

VALDSON SIMÕES DE JESUS

FLUXO DE CARGA PROBABILÍSTICO

Dissertação apresentada ao Curso de
ENGENHARIA ELÉTRICA da Universidade
Federal da Paraíba, em cumprimento às
exigências para obtenção do Grau de
Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Processamento da Energia

ORIENTADOR: Prof. Washington Evangelista de Macedo, Mestre

CAMPINA GRANDE - PB

Novembro - 1988



J58f Jesus, Valdson Simoes de
Fluxo de carga probabilistico / Valdson Simoes de Jesus.
- Campina Grande, 1988.
218 f.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Eletrica) -
Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e
Tecnologia.

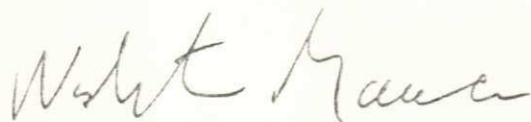
1. Fluxo de Carga Probabilistico 2. Carga - 3.
Dissertacao I. Macedo, Washington Evangelista de, M.Sc. II.
Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB) III.
Título

CDU 621.315(043)

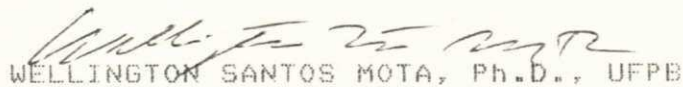
FLUXO DE CARGA PROBABILÍSTICO

VALDSON SIMÕES DE JESUS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 28/11/88



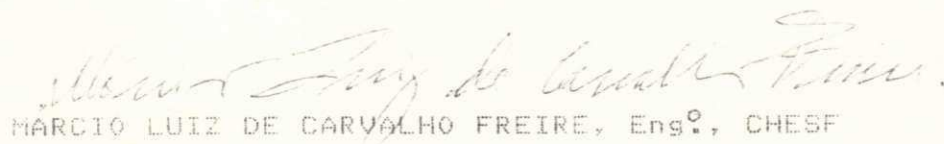
WASHINGTON EVANGELISTA DE MACEDO, Mestre, UFPB
Orientador



WELLINGTON SANTOS MOTA, Ph.D., UFPB
Componente da Banca



DAGOBERTO LOURENÇO RIBEIRO, Mestre, UFPB
Componente da Banca



MARCIO LUIZ DE CARVALHO FREIRE, Eng^o, CHESF
Componente da Banca

CAMPINA GRANDE - PB

NOVEMBRO - 1988

FLUXO DE CARGA PROBABILISTICO

PROGRAMA E APLICACOES

Aos meus pais, irmãos e à minha
esposa.

AGRADECIMENTOS

Ao professor WASHINGTON EVANGELISTA DE MACEDO, pelo apoio e excelente orientação.

Aos professores BENEMAR ALENCAR DE SOUZA, DAGOBERTO LOURENÇO RIBEIRO, ELIANE MARIZE R. DE CARVALHO, MANOEL AFONSO DE CARVALHO, MARIA JOSE P. A. DE CARVALHO e ao amigo JOAO VIANA, pelo apoio e ajuda oferecidos na realização desta tese.

A Roberto Gomes, Jair, Márcio, Arnaldo e demais colegas por contribuírem de alguma maneira na finalização desta tese.

E sobretudo à ZIANNY S. BORGES DE JESUS, pelo constante apoio e estímulo.

RESUMO

O propósito desta dissertação de tese é descrever e aplicar em grandes sistemas, um método que permita com que as cargas e geração sejam modeladas probabilisticamente.

Em planejamento e operação de um sistema de potência, é necessário realizar estudos de fluxo de potência, havendo vários métodos que o fazem rápido e eficientemente. Entretanto, estes métodos são determinísticos e para cada solução de um fluxo de carga, a configuração do sistema, cargas nodais e geração são supostos constantes.

O problema com este método de abordagem determinística é que, embora muito preciso, são tão confiáveis quanto os dados de entrada. Alguma variação nos dados de entrada, causa mudanças na solução do fluxo de carga, pois a hipótese determinística é uma simplificação do problema. Para superar esta dificuldade, o problema pode ser modelado probabilisticamente.

A partir do conhecimento de variações estatísticas da carga e geração nodais, que são modeladas como variáveis aleatórias, obtêm-se as variáveis de saída de um fluxo de carga, em termos de uma função densidade de probabilidade.

Esta dissertação também descreve uma metodologia para a modelagem estatística das cargas ativas e reativas de um sistema de potência.

As funções densidade de probabilidade, que modelam a aleatoriedade das variáveis de saída, fornecem um maior número de informações, proporcionando subsídios para um melhor planejamento do sistema, a nível de expansão e operação do sistema.

Este método resulta então, em uma análise probabilística em vez de determinística, do problema de fluxo de carga.

O método usa os resultados referentes ao estado do sistema, obtidos de uma solução de um fluxo de carga determinístico como o ponto em torno do qual serão linearizadas as equações do fluxo de carga probabilístico.

ABSTRACT

The propose of this Master Theses Dissertation is to describe and apply to Large Electrical Network Systems, a method that accept probabilistic modellis for power loads and generation.

In Power System operation and planning, it is necessary to apply power system network studies which have been made through well knows efficient and fast converging numerical methods.

However, such methods are deterministic and for each network solution, the system configuration, loads and generation, are considered constant.

Despite presenting a very good solution these deterministic methods are well dependent on data precision.

From the known statistical variation of load and generation, the data is modelled as random variables and the solution of the Load Flow is given by a set of probabilistic density functions.

This Master Theses Dissertation also describes a method of statistic modelling the active and reactive power systems loads.

The solution of the Load Flow through probabilistic density functions supplys a greater number of information, providing a greater number of information providing a better knowledge to the system planning operation and expansion studies.

The used method is a probabilistic analyse of the Power System Load Flow problem. The deterministic power flow solution is taken as reference point for linearization of the power flow probabilistic equations.

ÍNDICE

	pag.
Capítulo 1 - INTRODUÇÃO	
1.1 - Considerações	1
1.2 - Evolução histórica da teoria do FGP	3
1.3 - Organização dos capítulos	5
Capítulo 2 - FORMULAÇÃO USADA NO DESENVOLVIMENTO DESTA DISSERTAÇÃO DE TESE	
2.1 - Introdução	6
2.2 - Descrição do problema	6
2.3 - Linearização utilizada	6
2.4 - Conclusões	17
2.5 - Algoritmo do FGP	19
Capítulo 3 - FORMULAÇÕES PARA O FLUXO DE CARGA PROBABILÍSTICO	
3.1 - Introdução	20
3.2 - Primeira formulação - fluxo de carga probabilístico - FGP	21
3.2.1 - Introdução	21
3.2.2 - Primeira alternativa para o FGP ..	21
3.2.2.1 - Formulação matemática ..	22
3.2.2.2 - Considerações	26
3.2.3 - Segunda alternativa para o FGP ..	27
3.2.3.1 - Formulação matemática ..	27
3.2.3.2 - Considerações	31
3.3 - Segunda formulação - fluxo de carga estocástico	33
3.3.1 - Introdução	33

	pag.
3.3.2 - Desenvolvimento matemático	33
3.3.3 - Limites de confiança	37
3.3.4 - Restrições de área	38
3.3.5 - Restrições na carga total do sistema	39
3.3.6 - Considerações	40
3.4 - Conclusões	41
Capítulo 4 - TÉCNICAS COMPUTACIONAIS PARA A SOMA DE VARIÁVEIS ALEATORIAS INDEPENDENTES	
4.1 - Introdução	42
4.2 - Descrição do processo de convolução	42
4.3 - Método semi-convencional	45
4.3.1 - Introdução	45
4.3.2 - Função normal equivalente	45
4.3.3 - Função discreta equivalente	48
4.3.4 - Função densidade de probabilidade final	50
4.3.5 - Conclusão	51
4.4 - Método baseado na FFT	51
4.4.1 - Introdução	51
4.4.2 - Conceitos gerais	51
4.4.3 - Discretizando a função normal equivalente	53
4.4.4 - Preparando as funções a serem somadas	54
4.4.5 - Ordenação das funções a serem somadas	58
4.4.6 - Considerações	60
4.5 - Comparações entre os dois métodos	60

Capítulo 5 - RESULTADOS E COMENTÁRIOS

5.1 - Introdução	62
5.2 - Resultados do sistema teste de 5 barras	62
5.3 - Resultados do sistema teste de 14 barras	62
5.4 - Resultados do sistema teste de 39 barras	62
5.5 - Análise dos resultados do sistema teste de 39 barras	63
5.5.1 - Introdução	63
5.5.2 - Magnitude da tensão nas barras de carga	63
5.5.3 - O fluxo de potência aparente	63
5.5.4 - A potência reativa injetada nas barras de tensão controlada	64
5.5.5 - O balanço de potência	64
5.6 - Comentários	65

Capítulo 6 - CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

6.1 - Introdução	86
6.2 - Erros introduzidos pela linearização	86
6.3 - Comparação matemática com a formulação apresentada na seção 3.2.3	88
6.4 - Erros introduzidos pelo teorema do limite central	91
6.5 - O coeficiente de sensibilidade	92
6.6 - Modelando contingências no sistema	97
6.6.1 - Formulação matemática do problema	97
6.6.2 - Método de solução do problema ...	98
6.7 - Modelando transformadores em fase	99

	pag.
6.8 - Modelando a dependência entre as injeções de potência nas barras	101
6.8.1 - Introdução	101
6.8.2 - Correlação entre as potências injetadas	101
6.8.3 - Representação matemática	102
6.9 - Multilinearizações no fluxo de carga probabilístico	104
6.10 - A simulação de Monte Carlo	105
6.10.1 - Introdução	105
6.10.2 - Geração de variáveis aleatórias	106
6.10.3 - Comparação da simulação com o FCP	107
6.10.4 - Conclusões	107
6.11 - Interface com arquivos históricos	110
6.12 - Conclusões	110

Capítulo 7 - REPRESENTAÇÃO PROBABILÍSTICA DOS DADOS REFERENTES AS POTÊNCIAS NAS BARRAS

7.1 - Introdução	115
7.2 - Distribuições utilizadas	115
7.2.1 - Dados de barra binomiais	115
7.2.2 - Dados de barra normais	117
7.2.3 - Dados de barra discretos	118
7.3 - Modelagem das cargas	119
7.3.1 - Introdução	119
7.3.2 - Obtenção dos dados de carga	119
7.3.3 - A curva de tendência	120

	pag.
7.3.4 - O teste de aderência	121
7.3.5 - Resultados / Conclusões	123
Capítulo 8 - CONCLUSÕES	132
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135
 Apêndice A - SINOPSE DA TEORIA DA PROBABILIDADE	
A.1 - Introdução	138
A.2 - Noções fundamentais	138
A.3 - Variáveis aleatórias	138
A.3.1 - Variáveis aleatórias discretas e contínuas	138
A.3.2 - Função de distribuição acumulada	139
A.3.3 - Variáveis aleatórias independentes	140
A.3.4 - Valor esperado e variância	140
A.4 - Algumas distribuições	141
A.5 - O teorema do limite central	145
A.6 - Distribuições truncadas	146
A.7 - Correlação entre duas variáveis aleatórias	148
A.7.1 - Dependência linear	148
A.7.2 - Combinação linear entre duas variáveis aleatórias dependentes	149
 Apêndice B - O FLUXO DE CARGA CONVENCIONAL	
B.1 - Introdução	151
B.2 - Formulação básica do problema	151
B.3 - Linhas e transformadores	154

	pag.
B.3.1 - Modelagem	154
B.3.2 - Fluxos de potência ativa, reativa e aparente	156
B.4 - Potências injetadas nas barras	158
B.4.1 - Potência ativa e reativa - S_k ..	158
B.4.2 - Potência reativa shunt injetada - $Q_{k(sh)}$	160
B.5 - Considerações finais	160
 Apêndice C - A TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER - FFT	
C.1 - Introdução	161
C.2 - A transformada de Fourier	161
C.3 - Propriedades da transformada de Fourier	161
C.4 - A transformada discreta de Fourier	162
C.5 - A transformada rápida de Fourier - FFT .	163
C.5.1 - Formulação matricial	163
C.6 - Considerações	167
 Apêndice D - DADOS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA	
D.1 - Introdução	169
D.2 - Sistema teste de 5 barras ⁽²⁸⁾	169
D.3 - Sistema teste de 14 barras do IEEE	170
D.4 - Sistema teste de 39 barras do IEEE	174
 Apêndice E - MANUAL PARA USO DO PROGRAMA DE FLUXO DE CARGA PROBABILÍSTICO	
E.1 - Introdução	179
E.2 - Suposições	180
E.3 - Preparação dos dados de entrada	181

E.4 - Descrição dos dados de entrada	183
E.4.1 - Dados gerais de entrada	183
E.4.2 - Dados determinísticos de barra .	184
E.4.3 - Dados de linha e transformadores	184
E.4.4 - Dados probabilísticos de barra .	185
E.5 - Descrição dos resultados de saída	186
E.6 - Formatação dos dados de entrada	188
E.6.1 - Título do sistema	188
E.6.2 - Dados gerais de entrada	188
E.6.3 - Dados determinísticos de barra .	189
E.6.4 - Dados de linhas e transformadores	190
E.6.5 - Dados probabilísticos de barra .	191
E.7 - Dimensões máximas admissíveis	193
E.8 - Erros detectados nos dados de entrada ..	193

Apêndice F - USO DO PROGRAMA DO FCP COM OS DADOS DO SISTEMA GHESF

F.1 - Introdução	194
F.2 - Considerações	194
F.3 - Resultados	194

ÍNDICE DE FIGURAS

	pag.
1.1 - Variação na previsão de carga de uma determinada barra	1
4.1 - Região de integração	43
4.2 - Processo de convolução	47
a) Funções densidade a serem convolucionadas	
b) Preparando as funções a serem convolucionadas	
c) Exemplo gráfico do processo de convolução	
4.3 - Exemplo de duas variáveis aleatórias discretas e independentes, X e Y	49
4.4 - Convolução das variáveis aleatórias X e Y	50
4.5 - Processo de convolução usando a FFT	52
4.6 - Truncamento de uma distribuição normal	53
4.7 - Parâmetros da soma de duas variáveis aleatórias	55
4.8 - Processo de deslocamento de uma distribuição discreta	56
4.9 - Processo de "decomposição" de um impulso	57
4.10 - Tempo computacional do processo de convolução	61
5.1 - Magnitude da tensão na barra 10	67
5.2 - Ângulo da tensão na barra 10	67
5.3 - Potência reativa injetada na barra 3	68
5.4 - Potência reativa shunt injetada na barra 4	68
5.5 - Balanço de potência ativa na barra de balanço	69
5.6 - Potência ativa injetada na barra de balanço	69
5.7 - Fluxo de potência aparente na linha 9 - 7	70
5.8 - Fluxo de potência reativa na linha 4 - 9	70
5.9 - Ângulo da tensão na barra 8	71
5.10 - Potência reativa injetada na barra 37	71

