.0400000 0.10200000 0.0050000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
285	179	189	200	210	0 0.0810000 0.12800000 0.0140000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
286	180	183	201	204	0 0.1240000 0.18300000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
287	182	190	203	211	0 0.0100000 0.05900000 0.0080000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
288	183	184	204	205	0 0.0460000 0.06800000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
289	184	185	205	206	0 0.3020000 0.44600000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
290	185	186	206	207	0 0.0730000 0.09300000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
291	185	187	206	208	0 0.2400000 0.42100000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
292	191	194	212	215	0 0.0139000 0.07780000 0.0860000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
293	192	193	213	214	1 0.0025000 0.03800000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
294	193	194	214	215	0 0.0017000 0.01850000 0.0200000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
295	193	221	214	242	0 0.0015000 0.01080000 0.0020000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
296	194	195	215	216	0 0.0045000 0.02490000 0.0260000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
297	195	196	216	217	0 0.0040000 0.04970000 0.0180000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
298	196	197	217	218	0 0.0000000 0.04560000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
299	196	198	217	219	0 0.0005000 0.01770000 0.0200000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
300	196	199	217	220	0 0.0027000 0.03950000 0.8320000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
301	198	216	219	237	0 0.0003000 0.00180000 5.2000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
302	199	197	220	218	0 0.0037000 0.04840000 0.4300000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
303	199	200	220	221	0 0.0010000 0.02950000 0.5030000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
304	199	217	220	238	0 0.0016000 0.00460000 0.4020000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
305	200	202	221	223	0 0.0003000 0.00130000 1.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
306	201	216	222	237	1 0.0014000 0.05140000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
307	203	204	224	225	0 0.0100000 0.06400000 0.4800000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
308	203	205	224	226	0 0.0019000 0.00810000 0.8600000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
309	204	170	225	191	0 0.0010000 0.06100000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
310	205	210	226	231	0 0.0005000 0.02120000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
311	206	210	227	231	1 0.0009000 0.04720000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
312	207	208	228	229	0 0.0019000 0.00870000 1.2800000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
313	207	210	228	231	0 0.0026000 0.09170000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
314	207	213	228	234	0 0.0013000 0.02880000 0.8100000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
315	208	169	229	190	0 0.0000000 0.06260000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
316	210	211	231	232	0 0.0002000 0.00690000 1.3640000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
317	210	216	231	237	0 0.0001000 0.00060000 3.5700000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
318	211	212	232	233	0 0.0017000 0.04850000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
319	213	214	234	235	0 0.0002000 0.02590000 0.1440000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
320	213	216	234	237	0 0.0006000 0.02720000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
321	214	217	235	238	0 0.0002000 0.00060000 0.8000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
322	220	216	241	237	1 0.0005000 0.01540000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
323	219	230	240	281	0 0.0003000 0.00430000 0.0090000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
324	221	224	242	245	0 0.0082000 0.08510000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
325	221	226	242	247	0 0.0112000 0.07230000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
326	222	223	243	244	0 0.0127000 0.03550000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
327	222	224	243	245	0 0.0326000 0.18040000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
328	223	225	244	246	0 0.0195000 0.05510000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
329	224	225	245	246	0 0.0157000 0.07320000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
330	224	226	245	247	0 0.0360000 0.21190000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
331	225	226	246	247	0 0.0268000 0.12850000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
332	226	227	247	248	0 0.0428000 0.12150000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
333	227	228	248	249	0 0.0351000 0.10040000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
334	228	229	249	250	0 0.0616000 0.18570000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
335	3	257	3	1	2 0.0000000 0.05200000 0.0000000 0.94700 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
336	3	2	3	2	2 0.0000000 0.05200000 0.0000000 0.95600 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
337	3	4	3	4	2 0.0000000 0.00500000 0.0000000 0.97100 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000

```

338 7 5 7 5 2 0.0000000 0.03900000 0.0000000 0.94800 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
339 7 6 7 6 2 0.0000000 0.03900000 0.0000000 0.95900 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
340 10 11 10 11 2 0.0000000 0.08900000 0.0000000 1.04600 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
341 12 10 12 10 1 0.0000000 0.05300000 0.0000000 0.98500 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
342 15 17 15 17 2 0.0194000 0.03110000 0.0000000 0.95610 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
343 16 15 16 15 2 0.0010000 0.03800000 0.0000000 0.97100 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
344 20 19 21 20 1 0.0000000 0.01400000 0.0000000 0.95200 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
345 23 22 24 23 2 0.0000000 0.06400000 0.0000000 0.94300 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
346 30 29 36 35 2 0.0000000 0.04700000 0.0000000 1.01000 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
347 39 38 45 44 2 0.0000000 0.02000000 0.0000000 1.00800 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
348 39 40 45 46 2 0.0000000 0.02100000 0.0000000 1.00000 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
349 54 53 62 61 2 0.0000000 0.05900000 0.0000000 0.97500 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