5.11 - Fluxo de potência ativa na linha 3 - 18	72
5.12 - Fluxo de potência reativa na linha 15 - 14	72
5.13 - Magnitude da tensão na barra 28	73
5.14 - Fluxo de potência aparente na linha 3 - 18	73
5.15 - Fluxo de potência aparente na linha 3 - 18	74
5.16 - Reforço necessário (MVA) vs segurança	74
5.17 - Balanço de potência ativa na barra de balanço	75
5.18 - Fluxo de potência ativa na linha 7 - 9 (model. DC) .	75
5.19 - Fluxo de potência ativa na linha 7 - 9 (model. DC) .	76
6.1 - Sistema exemplo	87
6.2 - Fluxo de pot. ativa na linha 7 - 9 (FDP)	93
6.3 - Fluxo de pot. ativa na linha 7 - 9 (AGUM)	93
6.4 - Fluxo de pot. ativa na linha 7 - 9 (DIF. ENTRE DIST.) .	94
6.5 - Fluxo de pot. ativa na linha 4 - 5 (FDP)	94
6.6 - Fluxo de pot. ativa na linha 4 - 5 (AGUM)	95
6.7 - Fluxo de pot. ativa na linha 4 - 5 (DIF. ENTRE DIST.) .	95
6.8 - Representação de um transformador com comutação sob carga	99
6.9 - Ilustração de uma distribuição discreta de variáveis aleatórias dependentes	102
6.10 - Ilustração de duas variáveis aleatórias não- linearmente dependentes	103
6.11 - Distribuição acumulada de duas v.a.	106
6.12 - Impulso associado a determinado número aleatório ...	107
6.13 - Relação entre o tempo computacional - Monte carlo vs FGP	108
6.14 - Fluxograma para a simulação de Monte Carlo	109
6.15 - Fluxo de potência ativa na linha 2 - 1	111
(a) fdp para $\delta = 1$	

	(b) distrib. acumul. para $\delta = 1$	
6.16	- Fluxo de potência ativa na linha 2 - 1	112
	(a) fdp para $\delta = 2$	
	(b) distrib. acumul. para $\delta = 2$	
6.17	- Fluxo de potência ativa na linha 2 - 1	113
	(a) fdp para $\delta = 8$	
	(b) distrib. acumul. para $\delta = 8$	
6.18	- Fluxo de potência ativa na linha 2 - 1	114
	(a) difer. entre as distr. acumul. para $\delta = 1$	
	(b) difer. entre as distr. acumul. para $\delta = 2$	
	(c) difer. entre as distr. acumul. para $\delta = 8$	
7.1	- Distribuição binomial	116
7.2	- Distribuição normal	117
7.3	- Distribuição discreta	119
7.4	- Curvas na barra 642 referentes a (em MW)	124
	a) observado e tendência	
	b) diferença entre observado e tendência	
	c) histograma de frequência	
7.5	- Curvas na barra 672 referentes a (em MVAR)	125
	a) observado e tendência	
	b) diferença entre observado e tendência	
	c) histograma de frequência	
7.6	- Curvas na barra 274 referentes a (em MW)	126
	a) observado e tendência	
	b) diferença entre observado e tendência	
	c) histograma de frequência	

7.7	-	Curvas na barra 274 referentes a (em MVAR)	.....	127
		a) observado e tendência		
		b) diferença entre observado e tendência		
		c) histograma de frequência		
7.8	-	Exemplo de distribuições qui-quadrado	.....	131
A.1	-	Área sob a curva de uma função densidade de probabilidade	.....	139
A.2	-	Função densidade de probabilidade de uma distribuição normal	.....	143
A.3	-	Área entre os limites de uma função densidade de probabilidade de determinada distribuição normal	...	144
A.4	-	Exemplo de precisão da aproximação do teorema do limite central	.....	146
B.1	-	Modelo equivalente π de uma linha de transmissão média	.....	155
B.2	-	Representação de transformadores	.....	156
		a) Circuito equivalente		
		b) Circuito π equivalente		
B.3	-	Convenção de sinais para fluxos e injeções de corrente, potência ativa e reativa	.....	159
C.1	-	Discretização de uma função	.....	162

ÍNDICE DE TABELAS

	pag.
3.1 - Resultados da primeira formulação	32
4.1 - Valor da área desprezada pelo truncamento da função normal equivalente	54
4.2 - Limites de convolução	56
5.1 - Resultados do processo de convolução - S_{3-18}	77
5.2 - Resultados referentes ao sistema de 5 barras	78
5.3 - Resultados referentes ao sistema de 14 barras	79
5.4 - Resultados referentes ao sistema de 39 barras	81
5.5 - Coeficientes de sensibilidade - P_{3-18}	84
5.6 - Resultados referentes ao sistema de 14 barras - modelo linearizado	85
6.1 - Coeficientes de sensibilidade - P_{7-9}	96
6.2 - Coeficientes de sensibilidade - P_{4-5}	96
6.3 - Valores médios, desvios padrões e tempo computacional	108
7.1 - Resultados de MW, MVAR, tendência e diferença em determinadas barras de carga	128
7.2 - Desvio-padrão das cargas e respectivos tipos de distribuição de probabilidade associada	130
7.3 - Médias dos desvios-padrão das cargas ativa e reativa - Sistema CHESF	131
C.1 - Multiplicações e adições necessárias aos dois métodos: FFT e direto	167
F.1 - Resultados do programa de FCP, para os dados do Sistema CHESF	195

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIações

B_{km}	- parte imaginária do elemento "km" da matriz admitância, ou seja, a susceptância série
$B_{k(sh)}$	- parte imaginária da admitância "shunt" na barra k
B_{km}'	- metade da susceptância em paralelo da linha "k - m"
G_{km}	- parte real do elemento "km" da matriz admitância, ou seja, a condutância série
r_{km}	- resistência da linha "k - m"
x_{km}	- reatância da linha "k - m"
a_{km}	- relação do tap do transformador entre as barras "k" e "m"
θ_{km}	- diferença angular entre as barras "k" e "m"
y_{km}	- admitância entre as barras "k" e "m"
Y_{km}	- módulo da admitância y_{km}
NPQ	- número de barras de carga
NPV	- número de barras de tensão controlada
NBG	- número de barras de geração
c.c.	- corrente contínua
c.a.	- corrente alternada
P_{km}	- potência ativa fluindo na linha "k - m"
Q_{km}	- potência reativa fluindo na linha "k - m"
S_{km}	- potência aparente fluindo na linha "k - m"
V_k	- magnitude da tensão na barra "k"
θ_k	- ângulo da tensão na barra "k", em relação à barra de balanço
P_k	- potência ativa injetada na barra "k"
Q_k	- potência reativa injetada na barra "k"
$Q_{k(sh)}$	- potência reativa injetada na barra "k" pelo elemento "shunt"

NB	- número de barras
vs	- versus
Ω_k	- conjunto de barras vizinhas à barra "k"
I_{km}	- corrente entre as barras "k" e "m"
pu	- por unidade
PQ	- barra de carga
PV	- barra de tensão controlada ou geração
SW	- barra de balanço
LTC	- transformador com comutação de tap sob carga
fdp	- função densidade de probabilidade
v.a.	- variável aleatória
FFT	- Transformada Rápida de Fourier
$E[.]$, μ	- valor esperado
$V[.]$, σ^2	- variância
$f * g$	- convolução das funções "f" e "g"
X e Y	- vetores probabilísticos
x e y	- vetores determinísticos
exp, e	- função exponencial
log	- função logarítmo
∂	- diferencial de
TLC	- teorema do limite central
$N(\mu, \sigma^2)$	- distribuição normal com parâmetros μ e σ^2
$f_X(x)$	- função densidade de probabilidade X, com variável x
FGP	- fluxo de carga probabilístico
$P(A)$	- probabilidade de ocorrência da evento A
$P(A \cap B)$	- probabilidade de ocorrência de A interseção B
cov	- covariância

- erf - função erro
- ϕ - distribuição normal reduzida
- DFT - Transformada Discreta de Fourier
- $\binom{n}{k}$ - coeficientes binomiais

SUPERESCRITOS E SUBESCRITOS

- $\hat{}$ - representa matriz invertida e seus elementos
- t - representa matriz transposta
- \ast - representa conjugado complexo
- g - quantidade referente à geração
- l - quantidade referente à carga
- k, m, i, j - índices de barra
- s ou b - quantidade referente à barra de balanço
- sh - quantidade referente ao elemento "shunt"

1.1 - CONSIDERAÇÕES

Por muitos anos, a solução do fluxo de carga tem sido essencialmente determinística, com todos os parâmetros do sistema representados por determinados valores.

Qualquer mudança nestes parâmetros torna necessário uma nova solução para o fluxo de carga. Consequentemente, incertezas ou variações aleatórias nos parâmetros de entrada, devido a erros de previsão de carga, taxas de saída para geradores, etc., não são refletidos nos resultados de uma simples execução de um programa de fluxo de carga convencional.

Entretanto, sabemos que as quantidades de entrada, tanto na operação assim como no planejamento, não são conhecidos exatamente, mas com algum erro. Estas incertezas nos dados podem ser resumidas nos seguintes fatos:

- No planejamento, os valores para as cargas são conseguidos através de previsão, estando inerentes a estes dados, erros de precisão.

Têm-se, na fig. 1.1, a ilustração de uma curva de previsão de carga típica, para a demanda em uma barra de um sistema de potência.

Uma análise visual desta figura mostra que, para o instante atual, t_0 , têm-se um menor grau de incerteza que em um instante futuro, t_1 .

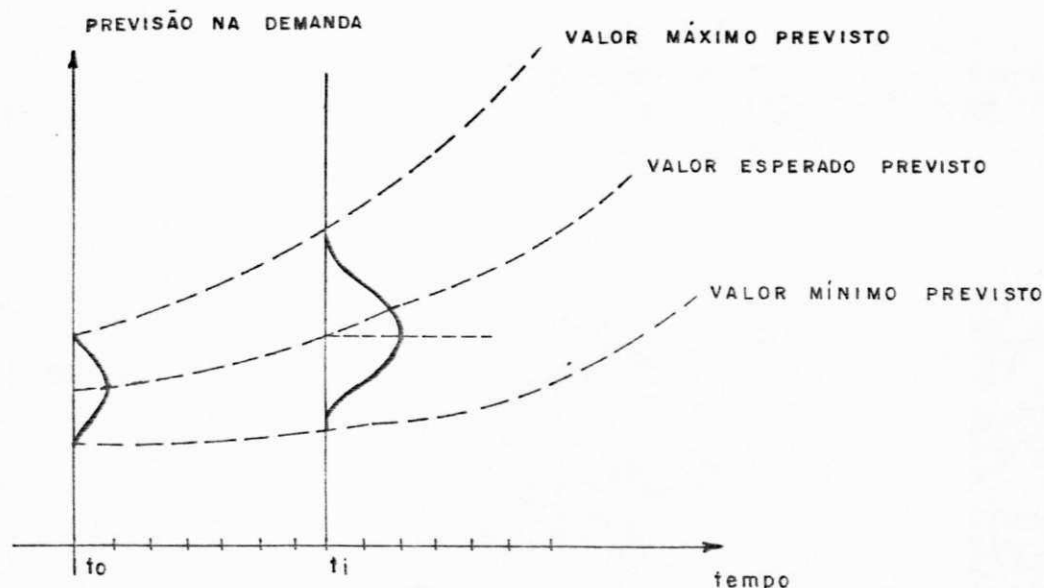


Fig. 1.1 - Variações na previsão de carga de uma determinada barra.

- Na operação, as cargas são medidas. Estas medidas contêm erros, como por exemplo, na precisão dos instrumentos de medida.
- Perdas de cargas e/ou geração, não programadas.

Uma maneira de medir a variação dos resultados de saída, de uma forma metódica, é através da simulação de Monte Carlo. Este método se resume em executar vários casos de fluxo de carga, onde as cargas e geração são obtidos aleatoriamente. O problema com esta simulação é o grande tempo e memória computacionais requeridos, necessário para se chegar ao resultado probabilístico. Além disso, os resultados dependerão do número de casos processados. Assim, o processo se torna então mais realístico quanto maior é o número de casos analisados e portanto, quanto mais realístico, menos prático.

Torna-se necessário então, analisar o problema das incertezas dos dados de uma forma mais prática e eficiente.

Uma formulação alternativa e analítica é obtida com um fluxo de potência probabilístico. Esta técnica torna possível descrever a essência probabilística da carga e geração em uma solução. Em outras palavras, o fluxo de carga probabilístico transforma as variáveis aleatórias (v.a.) de entrada, caracterizada pelas funções densidade de probabilidade (fdp's), em v.a. de saída, também definidas sob a forma de fdp's. Assim, a análise das incertezas dos dados se torna mais prática, pois:

- É simulado um conjunto de potências injetadas nas barras, com as respectivas probabilidades de ocorrência.
- É obtido um conjunto de estados e variáveis de saída, descritos por funções densidade de probabilidade.

As fdp's das v.a. de entrada terão suas características definidas em função do planejamento, operação, saídas programadas, etc. Esta definição é descrita com mais detalhes no cap. 7.

OBS: No apêndice A, é apresentado um resumo da teoria da probabilidade, utilizada no texto desta dissertação de tese. Assim, é recomendável, para o leitor que não está muito acostumado com os termos probabilísticos referentes à esta teoria, que faça uma rápida leitura neste apêndice.

Conclusões podem ser obtidas através da análise das curvas densidade de probabilidade ou de distribuição acumulada dos parâmetros de saída de um fluxo de carga probabilístico, tais como:

- a) Probabilidade de não se ter geração de potência ativa suficiente para atender a demanda;

- b) Probabilidade da magnitude da tensão exceder ou estar abaixo de determinados limites operacionais;
- c) Probabilidade de se ter uma geração de potência reativa insuficiente;
- d) Probabilidade de se exceder determinado carregamento em uma linha; etc.

1.2 - EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA TEORIA DO FCP

O estudo de algoritmos para o fluxo de carga probabilístico em sistemas de potência, tem sido feito recentemente.

O primeiro algoritmo de fluxo de carga probabilístico foi exposto por Borkowska⁽¹⁾ em 1973. A formulação proposta por este artigo considerava as incertezas nos dados de barra, fato que até então, não era levado em consideração. Então, usando uma modelagem para um fluxo de carga CC, este algoritmo permitia com que fosse calculados os valores esperados, desvios padrão e fdp's de fluxos ativos nas linhas, utilizando técnicas de convolução matemática para a soma de variáveis aleatórias referentes às distribuições de entrada.

Ainda em 1973, Van Slyck e Dopazo⁽⁸⁾, publicavam um artigo no qual era questionado a possibilidade de se utilizar um fluxo de carga convencional determinístico na monitoração de um sistema de potência, chegando-se a conclusão da não viabilidade do uso de um algoritmo de fluxo de carga convencional para este propósito.

Allan, Borkowska e Grigg⁽²⁾ publicaram em 1974, a mesma formulação⁽¹⁾ para o fluxo de carga probabilístico apresentado por Borkowska⁽¹⁾, tendo como resultados de saída o balanço de potência ativa na barra de balanço e o fluxo de potência ativa nas linhas em termos de suas funções densidade de probabilidade.

Dopazo, Klitin e Sasson apresentaram em 1975⁽³⁾, uma nova formulação para o fluxo de carga probabilístico. Esta formulação estava baseado na estimação de estado, usando uma matriz de covariância das quantidades referentes à entrada diagonal (não correlacionada). Esta formulação requeria menor tempo computacional, pelo fato de invocar o teorema do limite central para obter as funções de densidade de saída.