350 55 56 63 64 2 0.0000000 0.03800000 0.0000000 1.01700 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
351 61 62 73 74 2 0.0000000 0.02440000 0.0000000 1.00000 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
352 68 73 81 88 2 0.0000000 0.02000000 0.0000000 1.00000 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
353 70 81 85 99 2 0.0000000 0.04800000 0.0000000 1.00000 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
354 71 83 86 102 2 0.0000000 0.04800000 0.0000000 1.00000 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
355 72 78 87 94 2 0.0000000 0.04600000 0.0000000 1.01500 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
356 93 186 114 207 2 0.0000000 0.14900000 0.0000000 0.96700 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
357 95 103 116 124 1 0.0052000 0.01740000 0.0000000 1.01000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
358 100 94 121 115 2 0.0000000 0.02800000 0.0000000 1.05000 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
359 101 136 122 157 2 0.0005000 0.01950000 0.0000000 1.00000 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
360 109 110 130 131 2 0.0000000 0.01800000 0.0000000 1.05220 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
361 109 129 130 151 2 0.0000000 0.01400000 0.0000000 1.05220 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
362 111 149 132 170 1 0.0010000 0.04020000 0.0000000 1.05000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
363 120 153 141 174 2 0.0024000 0.06030000 0.0000000 0.97500 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
364 121 154 142 175 2 0.0024000 0.04980000 0.0000000 1.00000 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
365 122 123 143 144 2 0.0000000 0.08330000 0.0000000 1.03500 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
366 122 127 143 148 2 0.0013000 0.03710000 0.0000000 0.95650 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
367 124 159 145 180 2 0.0005000 0.01820000 0.0000000 1.00000 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
368 130 149 151 170 1 0.0010000 0.03920000 0.0000000 1.05000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
369 132 162 153 183 2 0.0027000 0.06390000 0.0000000 1.07300 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
370 134 135 155 156 1 0.0008000 0.02560000 0.0000000 1.05000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
371 138 96 159 117 2 0.0000000 0.01600000 0.0000000 1.05060 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
372 139 103 160 124 1 0.0012000 0.03960000 0.0000000 0.97500 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
373 142 116 163 137 2 0.0013000 0.03840000 0.0000000 0.98000 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
374 143 134 164 155 2 0.0009000 0.02310000 0.0000000 0.95600 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
375 161 118 182 139 2 0.0003000 0.01310000 0.0000000 1.05000 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
376 168 189 189 210 2 0.0000000 0.25200000 0.0000000 1.03000 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
377 172 175 193 196 2 0.0000000 0.23700000 0.0000000 1.03000 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
378 174 191 195 212 2 0.0008000 0.03660000 0.0000000 0.98500 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
379 179 227 200 248 2 0.0000000 0.22000000 0.0000000 1.00000 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
380 180 57 201 69 2 0.0000000 0.09800000 0.0000000 1.03000 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
381 181 190 202 211 2 0.0000000 0.12800000 0.0000000 1.01000 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
382 183 246 204 2040 2 0.0200000 0.20400000 0.0000000 1.05000 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
383 188 177 209 198 1 0.0260000 0.21100000 0.0000000 1.03000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
384 190 191 211 212 2 0.0030000 0.01220000 0.0000000 1.00000 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
385 197 198 218 219 2 0.0010000 0.03540000 0.0000000 0.97000 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
386 202 203 223 224 2 0.0012000 0.01950000 0.0000000 1.00000 0.90000 1.10000 0.00000 0.00000 0.00000
387 208 209 229 230 1 0.0010000 0.03320000 0.0000000 1.02000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
388 213 215 234 236 1 0.0005000 0.01600000 0.0000000 1.07000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
389 217 218 238 239 1 0.0005000 0.01600000 0.0000000 1.02000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
390 175 246 196 2040 1 0.0001000 0.02000000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 -11.400 0.00000 0.00000
391 98 243 119 1190 2 0.0010000 0.02300000 0.0000000 1.02230 0.84350 1.15650 0.00000 0.00000 0.00000
392 99 244 120 1200 2 0.0000000 0.02300000 0.0000000 0.92840 0.84350 1.15650 0.00000 0.00000 0.00000
393 248 2 7002 2 1 0.0010000 0.01460000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
394 249 3 7003 3 1 0.0000000 0.01054000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
395 260 53 7061 61 1 0.0000000 0.02380000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
396 261 54 7062 62 1 0.0000000 0.03214000 0.0000000 0.95000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
397 265 145 7166 166 1 0.0000000 0.01540000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
398 254 23 7024 24 1 0.0000000 0.02890000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
399 247 257 7001 1 1 0.0000000 0.01953000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
400 263 109 7130 130 1 0.0000000 0.01930000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
401 250 11 7011 11 1 0.0000000 0.01923000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
402 253 22 7023 23 1 0.0000000 0.02300000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
403 1 43 7049 49 1 0.0000000 0.01240000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
404 264 118 7139 139 1 0.0000000 0.01670000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
405 251 12 7012 12 1 0.0000000 0.03120000 0.0000000 1.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
406 252 17 7017 17 1 0.0000000 0.01654000 0.0000000 0.94200 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
407 255 33 7039 39 1 0.0000000 0.03159000 0.0000000 0.96500 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
408 259 49 7057 57 1 0.0000000 0.05347000 0.0000000 0.95000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
409 256 38 7044 44 1 0.0000000 0.18181000 0.0000000 0.94200 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
410 258 48 7055 55 1 0.0000000 0.19607000 0.0000000 0.94200 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
411 262 59 7071 71 1 0.0000000 0.06896000 0.0000000 0.95650 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000

```

Apêndice B – Casos “ótimos” base e geração de reativos para os Sistemas Elétricos de Potência IEEE 118 e 300 barras obtidos por meio do método da FLBM

Tabela 23 – Solução ótima do sistema de 118 barras ($\varepsilon=0$) obtida por meio do método da FLBM

Barra	Magnitude de Tensão (p.u.)	Ângulo (graus)
1	1,1000	0,0000
2	0,9177	-51,9872
3	0,9158	-51,3939
4	1,0264	-42,8710
5	1,0142	-41,5938
6	0,9742	-47,7323
7	0,9668	-48,6878
8	1,0303	-29,9501
9	1,0389	-13,2713
10	1,1000	3,3894
11	0,9593	-48,3005
12	0,9594	-49,3616
13	0,9182	-51,5618
14	0,9487	-51,0174
15	0,9391	-51,5971
		continua

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
16	0,9528	-49,9942
17	1,0070	-45,6237
18	0,9489	-50,8290
19	0,9287	-52,1183
20	0,9133	-50,1876
21	0,9173	-46,4124
22	0,9542	-40,4488
23	1,0627	-30,0586
24	1,1000	-29,9007
25	1,1000	-15,4592
26	1,1000	-11,4112
27	1,1000	-43,9890
28	1,0857	-47,3046
29	1,0911	-49,3561
30	1,0028	-33,6610
31	1,1000	-49,2488
32	1,0692	-44,7334
33	0,9223	-52,5131
34	0,9443	-50,3470
35	0,9345	-51,4722
36	0,9341	-51,4839
37	0,9566	-49,1296
38	0,9682	-36,0407
39	1,0082	-58,2002
40	1,0711	-61,0348
41	1,0624	-61,4954
42	1,1000	-57,4849
43	0,8946	-49,9430
44	0,8909	-42,4787

continuação

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
45	0,9124	-37,5598
46	1,0150	-31,0965
47	1,0148	-24,8781
48	1,0182	-27,1530
49	1,0326	-24,9037
50	1,0009	-29,7136
51	0,9540	-35,9623
52	0,9407	-38,2925
53	0,9510	-40,6607
54	1,0039	-38,7491
55	0,9869	-39,1209
56	0,9911	-38,7862
57	0,9841	-35,8293
58	0,9631	-37,8498
59	1,0278	-27,8889
60	1,0876	-19,7443
61	1,1000	-18,0220
62	1,0838	-19,1064
63	1,0550	-20,2667
64	1,0798	-16,5915
65	1,1000	-9,4989
66	1,1000	-10,1706
67	1,0750	-15,9332
68	1,0945	-8,4885
69	0,8883	-53,7474
70	0,9873	-20,9950
71	1,0323	-22,9467
72	1,1000	-28,2440
73	1,0737	-23,7227

continuação

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
74	0,8872	-22,8700
75	0,8995	-19,2931
76	0,8250	-23,4180
77	0,9790	-10,9219
78	0,9689	-11,7102
79	0,9759	-11,0866
80	1,0528	-6,3536
81	1,0861	-7,7252
82	0,9445	-11,7593
83	0,9501	-9,6881
84	0,9747	-5,3101
85	1,0063	-2,6061
86	1,0160	-5,7496
87	1,1000	-5,3949
88	1,0364	3,3621
89	1,1000	11,0135
90	1,1000	-2,1000
91	1,1000	-2,4562
92	1,0365	-0,3364
93	0,9903	-6,0282
94	0,9741	-10,2333
95	0,9413	-11,9343
96	0,9587	-11,4942
97	0,9918	-9,6849
98	1,0215	-11,2609
99	1,0795	-14,1232
100	1,0319	-12,2189
101	0,9954	-9,0273
102	1,0176	-3,3666
103	1,0000	-21,3627

continuação

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
104	0,9723	-28,5485
105	0,9850	-31,6187
106	0,9827	-32,2341
107	1,1000	-40,1484
108	0,9967	-34,5705
109	1,0031	-35,6830
110	1,0305	-37,8351
111	1,0663	-34,8837
112	1,1000	-45,3765
113	1,0639	-46,5533
114	1,0711	-45,4472
115	1,0724	-45,4790
116	1,0907	-9,3041
117	0,9146	-53,2233
118	0,8466	-22,4612
Fator de carregamento: 1,3100		
conclusão		

Tabela 24 – Geração de reativos do sistema de 118 barras ($\varepsilon=0$) obtida por meio do método da FLBM

Barra	Potência Reativa Gerada (MVar)
1	332,24
4	300,00
6	50,00
8	300,00
10	200,00
12	120,00
15	30,00
18	50,00
19	24,00
24	101,78
25	37,92
26	126,23
27	238,08
31	217,34
32	42,00
34	24,00
36	24,00
40	300,00
42	286,18
46	100,00
49	210,00
54	300,00
55	23,00
56	15,00
59	180,00
61	198,85
62	20,00
65	200,00
66	151,83
69	15,00

continua

Barra	Potência Reativa Gerada (MVar)
70	32,00
72	45,53
73	100,00
74	9,00
76	23,00
77	70,00
80	280,00
85	23,00
87	40,61
89	164,09
90	228,77
91	59,35
92	9,00
99	100,00
100	155,00
103	40,00
104	23,00
105	23,00
107	200,00
110	-8,00
111	27,08
112	221,50
113	200,00
116	-75,26

conclusão

Tabela 25 – Solução ótima do sistema de 300 barras ($\varepsilon=0$) obtida por meio do método da FLBM

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
7049	1,1000	0,0000
2	1,0726	6,9686
3	1,0673	5,8004
4	1,0694	3,8089
5	1,0455	3,6958
6	1,0662	6,1800
7	1,0637	5,3283
8	1,0444	1,2802
9	1,0360	1,6587
10	1,0486	0,1456
11	1,0462	1,1855
12	1,0619	4,3271
13	1,0278	-1,9273
14	1,0100	-6,3822
15	1,0344	-10,3506
16	1,0632	-3,8038
17	0,9965	-15,5613
19	1,0501	-0,0365
20	1,0220	-3,9209
21	1,0438	0,5876
22	1,0190	-3,4692
23	1,0876	2,6683
24	1,0817	4,9390
25	1,0563	0,0257
26	1,0260	-3,3335