Em 1975, Aboytes e Cory⁽⁸⁾ publicaram um artigo que contornava o problema da restrição sobre a carga total de uma maneira diferente da usada por Dopazo et al⁽³⁾. Foi satisfeita a restrição da carga total utilizando uma matriz de covariância dos dados de entrada não-diagonal, ou seja, incluíram um correlacionamento entre estes dados.

Wollenbery e Fegley⁽⁸⁾ em 1975, incorporaram um fluxo de potência estocástico a um algoritmo de despacho. Com isso, o risco de sobrecarga de uma linha era tratado junto ao custo de operação do sistema.

Neste mesmo ano, Heydt⁽⁸⁾ formulou um fluxo de carga linear que permitia o cálculo da probabilidade das condições de operações especificadas ou de um domínio de condições.

Uma publicação feita por Allan e Al-Shakarchi⁽⁴⁾ em 1976, introduzia a primeira formulação C.A. de fluxo de carga probabilístico⁽¹⁾, o artigo, que era uma extensão do método proposto por Borkowska⁽¹⁾, mostrava como computar os valores esperados, desvios-padrão e as curvas densidade de probabilidade das magnitudes e ângulos das tensões, fluxos de potência ativa e reativa e potência reativa injetada, usando versões linearizadas das equações de fluxo de carga C.A.

As quantidades de saída foram, então, obtidas por soma de variáveis aleatórias independentes, usando técnicas de convolução para efetuar esta soma. Neste mesmo ano, Allan, Grigg e Al-Shakarchi⁽⁴⁾ publicaram um artigo que descrevia as técnicas necessárias para a soma das variáveis aleatórias, com redução do tempo e memória computacionais.

Ainda neste ano, Allan et al⁽⁵⁾ descreveram como a correlação entre as cargas nas barras podiam ser levadas em consideração. Esta técnica, entretanto, estava restrita à correlação entre as cargas e estava baseada em uma representação CC do sistema.

Allan e Al-Shakarchi⁽⁶⁾ publicaram em 1977 uma extensão para a formulação apresentada anteriormente⁽⁴⁾, através de uma nova linearização e de assumir os efeitos do acoplamento entre as potências ativa e reativa. Esta nova formulação contornava alguns erros introduzidos pelo método anterior.

Neste mesmo ano, Allan e Al-Shakarchi publicaram um método⁽⁷⁾ que permitia formular e incluir no problema do fluxo de carga probabilístico C.A., a dependência entre diferentes fontes de geração, entre geração e carga assim como entre as cargas, em um sistema de potência.

Leite da Silva, em 1978⁽⁸⁾, apresentava uma formulação que obtinha as funções densidade de saída através de técnicas de convolução, como proposto por Allan et al⁽⁶⁾, mas usando a mesma linearização apresentada por Dopazo et al⁽³⁾.

Em 1979, era apresentado por Allan, Grigg e Prato - Garcia⁽⁹⁾ uma técnica que permitia levar em consideração, contingências em um sistema, pela inclusão da configuração do sistema como uma variável aleatória. Assim, as contingências podiam ser incorporadas e analisadas em um algoritmo de fluxo de carga probabilístico.

Allan, Leite da Silva e Burchett publicaram em 1981⁽¹⁰⁾ um trabalho em que o problema de fluxo de carga probabilístico era modelado como apresentado por Leite da Silva⁽⁸⁾, mas o processo de convolução era feito através de uma maneira mais eficiente.

Ainda neste ano, Allan et al⁽¹¹⁾ apresentaram um algoritmo que levava em consideração os efeitos da não linearidade da formulação apresentada por Allan et al⁽¹⁰⁾.

Em 1984, Leite da Silva, Arienti e Allan⁽¹²⁾, descreveram um método de se levar em consideração a dependência entre as potências injetadas nas barras, assim como a correlação entre as cargas.

1.3 - ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS

No cap. inicial, são feitas algumas considerações sobre o objetivo da análise do fluxo de carga probabilístico e a evolução histórica da teoria referente a este método de abordagem do problema.

No cap. 2 é desenvolvido uma formulação que será tomada como base para os estudos desta dissertação de tese.

No cap. 3 são apresentadas algumas formulações alternativas para o problema do FCP.

No cap. 4 são apresentadas as técnicas para a soma de duas variáveis aleatórias independentes.

No cap. 5 são apresentados os resultados da aplicação de um programa do fcp, assim como comentários referentes a estas aplicações em sistemas de potência.

No cap. 6 são feitas algumas considerações adicionais ao que já foi apresentado nos cap. anteriores, em relação à modelagem do sistema.

No cap. 7 têm-se uma descrição da modelagem estatística das cargas, através de distribuições de probabilidade.

As conclusões são apresentadas no cap. 8.

CAPÍTULO 2

FORMULAÇÃO USADA NO DESENVOLVIMENTO DESTA DISSERTAÇÃO DE TESE

2.1 - INTRODUÇÃO

Como já foi descrito anteriormente, o fluxo de carga probabilístico determina as v. a. de saída, através da aplicação de equações linearizadas nos dados referentes às v.a. de entrada. Estas v. a. entretanto, são definidas em termos de determinadas funções densidade de probabilidade.

É apresentado neste capítulo, a linearização que torna possível a obtenção das v.a. de estado e de saída, modeladas por fdp's.

2.2 - DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O problema do fluxo de carga pode ser descrito matematicamente por duas equações não-lineares.

$$(2.1) \quad Y = f(X)$$

$$(2.2) \quad Z = h(X)$$

onde:

Y = Vetor de v.a. de entrada ;

Z = Vetor de v.a. de saída ;

X = Vetor de v.a. de estado e

f, h = Funções não-lineares.

Da mesma maneira que ocorre na solução de um fluxo de carga convencional, o vetor de estado X é obtido a partir do vetor de entrada Y, através da eq. (2.1). Obtido este vetor X, a eq. (2.2) possibilita a determinação do vetor de saída Z.

2.3 - LINEARIZAÇÃO UTILIZADA

Seja y_0 o valor esperado do vetor de v.a. de entrada Y:

$$E[Y] = y_0$$

Através de um fluxo de carga convencional, determina-se o vetor estado do sistema para este valor esperado y_0 , obtendo-se então o valor esperado x_0 , para o vetor de v.a. de estado X:

$$(2.3) \quad y_0 = f(x_0)$$

Utilizando as equações desenvolvidas no apêndice B, obtêm-se o valor esperado para o vetor de v.a. de saída Z, tendo encontrado x_0 . Logo:

$$(2.4) \quad z_0 = h(x_0)$$

É importante lembrar que, os vetores x_0 e z_0 são somente aproximações para o valor esperado dos vetores relacionados às variáveis aleatórias de estado e de saída respectivamente, devido a não-linearidade das equações do fluxo de carga.

Linearizando as equações (2.1) e (2.2) por expansão da série de Taylor e desprezando os termos de segunda ordem em diante, nas vizinhanças dos pontos (y_0, x_0) e (z_0, x_0) , chamado de região do valor esperado, obtém-se:

$$(2.5) \quad Y = f(x_0) + J(X - x_0)$$

onde:

$$(2.5.1) \quad J = \left[\frac{\partial f}{\partial X} \Big|_{x=x_0} \right] \quad - \text{ Jacobiano de } f, \text{ calculado em } x_0$$

$$(2.6) \quad Z = h(x_0) + K(X - x_0)$$

Onde:

$$(2.6.1) \quad K = \left[\frac{\partial h}{\partial X} \Big|_{x=x_0} \right] \quad - \text{ Jacobiano de } h, \text{ calculado em } x_0$$

De (2.1) - (2.6) chega-se a:

$$(2.7) \quad Y = y_0 + J(X - x_0)$$

$$(2.8) \quad Z = z_0 + K(X - x_0)$$

Obteve-se ,até agora, uma linearização para as equações (2.1) e (2.2). É necessário então, determinar o vetor de v.a. de estado X, assim como o vetor de v.a. de saída Z.

- VETOR DE VARIÁVEIS ALEATÓRIAS DE ESTADO - X

Da eq. (2.7), obtem-se:

$$Y = y_0 + JX - Jx_0$$

$$JX = Y - y_0 + Jx_0$$

$$X = J^{-1} Y - J^{-1} y_0 + J^{-1} Jx_0 = x_0 - J^{-1} y_0 + J^{-1} Y$$

Logo:

$$(2.9) \quad X = x' + MY$$

Onde:

$$M = J^{-1}$$

$$x' = x_0 - M y_0 \text{ (vetor determinístico)}$$

A eq. (2.9) pode ser expressa de forma explícita, mostrando como obter cada v.a. do estado por uma soma de v.a. relativas à entrada Y. Assim:

$$(2.10) \quad X_i = x_{0i}' + \sum_{j=1}^m M_{ij} Y_j \quad (i=1, \dots, n)$$

onde:

i = representa o número de magnitude e ângulo de tensões desconhecidos (= 2NPQ + NPV).

j = representa a dimensão do vetor aleatório de entrada Y, referente às injeções de potência ativa e reativa nas barras (= 2NPQ + NPV).

Em relação à eq. (2.9), tem-se:

- Valor esperado

$$E[X] = E[x'] + E[MY]$$

$$= x_0 - J^{-1} y_0 + J^{-1} y_0 = x_0$$

- variância

$$VAR[X] = VAR[x'] + VAR[MY]$$

$$= M^2 \cdot VAR[Y]$$

- VETOR DE VARIÁVEIS ALEATÓRIAS DE SAÍDA - Z

Da eq. (2.8), tem-se:

$$(2.11) \quad Z = z_0 + KX - Kx_0$$

Substituindo a eq. (2.9) em (2.11), obtém-se:

$$Z = z_0 + Kx_0 - KJ^{-1} y_0 + KJ^{-1} Y - Kx_0$$

$$= (z_0 - KJ^{-1} y_0) + KJ^{-1} Y$$

Logo:

$$(2.12) \quad Z = z' + NY$$

onde:

$$N = KJ^{-1}$$

$$z' = (z_0 - N y_0) \text{ (vetor determinístico)}$$

A eq. (2.12) pode ser expressa de forma explícita, resultando em:

$$(2.13) \quad Z_k = z_{0k}' + \sum_{j=1}^m N_{kj} Y_j \quad (k = 1, \dots, l)$$

onde:

k = representa a dimensão do vetor de v.a. de saída.

Em relação à eq. (2.12), obtém-se:

- Valor esperado

$$\begin{aligned} E[Z] &= E[z'] + E[NY] \\ &= z_0 - KJ^{-1} y_0 + KJ^{-1} y_0 = z_0 \end{aligned}$$

- Variância

$$\begin{aligned} \text{VAR}[Z] &= \text{VAR}[z'] + \text{VAR}[NY] \\ &= N^2 \cdot \text{VAR}[Y] \end{aligned}$$

Assim, as eq. (2.10) e (2.13) mostram que cada elemento dos vetores de v.a. X e Z podem ser obtidos de uma soma ponderada do vetor de v.a. de entrada Y.

- OBTENÇÃO DO JACOBIANO DA FUNÇÃO f

No apêndice B, obtem-se (eq. (B.34) e (B.35)):

$$(2.14) \quad P_k = V_k \sum_{m=1}^{NB} V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km})$$

$$(2.15) \quad Q_k = V_k \sum_{m=1}^{NB} V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km})$$

Da eq. (2.5.1), temos que o Jacobiano J é obtido, derivando as equações (2.14) e (2.15), em relação ao vetor estado X.

Esse Jacobiano, colocado sob forma matricial, é definido pelas submatrizes H, N, M, e L.

Tem-se, então:

$$(2.16) \quad J = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix}$$

onde:

$$H = \frac{\partial P}{\partial \theta} ; \quad N = \frac{\partial P}{\partial V} ; \quad M = \frac{\partial Q}{\partial \theta} \quad \text{e} \quad L = \frac{\partial Q}{\partial V}$$

- Determinação de H

$$(2.17) \quad \frac{\partial P_k}{\partial \theta_k} = -V_k \sum_{m=1 \neq k}^{NB} V_m (G_{km} \operatorname{sen} \theta_{km} - B_{km} \operatorname{cos} \theta_{km})$$

$$(2.18) \quad \frac{\partial P_k}{\partial \theta_m} = V_k V_m (G_{km} \operatorname{sen} \theta_{km} - B_{km} \operatorname{cos} \theta_{km})$$

- Determinação de N

$$(2.19) \quad \frac{\partial P_k}{\partial V_k} = 2V_k G_{kk} + \sum_{m=1 \neq k}^{NB} V_m (G_{km} \operatorname{cos} \theta_{km} + B_{km} \operatorname{sen} \theta_{km})$$

$$(2.20) \quad \frac{\partial P_k}{\partial V_m} = V_k (G_{km} \operatorname{cos} \theta_{km} + B_{km} \operatorname{sen} \theta_{km})$$

- Determinação de M

$$(2.21) \quad \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_k} = V_k \sum_{m=1 \neq k}^{NB} V_m (G_{km} \operatorname{cos} \theta_{km} + B_{km} \operatorname{sen} \theta_{km})$$

$$(2.22) \quad \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_m} = -V_k V_m (G_{km} \operatorname{cos} \theta_{km} + B_{km} \operatorname{sen} \theta_{km})$$

- Determinação de L

$$(2.23) \quad \frac{\partial Q_k}{\partial V_k} = -2V_k B_{kk} + \sum_{m=1 \neq k}^{NB} V_m (G_{km} \operatorname{sen} \theta_{km} - B_{km} \operatorname{cos} \theta_{km})$$

$$(2.24) \quad \frac{\partial Q_k}{\partial V_m} = V_k (G_{km} \operatorname{sen} \theta_{km} - B_{km} \operatorname{cos} \theta_{km})$$

- OBTENÇÃO DO JACOBIANO DA FUNÇÃO h

No apêndice B, obtém-se (eq. (B.21) - (B.26), (B.34), (B.35), (B.36)):

$$(2.25) \quad P_{km} = -a_{km} G_{km} V_k^2 + V_k V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km})$$

$$(2.26) \quad P_{mk} = -a_{mk} G_{km} V_m^2 + V_k V_m (G_{km} \cos \theta_{km} - B_{km} \sin \theta_{km})$$

$$(2.27) \quad Q_{km} = a_{km} B_{km} V_k^2 - B_{km}' V_k^2 + V_k V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km})$$

$$(2.28) \quad Q_{mk} = a_{mk} B_{km} V_m^2 - B_{km}' V_m^2 - V_k V_m (G_{km} \sin \theta_{km} + B_{km} \cos \theta_{km})$$

$$(2.29) \quad S_{km} = V_k \{ [(a_{km} G_{km})^2 + (a_{km} B_{km} - B_{km}')^2] V_k^2 + \\ - 2V_m [a_{km} \cos \theta_{km} Y_{km}^2 + B_{km}' (G_{km} \sin \theta_{km} + \\ - B_{km} \cos \theta_{km})] V_k + [Y_{km}^2 V_m^2] \}^{1/2}$$

$$(2.30) \quad S_{mk} = V_m \{ [(a_{mk} G_{km})^2 + (a_{mk} B_{km} - B_{km}')^2] V_m^2 + \\ - 2V_k [a_{mk} \cos \theta_{km} Y_{km}^2 - B_{km}' (G_{km} \sin \theta_{km} + \\ + B_{km} \cos \theta_{km})] V_m + [Y_{km}^2 V_k^2] \}^{1/2}$$

$$(2.31) \quad P_s = V_s \sum_{m=1}^{NB} V_m (G_{sm} \cos \theta_m - B_{sm} \sin \theta_m)$$

$$(2.32) \quad Q_k = V_k \sum_{m=1}^{NB} V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km})$$

$$(2.33) \quad Q_{k(sh)} = B_{k(sh)} \cdot V_k^2$$

O Jacobiano K é obtido, derivando cada variável do vetor saída Z , eq. (2.25) - (2.33), em relação ao vetor estado, computado em x_0 . Assim:

$$(2.34) \quad \frac{\partial P_{km}}{\partial \theta_k} = -V_k V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km})$$

$$(2.35) \quad \frac{\partial P_{km}}{\partial \theta_m} = V_k V_m (G_{km} \text{sen} \theta_{km} - B_{km} \text{cos} \theta_{km}) = - \frac{\partial P_{km}}{\partial \theta_k}$$

$$(2.36) \quad \frac{\partial P_{km}}{\partial V_k} = - 2a_{km} G_{km} V_k + V_m (G_{km} \text{cos} \theta_{km} + B_{km} \text{sen} \theta_{km})$$

$$(2.37) \quad \frac{\partial P_{km}}{\partial V_m} = V_k (G_{km} \text{cos} \theta_{km} + B_{km} \text{sen} \theta_{km})$$

$$(2.38) \quad \frac{\partial P_{mk}}{\partial \theta_k} = - V_k V_m (G_{km} \text{sen} \theta_{km} + B_{km} \text{cos} \theta_{km})$$

$$(2.39) \quad \frac{\partial P_{mk}}{\partial \theta_m} = - \frac{\partial P_{mk}}{\partial \theta_k}$$

$$(2.40) \quad \frac{\partial P_{mk}}{\partial V_k} = V_m (G_{km} \text{cos} \theta_{km} - B_{km} \text{sen} \theta_{km})$$

$$(2.41) \quad \frac{\partial P_{mk}}{\partial V_m} = - 2(a_{km})^{-1} G_{km} V_m + V_k (G_{km} \text{cos} \theta_{km} - B_{km} \text{sen} \theta_{km})$$

$$(2.42) \quad \frac{\partial Q_{km}}{\partial \theta_k} = V_k V_m (G_{km} \text{cos} \theta_{km} + B_{km} \text{sen} \theta_{km})$$

$$(2.43) \quad \frac{\partial Q_{km}}{\partial \theta_m} = - V_k V_m (G_{km} \text{cos} \theta_{km} + B_{km} \text{sen} \theta_{km}) = - \frac{\partial Q_{km}}{\partial \theta_k}$$

$$(2.44) \quad \frac{\partial Q_{km}}{\partial V_k} = 2a_{km} B_{km} V_k - 2B_{km} V_k + V_m (G_{km} \text{sen} \theta_{km} - B_{km} \text{cos} \theta_{km})$$

$$(2.45) \quad \frac{\partial Q_{km}}{\partial V_m} = V_k (G_{km} \text{sen} \theta_{km} - B_{km} \text{cos} \theta_{km})$$

$$(2.46) \quad \frac{\partial Q_{mk}}{\partial \theta_k} = -V_k V_m (G_{km} \cos \theta_{km} - B_{km} \sin \theta_{km})$$

$$(2.47) \quad \frac{\partial Q_{mk}}{\partial \theta_m} = - \frac{\partial Q_{mk}}{\partial \theta_k}$$

$$(2.48) \quad \frac{\partial Q_{mk}}{\partial V_k} = -V_m (G_{km} \sin \theta_{km} + B_{km} \cos \theta_{km})$$

$$(2.49) \quad \frac{\partial Q_{mk}}{\partial V_m} = 2(a_{km})^{-1} B_{km} V_m - 2B_{km} V_m^{-1} - V_k (G_{km} \sin \theta_{km} + B_{km} \cos \theta_{km})$$

Fazendo:

$$N = \{[(a_{km} G_{km})^2 + (a_{km} B_{km} + B_{km}')^2] V_k^2 + \\ -2V_m [a_{km} \cos \theta_{km} Y_{km}^2 + B_{km}' (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km})] V_k + \\ + [Y_{km}^2 V_m^2]\}^{1/2}$$

Onde:

$$Y_{km}^2 = B_{km}^2 + G_{km}^2$$

Obtem-se, então:

$$(2.50) \quad \frac{\partial S_{km}}{\partial \theta_k} = V_k^2 N^{-1/2} V_m [a_{km} \sin \theta_{km} Y_{km}^2 - B_{km}' (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km})]$$

$$(2.51) \quad \frac{\partial S_{km}}{\partial \theta_m} = - \frac{\partial S_{km}}{\partial \theta_k}$$

$$(2.52) \quad \frac{\partial S_{km}}{\partial V_k} = N^{1/2} + V_k N^{-1/2} \{ V_k [(a_{km} G_{km})^2 + (a_{km} B_{km} - B_{km}')^2] + \\ - V_m [a_{km} \cos \theta_{km} Y_{km}^2 + B_{km}' (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km})] \}$$

$$(2.53) \quad \frac{\partial S_{km}}{\partial V_m} = V_k N^{-1/2} \{ Y_{km}^2 V_m - [a_{km} \cos \theta_{km} Y_{km}^2 + \\ + B_{km}' (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km})] V_k \}$$

Fazendo:

$$M = \{ [(a_{km}^{-1} G_{km})^2 + (a_{km}^{-1} B_{km} - B_{km}')^2] V_m^2 + \\ - 2V_k [a_{km}^{-1} \cos \theta_{km} Y_{km}^2 - B_{km}' (G_{km} \sin \theta_{km} + B_{km} \cos \theta_{km})] V_m + \\ + [Y_{km}^2 V_k^2] \}^{1/2}$$

Obtem-se, então:

$$(2.54) \quad \frac{\partial S_{mk}}{\partial \theta_k} = V_m^2 M^{-1/2} V_k [a_{km}^{-1} \sin \theta_{km} Y_{km}^2 + \\ + B_{km}' (G_{km} \cos \theta_{km} - B_{km} \sin \theta_{km})]$$

$$(2.55) \quad \frac{\partial S_{mk}}{\partial \theta_m} = - \frac{\partial S_{mk}}{\partial \theta_k}$$

$$(2.56) \quad \frac{\partial S_{mk}}{\partial V_k} = V_m M^{-1/2} \{ Y_{km}^2 V_k - [a_{km}^{-1} \cos \theta_{km} Y_{km}^2 + \\ - B_{km}' (G_{km} \sin \theta_{km} + B_{km} \cos \theta_{km})] V_m \}$$

$$(2.57) \quad \frac{\partial S_{mk}}{\partial V_m} = M^{1/2} + V_m M^{-1/2} \{ V_m [(a_{km}^{-1} G_{km})^2 + (a_{km}^{-1} B_{km} - B_{km}')^2] + \\ - V_k [a_{km}^{-1} \cos \theta_{km} Y_{km}^2 - B_{km}' (G_{km} \sin \theta_{km} + B_{km} \cos \theta_{km})] \}$$

$$(2.58) \quad \frac{\partial Q_{k(sh)}}{\partial \theta_k} = 0$$

$$(2.59) \quad \frac{\partial Q_{k(sh)}}{\partial \theta_m} = 0$$

$$(2.60) \quad \frac{\partial Q_{k(sh)}}{\partial V_k} = 2V_k B_{k(sh)}$$

$$(2.61) \quad \frac{\partial Q_{k(sh)}}{\partial V_m} = 0$$

$$(2.62) \quad \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_k} = V_k \sum_{m=1 \neq k}^{NB} V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km})$$

$$(2.63) \quad \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_m} = -V_k V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km})$$

$$(2.64) \quad \frac{\partial Q_k}{\partial V_k} = 0 \quad (\text{pois } V_k \text{ não varia})$$

$$(2.65) \quad \frac{\partial Q_k}{\partial V_m} = V_k (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km})$$

$$(2.66) \quad \frac{\partial P}{\partial \theta_s} = 0$$

$$(2.67) \quad \frac{\partial P_s}{\partial \theta_m} = -V_s V_m (G_{sm} \operatorname{sen} \theta_m + B_{sm} \operatorname{cos} \theta_m)$$

$$(2.68) \quad \frac{\partial P_s}{\partial V_s} = 0$$

$$(2.69) \quad \frac{\partial P_s}{\partial V_m} = V_s (G_{sm} \operatorname{cos} \theta_m - B_{sm} \operatorname{sen} \theta_m)$$

2.4 - CONCLUSÕES

As equações (2.10) e (2.13) mostram que cada v.a. dos vetores de estado e saída, X e Z respectivamente, podem ser computadas de uma soma ponderada das v.a. do vetor de entrada Y.

Os 'pesos' atribuídos a cada v.a. são definidos como coeficientes de sensibilidade. Esta soma de v.a. supostas independentes, pode ser realizada usando técnicas matemáticas de convolução (ver cap. 4).

Esta técnica para a linearização do problema do fluxo de carga probabilístico é uma combinação das duas formulações a serem descritas no cap. 3.

Da primeira formulação, é aproveitado o princípio da obtenção das curvas densidade de probabilidade, em função de soma de distribuições de probabilidade. Entretanto, não se introduz as aproximações do uso de séries de McLaurin, que resulta em imprecisões no Jacobiano.

Da segunda formulação, é utilizado a mesma linearização, mas sem aplicar o teorema do limite central para encontrar as curvas densidade de saída, pois isto não corresponde totalmente com a realidade. Embora se utilize a mesma linearização, o tratamento do problema foi feito em termos de v.a., tal como na primeira formulação, em vez de se utilizar os princípios estatísticos de estimação de estado da segunda formulação.

Uma observação pode ser feita em relação às eq. (2.9) e (2.11):

$$(2.9) \quad X = x' + MY$$

$$(2.11) \quad Z = z_0 + KX - Kx_0$$

Se as v.a. associadas ao estado X já tiverem sido determinadas através da eq. (2.9), por que não encontrar as v.a. de saída através da substituição da eq. (2.9) na eq. (2.11)? Isso não pode ser feito devido à necessidade das v.a. a serem somadas não serem dependentes, o que não ocorre para o estado do sistema.

É apresentado no próximo capítulo, duas formulações alternativas para o FGP.

FORMULAÇÕES PARA O FLUXO DE CARGA PROBABILÍSTICO

3.1 - INTRODUÇÃO

No problema do fluxo de carga determinístico, os parâmetros conhecidos estão definidos na seção B.2. Têm-se:

$$(3.1) \quad P_k = g_k(\theta_1, \dots, \theta_{NB}, V_1, \dots, V_{NB})$$

$$(3.2) \quad Q_k = h_k(\theta_1, \dots, \theta_{NB}, V_1, \dots, V_{NB})$$

onde $k = 1, \dots, NB$

As equações que permitem a solução de um fluxo de carga determinístico (Apêndice B), de uma maneira rápida, eficiente e precisa, são provenientes de algoritmos que modelam o fluxo de carga determinístico, como indicado nas referências (28) e (33).

- Método iterativo de Gauss;
- Método iterativo de Gauss-Seidel;
- Método de Jordan;
- Método de Newton-Raphson, etc.

O problema com estas técnicas é que, embora muito precisos, não levam em consideração as incertezas dos dados de entrada.

O fluxo de carga probabilístico necessita, entretanto, que os parâmetros de entrada do sistema, sejam modelados por apropriadas fdp's.

Em resumo, os vetores X, Y e Z, são aleatórios, ou seja, não são mais modelados por determinados valores, mas por distribuições de probabilidade.

É aceitável supor que as magnitudes das tensões nas barras de tensão controlada, assim como o ângulo da tensão na barra de balanço, sejam especificadas como sendo determinísticas, ou seja, variáveis aleatórias com variância nula. Disso resulta que, para o vetor de entrada Y, se defina incertezas somente para as potências ativa e reativa nas barras.

Algumas dificuldades são encontradas em resolver este fluxo de carga probabilisticamente, pois as potências ativa e reativa nas barras não são mais modelados como simples valores, mas por distribuições de probabilidade. Estas dificuldades são:

- As funções f e h não são lineares.
- As variáveis aleatórias P , Q , θ e V são em geral, correlacionadas.

A primeira dificuldade é superada através de linearizações, que serão mostradas no decorrer da apresentação das formulações.

A outra dificuldade é contornada supondo que a dependência entre as variáveis de entrada é desprezível. Em relação ao planejamento de sistemas, onde os dados de entrada são obtidos por processos de previsão, essa dependência não é tão pequena, embora seja possível sua determinação.

Por exemplo, cargas de uma mesma área tendem a aumentar e/ou diminuir de maneira similar devido a fatores ambientais e sociais. Correlação envolvendo a geração vem do uso de estratégias de operação tais como: despacho econômico, re-despacho, restrição de carga, de modo a satisfazer o balanço de potência do sistema, etc.

Uma outra suposição é feita em relação à configuração do sistema, pois esta é considerada constante. Esta não é uma suposição realista, pois a configuração do sistema está sujeita a mudanças, devido à perda de qualquer elemento (contingência de linhas, transformadores, etc.).

No cap. 6 será feita uma abordagem mais detalhada em relação a estas dificuldades.

Os itens a seguir contêm uma descrição sucinta das formulações apresentadas nas referências (3), (4) e (6).

3.2 - PRIMEIRA FORMULAÇÃO - FLUXO DE CARGA PROBABILÍSTICO - FCP

3.2.1 - INTRODUÇÃO

(6) Esta formulação foi proposta por Allan e Al-Shakarchi (4) e (6). Ela apresenta duas alternativas de simular o fluxo de carga probabilístico, permitindo encontrar as fdp's das v.a. de saída, sendo dado um conjunto de fdp's referentes às v.a. de entrada.

Os erros introduzidos por esta formulação são também apresentados.

3.2.2 - PRIMEIRA ALTERNATIVA PARA O FCP

Essa alternativa obtém as v.a. de saída através de algumas

suposições, que são descritas a seguir.

3.2.2.1 - FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

- Ângulo das tensões e potências ativas

Tomando-se as seguintes aproximações:

a) $V_k = V_m = 1 \text{ pu}$

b) $G_{km} = 0$ e $B_{km} = - \frac{1}{x_{km}}$ (fazendo a resistência da linha k - m nula)

c) $\text{sen} \theta_{km} = \theta_{km}$ (para θ_{km} muito pequeno)

d) Desacoplamento de P θ e QV, isto é, as magnitudes das tensões não têm nenhum efeito nos ângulos das tensões e potência ativa, assim como, os ângulos das tensões não tem nenhum efeito nas magnitudes das tensões e nas potências reativas.

Aplicando estas aproximações em (B.34), tem-se:

$$(3.3) \quad P_k = \sum_{m=1}^{NB} \frac{1}{x_{km}} \theta_{km}$$

ou em forma matricial:

$$(3.4) \quad P = C\theta$$

para:

$$C_{km} = - \frac{1}{x_{km}} = B_{km}$$

e

$$C_{kk} = \sum_{m \in \Omega_k} \frac{1}{x_{km}} = - \sum_{m \in \Omega_k} B_{km}$$

onde a linha e coluna referentes à barra de balanço são excluídas.

Assim:

$$(3.5) \quad \theta = \hat{C}P$$

ou

a) Ângulo da tensão nas barras de carga e de tensão controlada

$$(3.6) \quad \theta_k = \frac{\sum_{m=1}^{NB-1} \hat{C}_{km} P_m}{x_{km}}$$

A equação (3.6) é usada então, para determinar o ângulo na barra k do sistema.