continua

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
27	0,9962	-6,7026
33	1,0526	-13,7067
34	1,0670	-9,3758
35	1,0237	-28,8241
36	1,0380	-25,4708
37	1,0497	-12,8027
38	1,0481	-14,2833
39	1,0765	-7,0404
40	1,0521	-14,5332
41	1,0570	-11,9544
42	1,0703	-8,8490
43	1,0272	-18,9915
44	1,0373	-19,8122
45	1,0447	-16,8785
46	1,0603	-13,5969
47	1,0121	-25,9660
48	1,0473	-18,2184
49	1,0919	-3,3269
51	1,0534	-9,2276
52	1,0101	-13,4447
53	1,0194	-19,9011
54	1,0252	-18,4470
55	1,0212	-13,9421
57	1,0078	-9,3344
58	0,9609	-7,4371
59	0,9469	-6,7351

continuação

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
60	1,0422	-11,2497
61	0,9618	-4,5824
62	1,0275	-1,9841
63	0,8860	-21,9259
64	0,9042	-15,9274
69	1,0189	-29,6551
70	0,9815	-38,7159
71	1,0136	-33,0513
72	1,0154	-30,6621
73	1,0164	-28,7776
74	1,0305	-24,7906
76	1,0090	-29,6724
77	1,0369	-28,1040
78	1,0455	-27,2173
79	1,0332	-28,1744
80	1,0445	-27,9882
81	1,0731	-21,4098
84	1,1000	-20,2440
85	1,0700	-20,3269
86	1,0687	-16,6118
87	1,0577	-9,6105
88	1,0523	-23,6673
89	1,0623	-12,9750
90	1,0571	-13,0765
91	1,1000	-11,1635
92	1,1000	-7,9081
94	1,0687	-11,3606
97	1,0876	-15,4396
98	1,1000	-17,4154
99	1,0769	-23,0313

continua

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
100	1,0885	-16,9366
102	1,0825	-17,7013
103	1,0859	-14,0946
104	1,0798	-19,9163
105	1,0773	-15,0367
107	1,0671	-18,2955
108	1,0794	-23,0651
109	1,0433	-29,0821
110	1,0455	-27,5926
112	1,0463	-32,1429
113	1,0138	-28,3338
114	1,0487	-32,1025
115	1,0010	-16,8592
116	1,0299	-15,9124
117	0,9863	-7,0217
118	0,9801	-6,3926
119	1,1000	3,0271
120	0,9932	-11,9653
121	0,9995	-15,9556
122	1,0002	-17,5126
123	1,0121	-21,1677
124	1,0333	-16,6449
125	1,0203	-21,9550
126	1,0111	-15,7296
127	1,0194	-13,1514
128	1,0215	-6,7687
129	1,0212	-6,3381
130	1,0426	4,6679
131	1,0575	5,1780
132	1,0239	1,9282

continuação

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
133	1,0213	-7,5268
134	1,0515	-10,5061
135	1,0492	-9,1165
136	1,0846	-0,2029
137	1,0780	-3,1910
138	1,0960	-8,4548
139	1,0688	-5,4462
140	1,0665	-5,2785
141	1,0847	-1,4075
142	1,0500	-4,4617
143	1,0929	2,9269
144	1,0333	-1,6164
145	1,0346	-1,7073
146	1,0889	3,0929
147	1,1000	7,2907
148	1,0607	-1,2280
149	1,1000	4,3376
150	1,0583	5,4694
151	1,0251	3,0911
152	1,1000	7,8357
153	1,1000	8,8615
154	1,0726	-2,9153
155	1,0428	5,2803
156	1,0376	3,7482
157	1,0013	-14,7323
158	1,0157	-14,1342
159	0,9993	-12,3228
160	1,0266	-15,5271
161	1,0819	7,2916
162	1,0478	17,5180

continuação

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
163	1,1000	1,5429
164	1,0468	8,4674
165	1,0526	25,5937
166	1,0479	29,6543
167	0,9856	-9,1263
168	1,0216	-6,7943
169	1,0042	-8,8705
170	0,9919	-0,9984
171	0,9971	-12,4910
172	1,0534	-8,2562
173	0,9968	-15,5184
174	1,0739	-4,3843
175	1,0003	-9,3821
176	1,1000	2,9248
177	1,0361	-1,1617
178	0,9507	-8,9220
179	0,9766	-11,9444
180	0,9994	-4,9906
181	1,0847	-3,0635
182	1,0612	-6,0690
183	1,0960	5,7273
184	1,0788	-9,2728
185	1,1000	-6,6501
186	1,1000	0,7075
187	1,1000	-0,1326
188	1,0864	-2,4134
189	1,0496	-29,2627
190	1,0976	-23,2118
191	1,1000	10,6817
192	0,9847	-13,6286

continuação

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
193	1,0388	-30,7160
194	1,0903	-21,7432
195	1,0879	-23,4438
196	1,0486	-27,5096
197	1,0658	-26,3363
198	1,1000	-23,5103
199	1,0313	-28,6954
200	1,0332	-28,5857
201	1,0021	-32,4254
202	1,0485	-28,0488
203	1,0791	-25,1861
204	0,9983	-32,7819
205	1,0222	-31,7400
206	1,0439	-31,5213
207	1,0599	-31,2241
208	1,0429	-30,2371
209	1,0534	-28,8993
210	1,0592	-26,9045
211	1,0664	-26,0822
212	1,0724	-25,2000
213	1,1000	-14,7043
214	1,0712	-20,3855
215	1,0580	-23,0293
216	1,0397	-25,2812
217	1,0779	-24,9042
218	1,0742	-25,3537
219	1,1000	-23,7911
220	1,0768	-24,4647
221	1,0847	-25,2882
222	1,0756	-25,9279

continuação

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
223	1,0801	-25,4837
224	1,0661	-24,3093
225	0,9941	-13,8019
226	1,0779	-24,2763
227	1,0314	-30,2636
228	1,0794	-23,5677
229	1,0876	-22,5040
230	1,1000	-16,2214
231	1,0971	-23,8623
232	1,0895	-25,9498
233	1,0854	-28,7536
234	1,0754	-23,5265
235	1,0761	-23,7135
236	1,1000	-18,2271
237	1,0992	-23,7288
238	1,0774	-23,6390
239	1,1000	-18,7907
240	1,0655	-22,7002
241	1,0866	-18,8252
242	1,0741	-20,3903
243	1,0703	-21,7880
244	1,0549	-22,8057
245	1,0419	-23,6379
246	1,0320	-24,4465
247	1,0439	-24,4304
248	1,0536	-27,9488
249	1,0528	-28,3667
250	1,1000	-26,5362
281	1,0670	-22,6231
319	1,0920	0,4310

continuação

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
320	1,0438	-3,8752
322	1,0848	-20,1986
323	1,0582	-16,1192
324	1,0637	-26,1135
526	0,8439	-45,3819
528	1,0047	-41,3183
531	1,0053	-32,3614
552	1,0554	-26,4696
562	1,0059	-31,2395
609	1,0090	-32,0819
664	1,0700	-19,3884
1190	1,0916	1,7798
1200	0,9837	-10,4174
1201	0,9872	-9,8936
2040	1,0444	-27,9780
7001	1,0897	10,2819
7002	1,1000	11,9518
7003	1,0992	12,9659
7011	1,0632	3,8461
7012	1,1000	10,8735
7017	1,0499	-12,1296
7023	1,1000	5,0071
7024	1,1000	11,5001
7039	1,1000	1,7636
7044	1,1000	-15,9333
1	1,0564	5,0660
7055	1,0629	-8,5904
7057	1,0490	-3,8392
7061	0,9915	1,9948
7062	1,0634	5,7745

continuação

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
071	1,0663	-28,1796
7130	1,1000	19,1143
7139	1,1000	1,1047
7166	1,0644	34,6805
9001	1,0497	-12,8244
9002	1,0024	-21,2481
9003	0,9703	-22,2398
9004	0,9628	-22,3951
9005	1,0501	-12,9087
9006	0,9943	-19,7028
9007	0,9803	-21,1141
9012	1,0119	-19,4853
9021	0,9959	-21,4921
9022	0,9690	-24,2673
9023	0,9804	-21,8176
9024	0,9754	-24,0118
9025	0,9691	-22,9719
9026	0,9701	-22,8747
9031	0,9101	-28,3012
9032	0,9246	-26,9499
9033	0,9065	-28,6742
9034	0,9823	-23,8088
9035	0,9322	-26,1848
9036	0,9424	-25,7758
9037	0,9399	-25,5118
9038	0,9188	-27,6026
9041	0,9475	-24,0907
9042	0,9321	-25,4154
9043	0,9485	-24,2942
9044	0,9653	-22,3499

continuação

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
9051	1,0938	-20,7533
9052	0,9291	-20,2620
9053	1,0826	-19,1082
9054	1,0996	-8,5775
9055	1,0919	-9,2365
9071	0,9619	-23,1167
9072	0,9677	-22,4936
9121	0,9863	-21,7709
9533	1,0793	-19,6104
Fator de carregamento: 1,1474		

conclusão

Tabela 26 – Geração de reativos do sistema de 300 barras ($\varepsilon=0$) obtida por meio do método da FLBM

Barra	Potência Reativa Gerada (MVar)
7049	87,77
8	10,00
10	20,00
20	20,00
63	25,00
76	35,00
84	205,19
91	15,89
92	26,04
98	34,64
108	77,00
119	1325,31
124	120,00
125	200,00
138	350,00
141	75,00

continua

Barra	Potência Reativa Gerada (MVar)
143	300,00
146	35,00
147	-23,50
149	22,19
152	-40,75
153	29,65
156	15,00
170	90,00
171	150,00
176	76,22
177	35,00
185	67,01
186	298,73
187	338,57
190	-128,44
191	805,38
198	178,22
213	78,01
220	60,00
221	320,00
222	170,51
227	300,00
230	50,90
233	241,28
236	179,23
238	200,00
239	162,47
241	-82,41
242	94,73
243	40,00

continuação

Barra	Potência Reativa Gerada (MVar)
7001	210,00
7002	187,80
7003	420,00
7011	100,00
7012	158,63
7017	350,00
7023	63,44
7024	96,57
7039	126,06
7044	39,38
7055	25,00
7057	90,00
7061	150,00
7062	150,00
7071	87,00
7130	514,93
7139	251,20
7166	142,26
9002	2,00
9051	17,35
9053	12,83
9054	38,00
9055	6,00

conclusão

Apêndice C – Resultados dos Sistemas

Elétricos de Potência IEEE 118 e 300

barras Perturbados obtidos por meio

da técnica de Análise de Sensibilidade

Tabela 27 – Solução perturbada do sistema de 118 barras ($\varepsilon=1\%$ na barra 11) obtida por meio da técnica de AS

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
1	1,1000	0,0000
2	0,9178	-51,9619
3	0,9158	-51,3680
4	1,0264	-42,8530
5	1,0142	-41,5760
6	0,9742	-47,7107
7	0,9668	-48,6657
8	1,0302	-29,9345
9	1,0389	-13,2662
10	1,1000	3,3845
11	0,9593	-48,2835
12	0,9594	-49,3397
13	0,9183	-51,5355
14	0,9487	-50,9876
15	0,9392	-51,5506
16	0,9528	-49,9650
17	1,0070	-45,5849
18	0,9490	-50,7813
19	0,9289	-52,0678
20	0,9134	-50,1384
21	0,9173	-46,3679
22	0,9542	-40,4116