Aplicando-se as aproximações a, b e c em (B.21) vem:

$$(3.7) \quad P_{km} = \frac{\theta_k - \theta_m}{x_{km}}$$

Substituindo a eq. (3.6) na eq. (3.7), resulta:

b) Fluxo de potência ativa

$$P_{km} = \frac{1}{x_{km}} \sum_{j=1}^{NB-1} (\hat{C}_{kj} - \hat{C}_{mj}) P_j$$

se a barra k for a barra de balanço, $\hat{C}_{kj} = 0$, pois $\theta_k = 0$

c) Potência ativa injetada na barra de balanço

$$P_s = \sum_{k=1}^{NB} P_k$$

- Magnitude das tensões e potências reativa

A partir da eq. (B.35) e da aproximação $V_k = 1$ pu, tem-se:

$$(3.8) \quad Q_k = \sum_{m=1}^{NB} A_{km} V_m$$

onde:

$$A_{km} = G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km}$$

$$A_{kk} = -B_{kk}$$

Colocando a eq.(3.8) em forma matricial, tem-se:

$$Q = AV, \text{ ou então:}$$

$$(3.9) \begin{bmatrix} Q_l \\ Q_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M & L \\ N & J \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_l \\ V_g \end{bmatrix}$$

Através do particionamento da eq. (3.9), chega-se a:

$$(3.10) Q_l = MV_l + LV_g$$

e

$$(3.11) Q_g = NV_l + JV_g$$

De (3.10), obtém-se

$$(3.12) V_l = \hat{M}Q_l + \hat{M}H$$

e de (3.11) e (3.12), chega-se a:

$$(3.13) Q_g = DQ_l + E$$

onde:

$$H = -LV_g$$

$$D = N\hat{M}$$

$$E = DH + JV_g$$

Explicitando (3.12) e (3.13), vem:

d) Magnitude da tensão nas barras de cargas

$$(3.14) V_{k(l)} = \sum_{m=1}^{NPQ} M_{km}^{\wedge} Q_{m(l)} + \sum_{m=1}^{NPQ} M_{km}^{\wedge} H_m \quad (k=1, \dots, NPQ)$$

e) Potência reativa injetada nas barras de tensão controlada e de balanço

$$(3.15) \quad Q_{k(g)} = \sum_{m=1}^{NPQ} D_{km} Q_{m(l)} + E_k \quad (k = 1, \dots, NBG)$$

Para determinar os fluxos de potência reativa assim como a potência reativa injetada pelo elemento shunt na barra, é feito as seguintes aproximações, nas eq. (B.22) e (B.36):

$$V_k^2 = V_k$$

$$V_k V_m = V_m$$

Assim:

$$(3.16) \quad Q_{km} = t_{km} V_k + A_{km} V_m \quad e$$

$$(3.17) \quad Q_{k(sh)} = V_k B_{k(sh)}$$

onde:

$$t_{km} = a_{km} B_{km} - B_{km}'$$

Das eq. (3.16) e (3.17), tem-se:

f) Fluxo de potência reativa

- Sendo k e m, barras de carga

$$(3.18) \quad Q_{km} = \sum_{i=1}^{NPQ} (t_{km} M_{ki}^{\wedge} + A_{km} M_{mi}^{\wedge}) Q_{i(l)} + \sum_{i=1}^{NPQ} (t_{km} M_{ki}^{\wedge} + A_{km} M_{mi}^{\wedge}) H_i$$

- Sendo k uma barra de tensão controlada ou de balanço

$$(3.19) \quad Q_{km} = \sum_{i=1}^{NPQ} A_{km} M_{mi}^{\wedge} Q_{i(l)} + \sum_{i=1}^{NPQ} A_{km} M_{mi}^{\wedge} H_i + t_{km} V_k$$

- Sendo m uma barra de tensão controlada ou de balanço

$$(3.20) \quad Q_{km} = \sum_{i=1}^{NPQ} t_{km} M_{km}^{\wedge} Q_{i(l)} + \sum_{i=1}^{NPQ} t_{km} M_{km}^{\wedge} H_i + A_{km} V_m$$

Das eq. (3.17) e (3.14), vem, para toda barra k , de carga:

g) Potência reativa shunt injetada

$$(3.21) \quad Q_{k(sh)} = B_{k(sh)} \sum_{m=1}^{NPQ} M_{km}^{\wedge} Q_{k(l)} + B_{k(sh)} \sum_{m=1}^{NPQ} M_{km}^{\wedge} H_m$$

Se, entretanto, outras aproximações forem assumidas para os módulos da tensão nas barras, uma outra linearização é obtida para a magnitude da tensão e potências reativa, devido ao fato de as tensões em um sistema de potência estarem próximas da unidade. Assim:

$$a) \quad V_k = 1 + \delta V_k$$

$$b) \quad V_m = 1 + \delta V_m$$

onde δV_k e δV_m são pequenas variações de V_k e V_m em torno da unidade.

Logo:

$$c) \quad V_k V_m = V_k + V_m - 1$$

$$d) \quad V_k^2 = 2V_k - 1$$

O desenvolvimento para as equações referentes às variáveis de saída são feitas de maneira semelhante à linearização anterior, portanto seu desenvolvimento não é descrito.

3.2.2.2 - CONSIDERAÇÕES

Como pode ser verificado facilmente, as v.a. referentes às grandezas de saída são obtidas através de uma soma ponderada de v.a. referentes às:

- potências ativas injetadas nas barras do sistema (com exceção da barra de balanço) e
- potências reativas injetadas nas barras de carga do sistema.

Entretanto, as linearizações usadas no modelo probabilístico do problema resulta em erros nas variáveis aleatórias de saída. Esses erros são devidos às linearizações realizadas no desenvolvimento das equações, assim como devido ao desacoplamento P θ e QV.

Tais erros podem ser descritos como sendo (de acordo com comparações entre os diversos métodos para se computar o FGP):

- Pequenos erros no valor esperado das variáveis referentes à parte ativa, com erro desprezível no desvio padrão, embora haja pequena diferença na forma da curva densidade de probabilidade. O erro no valor esperado pode ser superado através de um deslocamento da curva densidade de probabilidade computada, sem mudar a sua forma, até que o seu valor esperado coincida com o valor obtido de um fluxo de carga convencional, ou mesmo, de um fluxo de carga probabilístico, em que esse tipo de erro não ocorra (como será descrito posteriormente).
- É introduzido um erro maior no valor esperado e no desvio padrão das variáveis referentes à parte reativa, devido ao desacoplamento assumido. Isso resulta em um valor esperado e forma da curva densidade de probabilidade, diferentes do obtido com outros métodos em que o desacoplamento não é considerado.

É descrito a seguir, uma outra alternativa para modelar o problema do fluxo de carga probabilístico.

3.2.3 - SEGUNDA ALTERNATIVA PARA O FGP

A primeira alternativa, descrita no ítem anterior, permite a obtenção das v.a. de saída, usando dados de barra cuja representação é feita através de determinadas fdp's.

Pequenos erros ocorreram no valor esperado das variáveis de saída, que poderiam ser compensados pelo deslocamento da curva densidade de probabilidade até que seu valor esperado se torne igual ao valor obtido de um fluxo de carga convencional ou de um outro FGP que não introduza as suposições feitas no ítem anterior.

Para superar este erro, uma nova técnica foi obtida para modelar o problema do FGP.

Esta nova técnica usa o valor esperado obtido da solução de um fluxo de carga convencional, como sendo o ponto de linearização para o FGP e obtém as curvas densidade de probabilidade das v.a. de saída.

3.2.3.1 - FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

A princípio será considerado o desacoplamento entre P θ e QV.

São feitas as seguintes aproximações:

$$a) V_k = V_{k0} + \Delta V_k$$

$$b) V_m = V_{m0} + \Delta V_m$$

Logo:

$$(3.22) V_k V_m = (V_{k0} + \Delta V_k)(V_{m0} + \Delta V_m) \approx V_{k0} V_m + V_{m0} V_k - V_{k0} V_{m0}$$

$$(3.23) V_k^2 = 2V_{k0} V_k - V_{k0}^2$$

Como o termo $\Delta V_k \Delta V_m$ foi desprezado na eq.(3.22), esta aproximação pode ser aplicada em sistemas cujas variações na tensão sejam pequenas.

Para ângulos cuja variação é pequena, pode-se tomar as seguintes aproximações (usando séries de MacLaurin):

$$c) \text{sen} \theta_{km} \approx \theta_{km} - \frac{\theta_{km}^3}{6}$$

$$d) \text{cos} \theta_{km} \approx 1 - \frac{\theta_{km}^2}{2}$$

Os termos θ_{km}^3 e θ_{km}^2 podem ser tratados de maneira semelhante às considerações a) e b).

- Ângulo das tensões e potências ativas.

Aplicando estas aproximações em (B.21) e (B.34), obtem-se:

a) Ângulo da tensão nas barras de carga e de tensão controlada

$$(3.24) \theta_k = \sum_{m=1}^{NB-1} Y_{km}^{\wedge} P_m - \sum_{m=1}^{NB-1} Y_{km}^{\wedge} R_m, m = 1, \dots, NB-1$$

b) Potência ativa injetada na barra de balanço

$$(3.25) P_k = V_{k0} \sum_{m=1}^{NB} V_{m0} (f_{km} \theta_k - f_{km} \theta_m + e_{km})$$

d) Magnitude da tensão nas barras de carga

$$(3.27) \quad V_{k(l)} = \sum_{m=1}^{NPQ} \hat{M}_{km} Q_{m(l)} + \sum_{m=1}^{NPQ} \hat{M}_{km} H_m \quad (k = 1, \dots, NPQ)$$

e) Fluxo de potência reativa

- Sendo k e m, barras de carga

$$(3.28) \quad Q_{km} = \sum_{j=1}^{NPQ} (\tau_{km} \hat{M}_{kj} + v_{km} \hat{M}_{mj}) Q_{j(l)} + \\ + \sum_{j=1}^{NPQ} (\tau_{km} \hat{M}_{kj} + v_{km} \hat{M}_{mj}) H_j + w_{km}$$

- Sendo k uma barra de tensão controlada ou de balanço

$$(3.29) \quad Q_{km} = \sum_{i=1}^{NPQ} v_{km} \hat{M}_{mi} Q_{i(l)} + \\ + \sum_{i=1}^{NPQ} v_{km} \hat{M}_{mi} H_i + \tau_{km} V_{ko} + w_{km}$$

- Sendo m uma barra de tensão controlada ou de balanço

$$(3.30) \quad Q_{km} = \sum_{i=1}^{NPQ} \tau_{km} \hat{M}_{ki} Q_{i(l)} + \sum_{i=1}^{NPQ} \tau_{km} \hat{M}_{ki} H_i + v_{km} V_{mo} + w_{km}$$

f) Potência reativa injetada nas barras de tensão controlada e de balanço

$$(3.31) \quad Q_{k(g)} = \sum_{m=1}^{NPQ} D_{km} Q_{m(l)} + E_k \quad (k = 1, \dots, NBG)$$

c) Fluxo de potência ativa

$$(3.26) P_{km} = I_{km} \sum_{j=1}^{NB-1} (\hat{Y}_{kj} - \hat{Y}_{mj}) P_j + \\ - I_{km} \sum_{j=1}^{NB-1} (\hat{Y}_{kj} - \hat{Y}_{mj}) R_j + h_{km}$$

(se k for a barra de balanço, $\hat{Y}_{km} = 0$)

onde:

$$Y_{km} = -V_{ko} V_{mo} f_{km} \qquad Y_{kk} = V_{ko} \sum_{m=1 \neq k}^{NB} V_{mo} f_{km}$$

$$a_{km} = 1 + \frac{\theta_{kmo}^2}{2} \qquad b_{km} = -\theta_{kmo}$$

$$c_{km} = \frac{\theta_{kmo}^3}{3} \qquad d_{km} = 1 - \frac{\theta_{kmo}^2}{2}$$

$$R_m = V_{mo} \sum_{k=1}^{NB} V_{ko} e_{mk} \qquad I_{km} = V_{ko} V_{mo} f_{km}$$

$$e_{km} = a_{km} G_{km} + c_{km} B_{km} \qquad f_{km} = b_{km} G_{km} + d_{km} B_{km}$$

$$h_{km} = -a_{km} G_{km} V_{ko}^2 + V_{ko} V_{mo} e_{km}$$

- Magnitude das tensões e potências reativas

Utilizando as aproximações nas eq. (B.22), (B.35) e (B.36), obtem-se:

g) Potência reativa shunt injetada

$$(3.32) \quad Q_{k(sh)} = 2V_{ko} B_{k(sh)} \sum_{m=1}^{NPQ} M_{km}^{\wedge} Q_m(l) + \\ + 2V_{ko} B_{k(sh)} \sum_{m=1}^{NPQ} M_{km}^{\wedge} H_m - V_{ko}^2 B_{k(sh)}$$

onde:

$$t_{km} = 2V_{ko} (a_{km} B_{km} - B_{km}') + A_{km} V_{mo} \\ A_{km} = G_{km} \text{sen} \theta_{kmo} - B_{km} \text{cos} \theta_{kmo} \\ v_{km} = A_{km} V_{ko} \\ w_{km} = -V_{ko}^2 (a_{km} B_{km} - B_{km}') - A_{km} V_{ko} V_{mo}$$

Até agora, foi assumido o desacoplamento entre as partes P θ e QV. Entretanto, essa suposição pode ser contornada, o que conduzirá a resultados mais precisos.

3.2.3.2 - CONSIDERAÇÕES

Como foi analisado na seção 3.2.2, os valores esperados obtidos usando a primeira alternativa contem erros devido às aproximações feitas. Esta nova alternativa elimina este tipo de erro.

É também obtido valores mais precisos para o desvio padrão e para a função densidade de probabilidade.

Quando o desacoplamento não é considerado, verifica-se que é pouco alterado os resultados referentes aos ângulos das tensões e potências ativas, mas há uma diferença relativamente grande nos resultados referentes às magnitudes das tensões e potências reativas.

Resultados da referência⁽⁶⁾ para o sistema descrito na seção D.2, são aqui reproduzidos na tabela 3.1, para exemplificar estas conclusões. Os resultados da seção 3.2.3 consideram o acoplamento e desacoplamento das partes P θ e QV.

Entretanto, esta alternativa apresenta um tempo computacional maior que a alternativa anterior, devido à maior complexidade das equações que modelam o FGP.

Barra	u (graus)	σ (graus)		
		seção 3.2.2	seção 3.2.3	
			desac.	acop.
2	- 4.98	0.41	0.44	0.44
3	-12.73	0.92	0.99	1.00
4	-10.31	0.66	0.71	0.69
5	- 8.76	0.56	0.59	0.58
6	-14.22	0.84	0.84	0.84
7	-13.36	0.96	0.99	0.98
8	-13.36	0.96	0.98	0.99
9	-14.94	1.16	1.17	1.15
10	-15.09	1.10	1.11	1.10
11	-14.79	0.97	0.98	0.97
12	-15.07	0.88	0.87	0.88
13	-15.15	0.90	0.91	0.91
14	-16.03	1.06	1.08	1.06

a)

Barra	u (pu)	σ (pu)		
		seção 3.2.2	seção 3.2.3	
			desac.	acop.
4	1.0171	0.0009	0.0009	0.0020
5	1.0187	0.0005	0.0005	0.0016
7	1.0613	0.0027	0.0025	0.0029
9	1.0557	0.0052	0.0050	0.0052
10	1.0508	0.0044	0.0042	0.0044
11	1.0568	0.0023	0.0022	0.0023
12	1.0552	0.0005	0.0005	0.0007
13	1.0503	0.0010	0.0010	0.0012
14	1.0354	0.0034	0.0033	0.0037

b)

Barra	u (MVAr)	σ (MVAr)		
		seção 3.2.2	seção 3.2.3	
			desac.	acop.
1	-13.31	0.23	0.24	3.10
2	36.11	0.75	0.76	5.59
3	7.29	0.44	0.43	4.12
6	5.68	1.84	1.90	2.19
8	17.78	1.52	1.55	1.77

c)

tab. 3.1 - Resultados da primeira formulação
 a) Ângulo das tensões nas barras PQ e PV
 b) Magnitude das tensões nas barras PQ
 c) Potência reativa injetada nas barras PV e SW

3.3 - SEGUNDA FORMULAÇÃO - FLUXO DE CARGA ESTOCÁSTICO

3.3.1 - INTRODUÇÃO

Esta formulação é baseada nos princípios da estimação estatística do método dos mínimos quadrados, para sistemas lineares, e foi proposta por Dopazo et al.

Essencialmente, este método converte a formulação do problema do fluxo de carga de uma maneira determinística para uma maneira estocástica, usando técnicas de estimação de estado.

Esta estimação é usada para se linearizar as equações do fluxo de carga, para se determinar a propagação dos erros dos dados de entrada.

3.3.2 - DESENVOLVIMENTO MATEMÁTICO

Seja um conjunto de equações não-lineares, definidas por:

$$(3.33) \quad y' = f(x') + \epsilon$$

Usando expansões da série de Taylor para linearizar a equação acima, resulta:

$$(3.34) \quad y = Jx + \epsilon$$

onde:

$$y = y' - f(x) \Big|_{x = x_0}$$

$$x = x' - x_0'$$

J = Jacobiano de $f(x')$

ϵ = Vetor das v.a. associadas ao erro entre y' e $f(x')$

y' = Vetor contendo o valor esperado dos possíveis valores referentes aos dados de entrada, definidos por uma distribuição estatística

x' = Vetor contendo o estado do sistema, através do qual, todas as quantidades podem ser calculadas

O vetor ϵ é descrito estatisticamente como uma v.a. que tem um valor esperado e uma variância, que definem a maneira como distúrbios associado às observações ou previsões descritas por y podem variar.

Associadas a estes parâmetros do vetor ϵ , tem-se as seguintes estatísticas:

$$(3.35) \quad \begin{aligned} E[\epsilon] &= 0 \\ E[\epsilon \epsilon^t] &= C_\epsilon \end{aligned}$$

onde C_ϵ é a matriz covariância dos dados.

O problema de estimação de estado pelo método dos mínimos quadrados, é obter o estado estimado \bar{x} , definido como o valor de x que minimiza a função

$$(3.36) \quad F(x) = (y - Jx)^t C_\epsilon^{-1} (y - Jx)$$

A minimização da função $F(x)$ é obtida fazendo com que a derivada de $F(x)$ no estado x seja nula, ou seja:

$$(3.37) \quad \left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x = \bar{x}} = J C_\epsilon^{-1} [y - J\bar{x}] = 0$$

onde:

$$(3.38) \quad J = \left. \frac{df}{dx} \right|_{x = \bar{x}}$$

O estado estimado \bar{x} é obtido por processos iterativos de resolução de equações não-lineares, aplicado na eq. (3.37). A solução dessa equação resulta em:

$$(3.39) \quad \bar{x} = (J^t C_\epsilon^{-1} J)^{-1} J^t C_\epsilon^{-1} y = C_x - J^t C_\epsilon^{-1} y$$

que se resume em:

$$(3.40) \quad \bar{x} = J^{-1} y$$

A eq. (3.40) é obtida para o caso em que J é uma matriz quadrada, implicando num mesmo número de equações e de incógnitas. Isto é aplicável no problema do fluxo de carga, pois a dimensão do vetor y é igual à dimensão do vetor de estado x .

Da eq. (3.40) e da formulação do fluxo de carga determinístico resulta que, o vetor de estado x que minimiza a eq. (3.37) é descrito pela relação:

$$(3.41) \quad y = f(\bar{x})$$

onde $F(\bar{x})$ é igual a zero.

Correspondente a \bar{x} existe um vetor \bar{y} , encontrado diretamente da eq. (3.34), onde:

$$(3.42) \quad \bar{y} = J\bar{x}$$

e correspondente ao valor verdadeiro de x , embora desconhecido, x_t , existe um vetor verdadeiro, mas também desconhecido, y_t , obtido por:

$$(3.43) \quad y_t = Jx_t$$

Para o problema de fluxo de carga, por não haver redundância nos dados em y , a estimação y destes dados feita a partir do estado estimado x é a própria entrada y , ou seja:

$$(3.44) \quad \bar{y} = y = f(\bar{x})$$

Por não haver redundância nos dados de y , não importará se um determinado dado tem uma variância muito grande ou não, pois todos os dados devem ser levados em consideração. Por isso, a estimativa feita na eq. (3.41) foi independente da matriz de covariância dos dados de entrada.

Embora a matriz C_ϵ , que contem as informações referentes aos erros das entradas não tenha influenciado nas estimações de x e y , esta matriz é a base da propagação dos erros nas estimações desta grandezas. Assim, da eq. (3.44) e das equações:

$$(3.45) \quad y = y_t + \epsilon = f(x_t) + \epsilon$$

$$(3.46) \quad y - f(\bar{x}) \cong J(x_t - \bar{x}) + \epsilon$$

tem-se:

$$(3.47) \quad C_y = C_{\bar{y}} = C_\epsilon$$

$$(3.48) \quad \epsilon \cong J(\bar{x} - x_t)$$

A eq. (3.47) implica que não é possível obter um vetor y mais próximo de y_t que o vetor de dados original.

As variáveis definidas nas eq. (3.47) e (3.48) tem as seguintes propriedades estatísticas:

$$(3.49) \quad E[\bar{x}] = x_t$$

$$(3.50) \quad E[(\bar{x} - x_t)(\bar{x} - x_t)^t] = (J^t C_\epsilon^{-1} J)^{-1} = C_{\bar{x}}$$

$$(3.51) \quad E[\bar{y}] = y_t$$

$$(3.52) \quad E[\bar{y} - y] = E[\bar{y}] - E[y] = 0$$

$$(3.53) \quad E[(\bar{y} - y_t)(\bar{y} - y_t)^t] = C_\epsilon - J(J^t C_\epsilon^{-1} J)^{-1} J^t = \\ = C_\epsilon - J C_x^{-1} J^t = 0,$$

se J é uma matriz quadrada

A eq. (3.50) foi obtida, levando em consideração a aproximação obtida na eq. (3.48). Assim:

$$E[(\bar{x} - x_t)(\bar{x} - x_t)^t] = E[J^{-1} \epsilon \epsilon^t (J^{-1})^t] = \\ = J^{-1} E[\epsilon \epsilon^t] (J^{-1})^t = J^{-1} C_\epsilon (J^{-1})^t$$

Logo:

$$(3.54) \quad E[(\bar{x} - x_t)(\bar{x} - x_t)^t] = C_{\bar{x}} = J^{-1} C_\epsilon (J^{-1})^t$$

As eq. (3.49) e (3.51) definem que, tendo as propriedades estatísticas dadas na eq. (3.35), então, se \bar{x} e y tem sido determinado para vários valores de y , \bar{x} e y tendem para x_t e y_t respectivamente.

A eq. (3.50) computa a matriz covariância diagonal de \bar{x} , que representa o desvio de \bar{x} do valor verdadeiro x_t .

A eq. (3.53) mostra a matriz covariância de $(\bar{y} - y)$. Dessa equação obtemos que \bar{y} é igual a y se a matriz J é quadrada.

É assumido agora outras variáveis, expressas por z' , e relacionadas ao estado x' , por:

$$(3.55) \quad z' = g(x')$$

Para um desenvolvimento similar ao feito em relação ao estado x , tem-se que a linearização da eq. (3.55) por expansão das séries de Taylor, resulta em:

$$(3.56) \quad z = Kx$$

onde \bar{z} e z_t podem ser obtidos de \bar{x} e x_t respectivamente, através de:

$$(3.57) \quad \bar{z} = K\bar{x}$$

e

$$(3.58) \quad z_t = Kz_t$$

As propriedades estatísticas de z são resumidas em:

$$(3.59) \quad E[\bar{z}] = z_t$$

$$(3.60) \quad E[(\bar{z} - z_t)(\bar{z} - z_t)^t] = K(J^t C_e^{-1} J)^{-1} K^t = C_z$$

Da mesma maneira que se obteve a eq. (3.54), chega-se a:

$$(3.61) \quad E[(\bar{z} - z_t)(\bar{z} - z_t)^t] = C_z = K C_x K^t$$

Substituindo a eq. (3.54) na eq. (3.61), resulta:

$$(3.62) \quad C_z = K J^{-1} C_e (K J^{-1})^t$$

3.3.3 - LIMITES DE CONFIANÇA

Até então, as variáveis de saída foram modeladas através de um valor esperado \bar{x} e \bar{z} e suas matrizes covariância, C_x e C_z respectivamente. Esses parâmetros, entretanto, não definem as distribuições de probabilidade associadas às variáveis de saída. As variáveis de entrada y podem ter alguma fdp, obtidas do conhecimento histórico das incertezas em relação às cargas e geração nas barras.

As variáveis de saída x e z são combinações lineares de y e, através do teorema do limite central - TLC - as variáveis de saída são modeladas como v.a. distribuídas normalmente. Assim, x_t e z_t são representadas por $N(x_t, \sigma_x^2)$ e $N(z_t, \sigma_z^2)$ respectivamente, onde:

$$(3.63) \quad \begin{aligned} \sigma_x^2 &= \text{diagonal} \{ (J^t V^{-1} J)^{-1} \} \\ \sigma_z^2 &= \text{diagonal} \{ K (J^t V^{-1} J)^{-1} K^t \} \end{aligned}$$

e as estimações \bar{x} e \bar{z} são na verdade, aproximações dos valores médios de x e y , quando assumidos que sejam v.a.

Embora x_t e z_t não sejam conhecidos, uma alteração nos valores destas variáveis é assumida. Essa modificação contém a maior parte dos possíveis valores que as variáveis possam ter.

Uma variação de ± 3 vezes o desvio padrão, σ_x e σ_z , inclui cerca de 99.73% dos possíveis valores (ver tabela 4.13). Assim:

$$(3.64) \quad \begin{aligned} x_t &\cong \bar{x} \pm 3 \sigma_x \\ z_t &\cong \bar{z} \pm 3 \sigma_z \end{aligned}$$

Tem-se transformado então, o problema do fluxo de carga probabilístico em uma soma das v.a. de entrada, para uma linearização das equações do fluxo de carga em torno do estado estimado x . Essa soma de v.a., ponderadas por coeficientes dos Jacobianos, é realizada, aplicando o TLC. A utilização do TLC resulta em que as v.a. de saída estarão normalmente distribuídas para qualquer tipo de distribuição associado às v.a. de entrada.

3.3.4 - RESTRIÇÕES DE ÁREA

Restrições de geração e carga por área podem ser incluídas no fluxo de carga estocástico. A inclusão das restrições de área considera que a matriz covariância de entrada continua sendo diagonal, fazendo com que adicionais equações sejam independentes da matriz original.

Considere uma área i de k barras. A eq. (3.33) é escrita como:

$$(3.65) \quad y_i = f_i(x) + \epsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, k$$

Supondo que a potência total injetada y_{n+1}' está afetada por ϵ_{n+1}' , independentemente das previsões individuais de potência em cada barra, tem-se:

$$(3.66) \quad y_{n+1}' = f_{n+1}(x) + \epsilon_{n+1}$$

A relação entre as eq. (3.65) e (3.66) é a seguinte:

$$(3.67) \quad f_{n+1}(x) = \sum_{i=1}^k f_i(x) - \sum_{i=1}^k (y_i' - \epsilon_i)$$

Substituindo a eq. (3.67) na eq. (3.66), resulta:

$$y_{n+1}' = \sum_{i=1}^k y_i' - \sum_{i=1}^k \epsilon_i + \epsilon_{n+1}$$

ou

$$(3.68) \quad y_{n+1}' = \sum_{i=1}^k y_i' + \epsilon_{n+1}'$$

onde:

$$\epsilon_{n+1}' = \epsilon_{n+1} - \sum_{i=1}^k \epsilon_i$$

Comparando as eq. (3.66) e (3.68), tem-se para a formulação da restrição de área:

$$(3.69) \quad E[\epsilon_{n+1}] = 0$$

$$(3.70) \quad E[\epsilon_{n+1} \epsilon_i] = 0 \quad , \text{ para } i = 1, 2, \dots, k$$

$$(3.71) \quad E[\epsilon_{n+1} \epsilon_{n+1}] = V_{n+1}$$

Entretanto, para y_{n+1}' , definido na eq. (3.68), a estatística de ϵ_{n+1}' é a seguinte, assumindo independência entre tais distúrbios:

$$(3.72) \quad E[\epsilon_{n+1}' \epsilon_{n+1}'] = \sum_{i=1}^k (V_i) + V_{n+1}$$

sendo:

$$V_i = E[\epsilon_i \epsilon_i] \quad , \text{ para } i = 1, 2, \dots, k$$

As eq. (3.71) e (3.72) mostram que há uma diferença entre modelar a restrição de área como uma função de um valor estático x' , e como a soma de v.a.

A inclusão de áreas com restrições provocará uma mudança no Jacobiano J , que não será mais uma matriz quadrada. Isto é devido à consideração destas novas equações obtidas por soma das equações referentes às potências injetadas nas barras pertencentes à mesma área. É necessário então, usar uma expressão equivalente à eq. (3.54). Assim:

$$(3.73) \quad C_{\bar{x}} = (J^t C_e^{-1} J)^{-1}$$

A covariância continua a mesma definida na eq. (3.62). A inclusão de áreas com restrição, entretanto, permite reduzir os limites de confiança das grandezas de saída.

3.3.5 - RESTRIÇÕES NA CARGA TOTAL DO SISTEMA

A formulação para o FCP tem o inconveniente de a potência injetada na barra de balanço ser a soma de todas as potências injetadas no sistema mais as perdas. Isto resulta numa variância associada a esta injeção de potência muito grande, implicando em grandes limites de confiança.

A inclusão de áreas com restrição, reduz substancialmente os limites de confiança em relação às grandezas associadas à

barra de balanço, mas tem duas limitações básicas:

- a) Áreas com restrição deteriora a esparcidade da matriz covariância, e seu efeito é simular a introdução de uma barra conectada a todas as outras barras da área. Se, por extremo, for considerado que todo o sistema é uma área, esta matriz se torna cheia.
- b) Os resultados do limite de confiança, em geral, são um pouco sensíveis à localização da barra de balanço.

Estas limitações podem ser facilmente superadas através da modelagem da barra de balanço como sendo uma outra barra de geração, mas permitindo somente que o módulo da tensão seja uma variável de estado, mantendo o seu ângulo fixo. Ou seja, colocando sua equação de potência ativa injetada como função das variáveis de estado relacionadas a esta barra.