continua

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
23	1,0627	-30,0334
24	1,1000	-29,8762
25	1,1000	-15,4450
26	1,1000	-11,3995
27	1,1000	-43,9510
28	1,0857	-47,2635
29	1,0911	-49,3130
30	1,0028	-33,6343
31	1,1000	-49,2059
32	1,0693	-44,6945
33	0,9223	-52,4632
34	0,9443	-50,2998
35	0,9345	-51,4227
36	0,9341	-51,4344
37	0,9566	-49,0843
38	0,9682	-36,0092
39	1,0083	-58,1447
40	1,0712	-60,9779
41	1,0624	-61,4383
42	1,1000	-57,4390
43	0,8946	-49,9016
44	0,8909	-42,4537
45	0,9124	-37,5427
46	1,0150	-31,0869
47	1,0148	-24,8725
48	1,0182	-27,1479
49	1,0325	-24,8995
50	1,0008	-29,7111
51	0,9540	-35,9604
52	0,9407	-38,2903
53	0,9510	-40,6602
54	1,0038	-38,7511
55	0,9869	-39,1231
56	0,9910	-38,7885
57	0,9841	-35,8296
58	0,9631	-37,8498
59	1,0278	-27,8855
60	1,0876	-19,7407
61	1,1000	-18,0192
62	1,0838	-19,1026
63	1,0550	-20,2632
64	1,0798	-16,5881
65	1,1000	-9,4949

continuação

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
66	1,1000	-10,1704
67	1,0750	-15,9302
68	1,0946	-8,4822
69	0,8883	-53,7193
70	0,9873	-20,9784
71	1,0323	-22,9286
72	1,1000	-28,2216
73	1,0737	-23,7043
74	0,8872	-22,8515
75	0,8995	-19,2779
76	0,8250	-23,4006
77	0,9790	-10,9181
78	0,9689	-11,7060
79	0,9759	-11,0830
80	1,0528	-6,3536
81	1,0861	-7,7209
82	0,9445	-11,7591
83	0,9501	-9,6905
84	0,9746	-5,3174
85	1,0063	-2,6154
86	1,0160	-5,7579
87	1,1000	-5,4038
88	1,0364	3,3489
89	1,1000	10,9960
90	1,1000	-2,1120
91	1,1000	-2,4681
92	1,0364	-0,3483
93	0,9903	-6,0363
94	0,9741	-10,2380
95	0,9413	-11,9364
96	0,9587	-11,4950
97	0,9918	-9,6848
98	1,0215	-11,2616
99	1,0795	-14,1259
100	1,0319	-12,2245
101	0,9954	-9,0348
102	1,0176	-3,3772
103	0,9999	-21,3646
104	0,9723	-28,5481
105	0,9849	-31,6167
106	0,9827	-32,2320
107	1,1000	-40,1432
108	0,9967	-34,5641

continuação

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
109	1,0031	-35,6745
110	1,0306	-37,8225
111	1,0665	-34,8729
112	1,1000	-45,3578
113	1,0640	-46,5136
114	1,0711	-45,4075
115	1,0724	-45,4393
116	1,0909	-9,2970
117	0,9146	-53,1983
118	0,8466	-22,4434

conclusão

Tabela 28 – Solução perturbada do sistema de 118 barras ($\varepsilon=1\%$ na barra crítica 76) obtida por meio da técnica de AS

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
1	1,1000	0,0000
2	0,9177	-51,9823
3	0,9158	-51,3891
4	1,0264	-42,8676
5	1,0142	-41,5905
6	0,9742	-47,7282
7	0,9668	-48,6835
8	1,0303	-29,9480
9	1,0389	-13,2706
10	1,1000	3,3888
11	0,9593	-48,2963
12	0,9594	-49,3573
13	0,9182	-51,5571
14	0,9487	-51,0129
15	0,9391	-51,5927
16	0,9528	-49,9900
17	1,0070	-45,6204
18	0,9489	-50,8248
19	0,9287	-52,1138
20	0,9133	-50,1843
21	0,9173	-46,4103
22	0,9542	-40,4482
23	1,0627	-30,0603
24	1,1000	-29,9042
25	1,1000	-15,4607
26	1,1000	-11,4125

continua

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
27	1,1000	-43,9879
28	1,0857	-47,3030
29	1,0911	-49,3541
30	1,0028	-33,6590
31	1,1000	-49,2468
32	1,0692	-44,7322
33	0,9223	-52,5084
34	0,9443	-50,3426
35	0,9345	-51,4676
36	0,9341	-51,4793
37	0,9566	-49,1255
38	0,9682	-36,0383
39	1,0082	-58,1948
40	1,0711	-61,0291
41	1,0624	-61,4897
42	1,1000	-57,4802
43	0,8946	-49,9390
44	0,8909	-42,4762
45	0,9124	-37,5581
46	1,0150	-31,0956
47	1,0148	-24,8776
48	1,0182	-27,1526
49	1,0326	-24,9034
50	1,0009	-29,7130
51	0,9540	-35,9609
52	0,9407	-38,2908
53	0,9510	-40,6589
54	1,0039	-38,7474
55	0,9869	-39,1192
56	0,9911	-38,7845
57	0,9841	-35,8280
58	0,9631	-37,8482
59	1,0278	-27,8884
60	1,0876	-19,7446
61	1,1000	-18,0225
62	1,0838	-19,1067
63	1,0550	-20,2669
64	1,0798	-16,5920
65	1,1000	-9,5001
66	1,1000	-10,1716
67	1,0750	-15,9337
68	1,0945	-8,4900
69	0,8883	-53,7422