O erro de previsão de carga no sistema completo mais as perdas podem ser distribuídos entre as equações de potência ativa, fazendo com que todos os geradores compensem os erros de previsão. Não é então necessário dividir o erro total esperado igualmente entre os geradores. Nenhuma restrição de área é usada neste caso.

3.3.6 - CONSIDERAÇÕES

As equações de fluxo de carga foram linearizadas em torno de um valor estimado para o estado do sistema, obtido através da execução de um fluxo de carga determinístico, tendo como dados de entrada referentes às potências nas barras, os valores esperados dos dados probabilísticos.

A linearização utilizada não efetuava nenhum desacoplamento entre as partes ativa e reativa.

A obtenção das curvas referentes às fdp's de saída é feita através da aplicação do TLC. Isto resulta em imprecisões, pois mesmo se as distribuições de entrada forem todas normalmente distribuídas, as distribuições referentes à saída não serão também normalmente distribuídas, devido à não-linearidade das equações de fluxo de carga.

Além disso, se a maioria das distribuições de entrada forem normalmente distribuídas, as demais distribuições podem ter um "peso" diferente, para determinada variável de saída. Assim, a influência de uma distribuição discreta poderia definir a distribuição de saída, não sendo a distribuição de saída normalmente distribuída. Isso será mostrado na seção 6.4.

Para sistemas muito "grandes", onde o número de v.a. a serem somadas é muito grande, a aplicação do TLC introduziria erros pequenos, tornando essa aplicação viável, devido ao menor tempo computacional requerido para obter as v.a. de saída.

No cap. 5 será mostrado algumas fdp's, sendo evidenciado que a aplicação do TLC nem sempre é possível, para sistemas "pequenos".

3.4 - CONCLUSÕES

As duas formulações apresentadas neste capítulo mostram duas maneiras de modelar o fluxo de carga probabilístico.

Entretanto, estas formulações apresentam falhas. A primeira formulação apresenta como desvantagem a complexidade na linearização das equações, resultando em um tempo computacional muito grande. Entretanto, as v.a. de saída são obtidas através de fdp's computadas em função das v.a. associadas às distribuições de entrada. A segunda formulação tem como desvantagem, a aplicação do TLC, para obter as fdp's das variáveis de saída.

Mas apresenta como vantagens:

- a) uma modelagem mais simplificada e mais abrangente do problema
- b) a possível inclusão das perdas do sistema assim como de áreas de restrição, na modelagem do sistema.

Uma observação pode ser feita em relação ao desacoplamento usado na primeira formulação.

As v.a. de saída, são obtidas através de uma soma ponderada das potências injetadas nas barras.

Então, uma determinada v.a. de saída X, é obtida por:

$$(3.74) \quad X = \sum_{i=1}^{NB-1} a_i P_i + \sum_{i=1}^{NPO} b_i Q_i$$

onde:

a_i = coeficiente de sensibilidade associado à injeção de potência ativa, P_i e

b_i = coeficiente de sensibilidade associado à injeção de potência reativa, Q_i .

Assim, se for assumido o desacoplamento entre P θ e QV, um dos somatórios da eq. (3.74) não será levada em consideração, o que introduzirá erro na v.a. X resultante.

TÉCNICAS COMPUTACIONAIS PARA A SOMA DE VARIÁVEIS ALEATÓRIAS INDEPENDENTES

4.1 - INTRODUÇÃO

Muitas aplicações da teoria da probabilidade requerem que duas ou mais distribuições sejam convoluídas. Essas distribuições podem ser contínuas ou discretas. É feito neste capítulo a descrição de técnicas que permitam obter a convolução dessas distribuições.

Como foi mostrado no segundo capítulo, as equações de fluxo de carga foram linearizadas em torno da região do valor esperado. Após essa linearização, foi necessário um processo de convolução para se obter as fdp's de saída através da soma das fdp's de entrada, multiplicadas pelos respectivos coeficientes de sensibilidade.

É necessário então, obter a seguinte igualdade:

$$(4.1) \quad Z = S Y$$

onde:

Z = vetor de variáveis aleatórias de saída, associado às tensões e ângulos nas barras, fluxos de potência, etc;

S = matriz dos coeficientes de sensibilidade e

Y = vetor de variáveis aleatórias de entrada, associado às injeções de potência ativa e reativa nas barras.

O vetor de variáveis aleatórias de entrada é constituído de distribuições contínuas e discretas, que caracterizam as variações aleatórias ou incertezas das cargas e geração.

Há várias maneiras de se realizar esta soma. Uma dessas maneiras é usar métodos numéricos baseado na Transformada Rápida de Laplace, denominado aqui como um método probabilístico semi-convencional. Um outro possível método para o processo de convolução é baseado na Transformada Rápida de Fourier.

A seguir é feito uma descrição geral destas duas técnicas, assim como uma comparação sucinta entre elas.

4.2 - DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE CONVOLUÇÃO

Seja X e Y duas variáveis aleatórias supostas

independentes, com funções densidade de probabilidade $g(x)$ e $h(y)$ respectivamente. Suas funções distribuição são obtidas por:

$$(4.2) \quad P_X(x) = \text{probabilidade de } (X < x) = \int_{-\infty}^x g(x) dx$$

$$(4.3) \quad P_Y(y) = \text{probabilidade de } (Y < y) = \int_{-\infty}^y h(y) dy$$

Somando estas duas v.a. independentes, obtêm-se uma v.a. Z , definida por:

$$(4.4) \quad Z = X + Y,$$

sendo sua função distribuição obtida por:

$$(4.5) \quad P_Z(z) = \text{probabilidade de } (Z < z) = \iint_R g(x)h(y) dx dy$$

para $R = \{(x,y)/x+y < z\}$, como ilustrado na fig. 4.1.

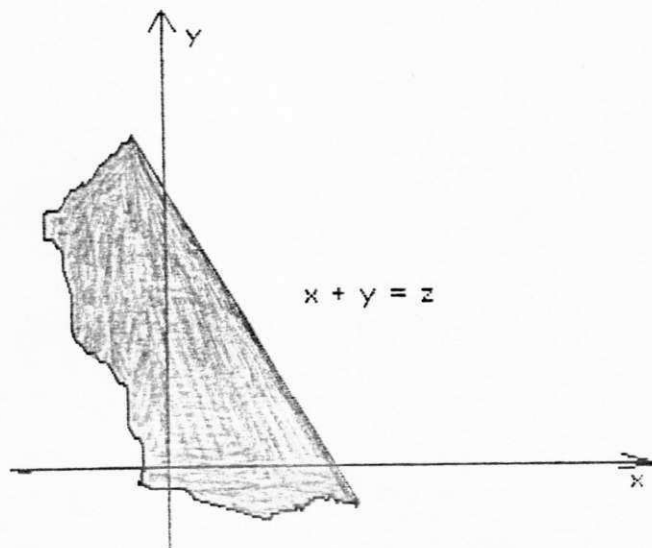


fig. 4.1 - Região de integração

Como X e Y são supostas v.a. independentes, têm-se:

$$(4.6) \quad P_Z(z) = \int_{-\infty}^{\infty} h(y) \int_{-\infty}^{x=z-y} g(x) dx dy$$

ou

$$(4.7) \quad P_Z(z) = \int_{-\infty}^{\infty} g(x) \int_{-\infty}^{y=z-x} h(y) dy dx$$

Substituindo (4.2) e (4.3) em (4.6) e (4.7) respectivamente, obtêm-se:

$$(4.8) \quad P_Z(z) = \int_{-\infty}^{\infty} h(y) P_X(z-y) dy$$

ou

$$(4.9) \quad P_Z(z) = \int_{-\infty}^{\infty} g(x) P_Y(z-x) dx$$

Para se obter a função densidade de probabilidade relativa à variável aleatória da soma f , é necessário simplesmente derivar a função distribuição (4.8) ou (4.9), ou seja:

$$(4.10) \quad f(z) = \frac{dP_Z(z)}{dz} = \int_{-\infty}^{\infty} h(y) g(z-y) dy$$

ou

$$(4.11) \quad f(z) = \frac{dP_Z(z)}{dz} = \int_{-\infty}^{\infty} g(x) h(z-x) dx$$

As integrais (4.10) e (4.11) são também conhecidas como "convolução" das funções h e g , que é denotada por:

$$(4.12) \quad f(z) = g(x) * h(y)$$

onde:

$$Z = X + Y$$

Uma interpretação gráfica do processo de convolução é mostrada a seguir:

Para calcular a equação (4.11), as funções $g(x)$ e $h(z-x)$ são necessárias. A função $h(-x)$ é a imagem de $h(x)$ sobre o eixo das ordenadas e $h(z-x)$ é simplesmente a função $h(-x)$ deslocada

por uma quantidade z .

Como ilustrado na fig. 4.2(c1) a 4.2(c7), o produto de $g(x)$ e $h(z-x)$ equivale a área hachuriada. A integral dessa área hachuriada está ilustrada na fig. 4.2(c8).

Como já foi descrito anteriormente, o problema do fluxo de potência probabilístico tem um determinado vetor de variáveis aleatórias de saída Z , obtida por uma soma ponderada das variáveis aleatórias que compõem um vetor de entrada Y .

O problema consiste então, em resolver a eq. (4.1) utilizando um método de convolução, segundo a eq. (4.12).

4.3 - MÉTODO SEMI-CONVENCIONAL (14)

4.3.1 - INTRODUÇÃO

Este método computa duas variáveis aleatórias equivalentes, uma para as distribuições normais e outra para as distribuições discretas. Finalmente convolui estas duas variáveis aleatórias equivalentes, obtendo-se uma variável aleatória final. Neste método, é usado um algoritmo para a transformada de Laplace, para efetuar a soma de duas variáveis aleatórias.

As grandezas de entrada, representadas por um simples valor determinístico, podem ser modeladas, tanto como uma variável aleatória discreta de "pulso unitário" (com probabilidade de ocorrência igual a unidade), como por uma variável aleatória normal, com desvio padrão nulo.

4.3.2 - FUNÇÃO NORMAL EQUIVALENTE

A função normal equivalente pode ser computada facilmente, pois somente o valor esperado e o desvio padrão são requeridos para definir esta função equivalente.

A demonstração a seguir será feita usando a transformada de Laplace, partindo da seguinte propriedade:

Para:

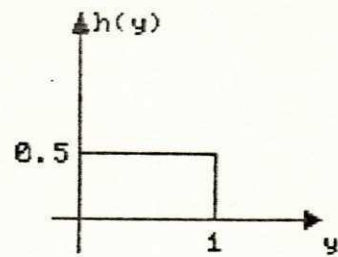
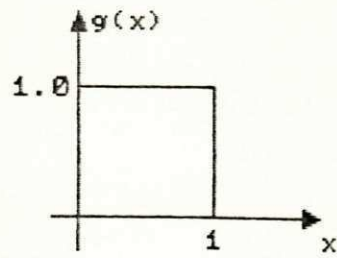
$$(4.13) \quad f(z) = g(x) * h(y)$$

Têm-se:

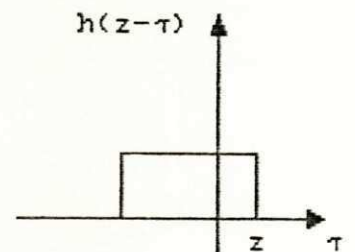
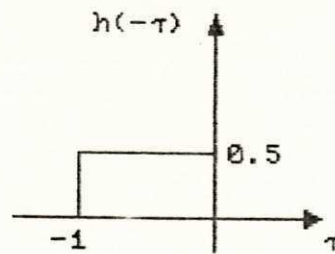
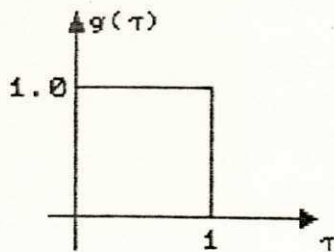
$$L[f(z)] = L[g(x)] L[h(y)]$$

Ou então:

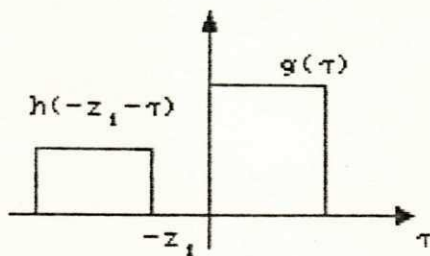
(a)



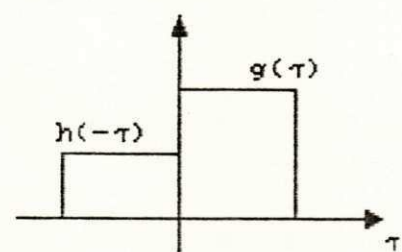
(b)



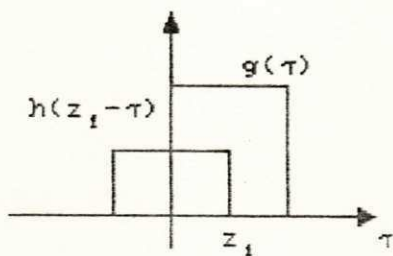
(c1)



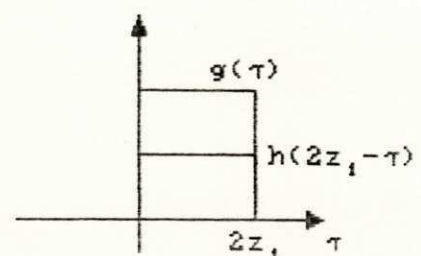
(c2)



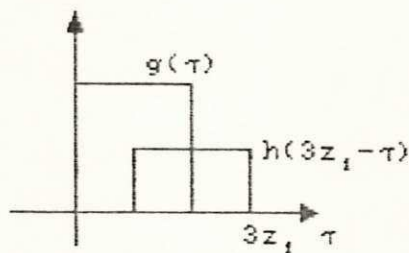
(c3)



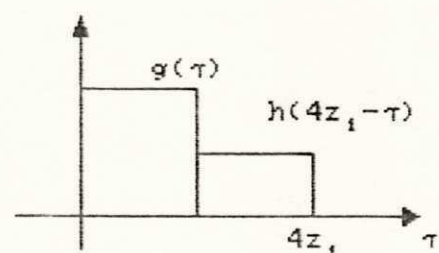
(c4)



(c5)



(c6)



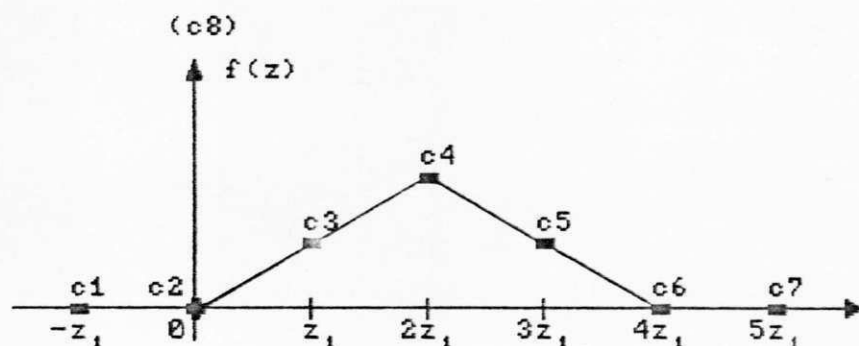
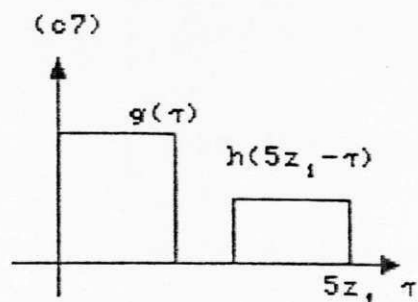


fig. 4.2 - Processo de convolução

- (a) - Funções densidade a serem convolucionadas
- (b) - Preparando as funções a serem convolucionadas
- (c) - Exemplo gráfico do processo de convolução

$$(4.14) \quad F(s) = G(s) \cdot H(s)$$

Sejam X e Y duas variáveis aleatórias normais e independentes, com funções densidade de probabilidade definidas como:

$$(4.15) \quad g(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_1} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{x - u_1}{\sigma_1}\right)^2\right)$$

$$(4.16) \quad h(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_2} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{y - u_2}{\sigma_2}\right)^2\right)$$

onde:

u_1 e u_2 - valores esperados de X e Y respectivamente e

σ_1 e σ_2 - desvios padrão de X e Y respectivamente.