continuação

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
70	0,9873	-21,0061
71	1,0323	-22,9573
72	1,1000	-28,2512
73	1,0737	-23,7334
74	0,8871	-22,8894
75	0,8995	-19,3142
76	0,8252	-23,4739
77	0,9790	-10,9312
78	0,9689	-11,7190
79	0,9759	-11,0945
80	1,0528	-6,3597
81	1,0861	-7,7283
82	0,9445	-11,7660
83	0,9501	-9,6946
84	0,9747	-5,3164
85	1,0063	-2,6122
86	1,0160	-5,7557
87	1,1000	-5,4011
88	1,0364	3,3562
89	1,1000	11,0074
90	1,1000	-2,1056
91	1,1000	-2,4618
92	1,0364	-0,3417
93	0,9903	-6,0332
94	0,9741	-10,2379
95	0,9413	-11,9392
96	0,9587	-11,4997
97	0,9918	-9,6905
98	1,0215	-11,2656
99	1,0795	-14,1269
100	1,0319	-12,2220
101	0,9954	-9,0313
102	1,0176	-3,3715
103	1,0000	-21,3630
104	0,9723	-28,5481
105	0,9850	-31,6174
106	0,9827	-32,2335
107	1,1000	-40,1471
108	0,9967	-34,5652
109	1,0031	-35,6761
110	1,0306	-37,8252
111	1,0665	-34,8737
112	1,1000	-45,3635

continuação

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
113	1,0639	-46,5503
114	1,0711	-45,4460
115	1,0724	-45,4778
116	1,0907	-9,3055
117	0,9146	-53,2184
118	0,8466	-22,5007

conclusão

Tabela 29 – Solução perturbada do sistema de 300 barras ($\varepsilon=1\%$ na barra crítica 526) obtida por meio da técnica de AS

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
7049	1,1000	0,0000
2	1,0726	6,9035
3	1,0673	5,7355
4	1,0694	3,7432
5	1,0455	3,6330
6	1,0662	6,1151
7	1,0637	5,2637
8	1,0445	1,2155
9	1,0360	1,5950
10	1,0487	0,0817
11	1,0462	1,1207
12	1,0619	4,2614
13	1,0278	-1,9939
14	1,0100	-6,4477
15	1,0344	-10,4162
16	1,0632	-3,8748
17	0,9965	-15,6301
19	1,0501	-0,1039
20	1,0221	-3,9880
21	1,0439	0,5204
22	1,0191	-3,5402
23	1,0876	2,6003
24	1,0817	4,8706
25	1,0563	-0,0440
26	1,0260	-3,4056
27	0,9963	-6,7754
33	1,0527	-13,7712
34	1,0670	-9,4537
35	1,0237	-28,9788
36	1,0380	-25,6189

continua

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
37	1,0497	-12,8584
38	1,0481	-14,3468
39	1,0765	-7,1201
40	1,0521	-14,5965
41	1,0570	-12,0166
42	1,0703	-8,9283
43	1,0272	-19,0677
44	1,0373	-19,9009
45	1,0447	-16,9714
46	1,0603	-13,6925
47	1,0121	-26,0737
48	1,0473	-18,2906
49	1,0919	-3,3380
51	1,0534	-9,2660
52	1,0101	-13,4887
53	1,0194	-19,9765
54	1,0252	-18,5194
55	1,0212	-13,9907
57	1,0077	-9,3546
58	0,9609	-7,4575
59	0,9469	-6,7561
60	1,0422	-11,3164
61	0,9618	-4,6046
62	1,0275	-2,0109
63	0,8862	-21,8338
64	0,9042	-15,8679
69	1,0189	-29,8318
70	0,9815	-38,8693
71	1,0136	-33,1994
72	1,0154	-30,8167
73	1,0164	-28,9179
74	1,0305	-24,9242
76	1,0092	-29,8272
77	1,0369	-28,2607
78	1,0455	-27,3733
79	1,0332	-28,3299
80	1,0445	-28,1593
81	1,0731	-21,5569
84	1,1000	-20,4032
85	1,0700	-20,4115
86	1,0687	-16,6910
87	1,0577	-9,6833
88	1,0523	-23,8102

continuação

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
89	1,0623	-13,0419
90	1,0571	-13,1402
91	1,1000	-11,2347
92	1,1000	-7,9802
94	1,0687	-11,4324
97	1,0876	-15,5144
98	1,1000	-17,4929
99	1,0769	-23,1189
100	1,0885	-17,0134
102	1,0825	-17,7792
103	1,0859	-14,1683
104	1,0798	-19,9984
105	1,0773	-15,1115
107	1,0671	-18,3711
108	1,0794	-23,1529
109	1,0433	-29,1858
110	1,0456	-27,6903
112	1,0463	-32,2678
113	1,0138	-28,4417
114	1,0487	-32,2297
115	1,0010	-16,9123
116	1,0299	-15,9674
117	0,9863	-7,0791
118	0,9801	-6,4503
119	1,1000	2,9647
120	0,9932	-12,0210
121	0,9995	-16,0091
122	1,0002	-17,5655
123	1,0122	-21,2228
124	1,0333	-16,6998
125	1,0205	-22,0061
126	1,0111	-15,7823
127	1,0195	-13,2032
128	1,0215	-6,8218
129	1,0212	-6,3914
130	1,0426	4,6065
131	1,0575	5,1142
132	1,0239	1,8679
133	1,0214	-7,5781
134	1,0515	-10,5576
135	1,0492	-9,1674
136	1,0846	-0,2542
137	1,0780	-3,2403

continuação

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
138	1,0962	-8,5018
139	1,0688	-5,4925
140	1,0665	-5,3250
141	1,0846	-1,4525
142	1,0500	-4,4993
143	1,0928	2,8901
144	1,0333	-1,6439
145	1,0346	-1,7449
146	1,0889	3,0508
147	1,1000	7,2468
148	1,0607	-1,2626
149	1,1000	4,3001
150	1,0583	5,4057
151	1,0251	3,0303
152	1,1000	7,7832
153	1,1000	8,8099
154	1,0726	-2,9675
155	1,0428	5,2310
156	1,0377	3,6995
157	1,0013	-14,7863
158	1,0157	-14,1885
159	0,9993	-12,3776
160	1,0266	-15,5820
161	1,0819	7,2408
162	1,0478	17,4667
163	1,1000	1,4930
164	1,0468	8,4173
165	1,0526	25,5411
166	1,0478	29,6005
167	0,9856	-9,1795
168	1,0216	-6,8473
169	1,0042	-8,9228
170	0,9920	-1,0575
171	0,9973	-12,5403
172	1,0534	-8,2997
173	0,9968	-15,5569
174	1,0739	-4,4275
175	1,0003	-9,4178
176	1,1000	2,8876
177	1,0361	-1,1978
178	0,9507	-8,9562
179	0,9765	-11,9783
180	0,9994	-5,0264

continuação

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
181	1,0847	-3,1127
182	1,0612	-6,1152
183	1,0960	5,6766
184	1,0788	-9,3247
185	1,1000	-6,7027
186	1,1000	0,6569
187	1,1000	-0,1829
188	1,0864	-2,4628
189	1,0496	-29,4537
190	1,0976	-23,3914
191	1,1000	10,5003
192	0,9847	-13,8048
193	1,0388	-30,9025
194	1,0903	-21,9081
195	1,0879	-23,6174
196	1,0486	-27,7061
197	1,0658	-26,5294
198	1,1000	-23,7020
199	1,0313	-28,9148
200	1,0332	-28,8207
201	1,0021	-32,6045
202	1,0485	-28,2407
203	1,0791	-25,3780
204	0,9983	-32,9719
205	1,0222	-31,9265
206	1,0439	-31,6779
207	1,0598	-31,3658
208	1,0429	-30,4232
209	1,0534	-29,0903
210	1,0592	-27,1084
211	1,0664	-26,2732
212	1,0724	-25,3931
213	1,1000	-14,9844
214	1,0715	-20,6672
215	1,0580	-23,2839
216	1,0397	-25,5164
217	1,0779	-25,0965
218	1,0742	-25,5409
219	1,1000	-23,9713
220	1,0768	-24,6566
221	1,0847	-25,4707
222	1,0752	-26,1073
223	1,0801	-25,6661

continuação

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
224	1,0661	-24,4907
225	0,9941	-13,9776
226	1,0779	-24,4573
227	1,0323	-30,4414
228	1,0794	-23,7509
229	1,0876	-22,6860
230	1,1000	-16,4051
231	1,0971	-24,0423
232	1,0894	-26,1291
233	1,0854	-28,9323
234	1,0754	-23,7119
235	1,0761	-23,9059
236	1,1000	-18,4138
237	1,0992	-23,9088
238	1,0774	-23,8312
239	1,1000	-18,9841
240	1,0655	-22,8800
241	1,0861	-19,0065
242	1,0758	-20,6762
243	1,0700	-22,0720
244	1,0549	-23,0913
245	1,0421	-23,9332
246	1,0320	-24,7415
247	1,0441	-24,7275
248	1,0536	-28,2331
249	1,0528	-28,6527
250	1,1000	-26,8176
281	1,0670	-22,8029
319	1,0920	0,3635
320	1,0438	-3,9477
322	1,0848	-20,2810
323	1,0582	-16,1985
324	1,0637	-26,2033
526	0,8441	-45,0445
528	1,0047	-41,4728
531	1,0053	-32,5164
552	1,0554	-26,6244
562	1,0059	-31,3745
609	1,0090	-32,2449
664	1,0700	-19,5535
1190	1,0916	1,7179
1200	0,9837	-10,4738
1201	0,9872	-9,9500

continuação

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
2040	1,0444	-28,1736
7001	1,0895	10,2166
7002	1,1000	11,8852
7003	1,0989	12,8976
7011	1,0630	3,7801
7012	1,1000	10,8049
7017	1,0497	-12,2001
7023	1,1000	4,9381
7024	1,1000	11,4287
7039	1,1000	1,6798
7044	1,1000	-16,0237
1	1,0564	5,0032
7055	1,0627	-8,6414
7057	1,0489	-3,8621
7061	0,9914	1,9695
7062	1,0633	5,7441
7071	1,0658	-28,3302
7130	1,1000	19,0462
7139	1,1000	1,0554
7166	1,0642	34,6243
9001	1,0497	-12,8800
9002	1,0024	-21,3086
9003	0,9703	-22,2924
9004	0,9628	-22,4476
9005	1,0501	-12,9644
9006	0,9943	-19,7558
9007	0,9803	-21,1668
9012	1,0119	-19,5442
9021	0,9959	-21,5535
9022	0,9690	-24,3283
9023	0,9804	-21,8797
9024	0,9754	-24,0721
9025	0,9691	-23,0339
9026	0,9701	-22,9366
9031	0,9101	-28,3525
9032	0,9246	-27,0014
9033	0,9065	-28,7254
9034	0,9823	-23,8609
9035	0,9322	-26,2366
9036	0,9424	-25,8272
9037	0,9399	-25,5637
9038	0,9188	-27,6540
9041	0,9475	-24,1428

continuação

Barra	Magnitude de Tensão (p.u)	Ângulo (graus)
9042	0,9321	-25,4674
9043	0,9485	-24,3461
9044	0,9653	-22,4024
9051	1,0940	-20,8060
9052	0,9291	-20,3148
9053	1,0828	-19,1616
9054	1,0995	-8,6351
9055	1,0918	-9,2939
9071	0,9619	-23,1690
9072	0,9677	-22,5460
9121	0,9863	-21,8298
9533	1,0794	-19,6636

conclusão