Transformando $g(x)$ e $h(y)$ para o domínio da frequência, têm-se:

$$(4.17) \quad G(s) = \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\sigma_1^2 s^2 - 2 u_1 s) \right\}$$

$$(4.18) \quad H(s) = \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\sigma_2^2 s^2 - 2 u_2 s) \right\}$$

Aplicando as eq. (4.17) e (4.18) na eq. (4.14), chega-se a:

$$(4.19) \quad F_N(s) = \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\sigma_n^2 s^2 - u_n s) \right\}$$

onde:

$$u_n = u_1 + u_2$$

$$\sigma_n^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$$

Antitransformando a eq. (4.19), têm-se:

$$(4.20) \quad f_N(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_n} \exp \left(-\frac{1}{2} \left| \frac{n - u_n}{\sigma_n} \right|^2 \right)$$

4.3.3 - FUNÇÃO DISCRETA EQUIVALENTE

A maior dificuldade é computar a função discreta equivalente com este método, desde que uma função representada por r impulsos, convoluída com uma outra função representada por s impulsos, resultará em uma função com $t = r.s$ impulsos.

Seja agora Z , uma variável aleatória relativa à soma de duas variáveis aleatórias discretas e independentes X e Y , cujas funções densidade de probabilidade estão ilustradas na fig. 4.3.

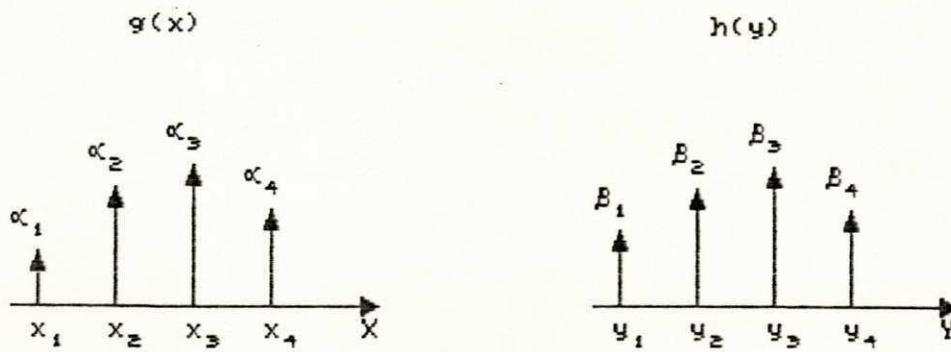


fig. 4.3 - Exemplo de duas variáveis aleatórias discretas e independentes, X e Y .

As funções densidade de probabilidade relativas às v.a. da fig. 4.3 são modeladas por:

$$(4.21) \quad g(x) = \sum_{i=1}^r \alpha_i \delta(x - x_i)$$

$$(4.22) \quad h(y) = \sum_{j=1}^s \beta_j \delta(y - y_j)$$

Transformando $g(x)$ e $h(y)$ para o domínio da frequência, obtêm-se:

$$(4.23) \quad G(s) = \sum_{i=1}^r \alpha_i \exp(-x_i s)$$

$$(4.24) \quad H(s) = \sum_{j=1}^s \beta_j \exp(-y_j s)$$

Aplicando as eq. (4.23) e (4.24) na eq. (4.14), têm-se:

$$(4.25) \quad F_D(s) = \sum_{k=1}^t \gamma_k \exp(-z_k s)$$

onde:

$$t = r.s$$

$$\gamma_k = \alpha_i \cdot \beta_j$$

$$z_k = x_i + y_j$$

Antitransformando a eq. (4.25), obtêm-se:

$$(4.26) \quad F_D(d) = \sum_{k=1}^t \gamma_k \delta(d - d_k) \quad f_D(d)$$

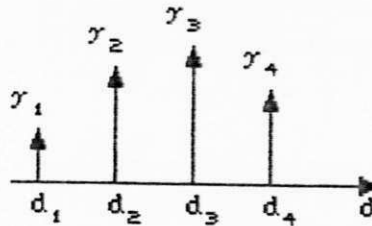


fig. 4.4 - Convolução das variáveis aleatórias X e Y.

4.3.4 - FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE FINAL

Finalmente, as funções densidade normal e discreta equivalentes, eq. (4.20) e (4.26) respectivamente, podem ser convoluídas facilmente, resultando em uma função densidade final Z. É necessário então computar:

$$(4.27) \quad f_Z(z) = f_N(n) * f_D(d)$$

ou, no domínio da frequência:

$$(4.28) \quad F_Z(s) = F_N(s) \cdot F_D(s)$$

Substituindo as eq. (4.19) e (4.25) na eq. (4.28), resulta em:

$$(4.29) \quad F_Z(s) = \sum_{k=1}^t \gamma_k \exp\left\{-\frac{1}{2} [\sigma_n^2 s^2 - (u_n - d_k)s]\right\}$$

Antitransformando a eq. (4.29), chega-se a:

$$(4.30) \quad f_Z(z) = \sum_{k=1}^t \frac{\gamma_k}{\sqrt{2\pi} \sigma_n} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left[\frac{(z+d_k-u_n)^2}{\sigma_n^2}\right]\right\}$$

4.3.5 - CONCLUSÃO

- Este método torna-se impraticável quando há muitas variáveis aleatórias a serem somadas (é o que geralmente ocorre no cálculo do fluxo de carga probabilístico), pois é necessário um tempo de computação muito grande para se ter uma precisão aceitável.
- Quando o número de variáveis aleatórias discretas a serem somadas for muito grande, o cálculo da eq. (4.26) se torna impraticável, devido ao grande número de impulsos a serem computados, ou seja, t resulta em um valor muito grande. Assim, é necessário melhorar o aspecto computacional (diminuição do tempo de computação e de memória requerida), limitando o número de impulsos da função convolucionada.

Uma solução é determinar inicialmente o intervalo de variação, ou seja, os valores mínimo e máximo que a v.a. d da função resultante da soma das variáveis aleatórias (eq. (4.26)) assumirá. Divide-se então este período em um número fixo de impulsos. Assim, quando um impulso estiver entre dois destes pontos predeterminados, uma média ponderada é usada para reparti-lo entre estes dois pontos. Na seção 4.4.4 é feita uma descrição mais detalhada desse "processo de decomposição", assim como sua interpretação estatística.

4.4 - MÉTODO BASEADO NA FFT

4.4.1 - INTRODUÇÃO

Um método alternativo e mais eficiente que o descrito no ítem anterior, é baseado na Transformada Rápida de Fourier.

O algoritmo da FFT usa algumas propriedades das funções exponenciais, resultando em uma representação mais rápida e mais precisa de uma variável aleatória no domínio da frequência, simplificando o problema da convolução.

4.4.2 - CONCEITOS GERAIS

Um resumo da teoria referente aos princípios básicos da FFT é apresentado no apêndice C. O problema da convolução pode ser apresentado agora da seguinte forma:

Considere duas funções discretas $f_1(k)$ e $f_2(k)$, cada uma tendo N impulsos, como ilustrado na fig. 4.5.

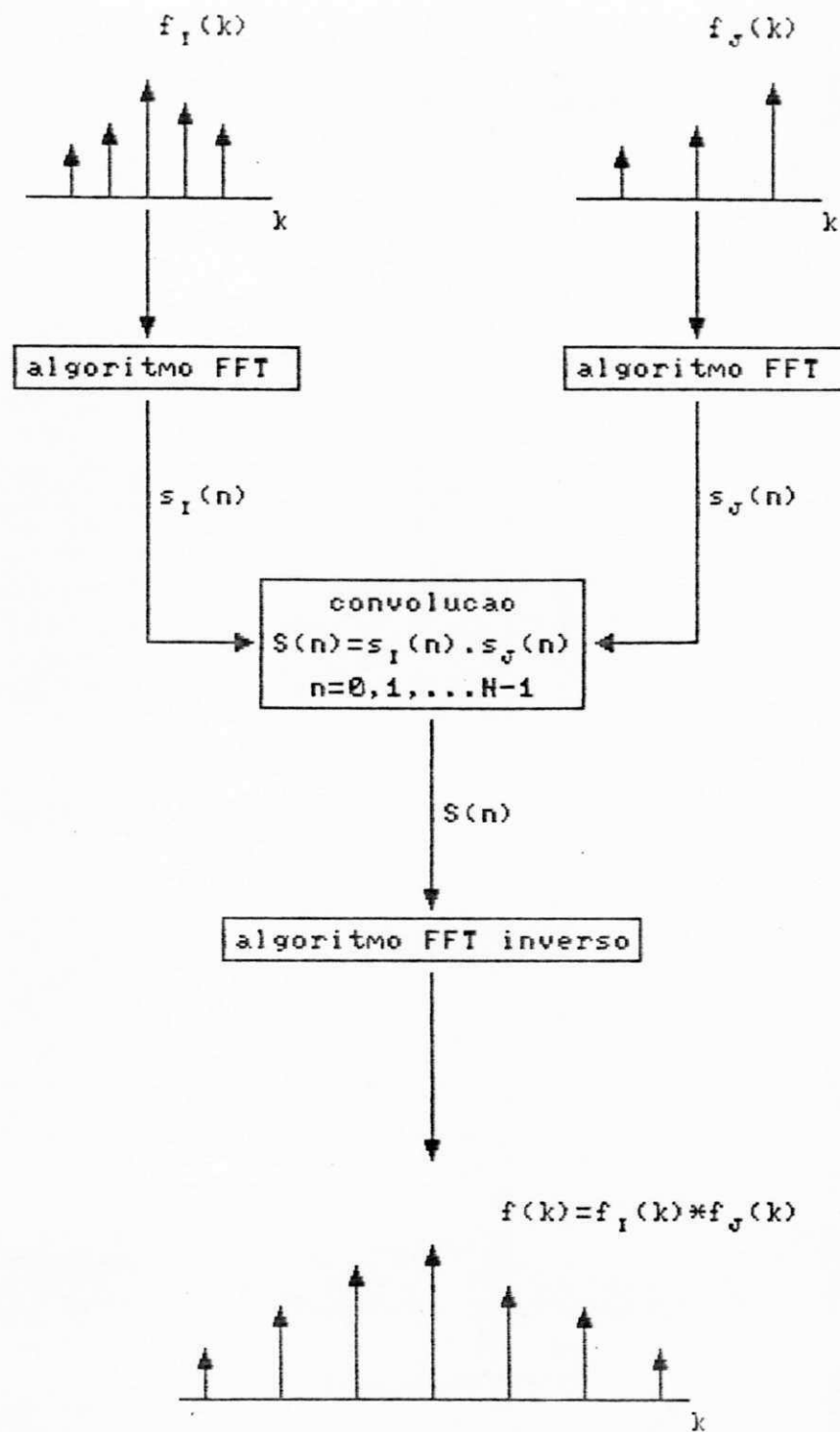


fig. 4.5 - Processo de convolução usando a FFT

O uso deste método para se obter a convolução de duas funções é possível computacionalmente se estas duas funções forem discretas ou discretizadas. Chega-se então a um impasse, pois como foi mostrado na seção 4.3.4, há uma função normal equivalente a ser convolvida com uma função discreta equivalente.

Este problema é contornado com a discretização desta função normal equivalente. Esta função normal equivalente é obtida da mesma maneira que na seção 4.3.2, com parâmetros u_n e σ_n .

O procedimento para se obter esta discretização são mostrados a seguir, e ilustrado na fig. 4.6.

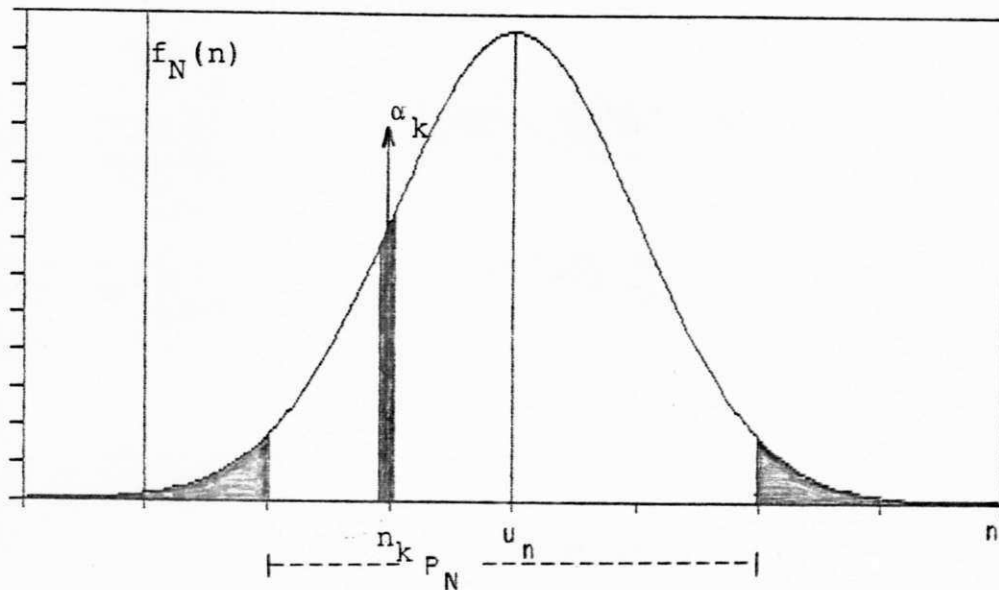


fig. 4.6 - Truncamento de uma distribuição normal

4.4.3 - DISCRETIZANDO A FUNÇÃO NORMAL EQUIVALENTE

Este objetivo estará cumprido, quando forem executados os seguintes passos:

- a) A função normal equivalente é truncada em um determinado γ desvios padrão, obtendo-se o período $P_N = 2\gamma\sigma_n$.

Isto é necessário devido ao fato dos dois limites mínimo e máximo serem $-\infty$ e $+\infty$ respectivamente. A tab. 4.1 contém o valor da área abaixo da curva, desprezada pelo truncamento:

Os valores da tab. 4.1 foram obtidos da seguinte igualdade:

$$(4.31) \quad P(|n - u_n| > \gamma\sigma_n) = 2\Phi(\gamma\sigma_n)$$

Usualmente, é atribuído o valor de $\gamma = 3.0$

γ	área(pu)	área(%)
1.5	0.133614404	13.36
2.0	0.045500264	4.55
2.5	0.012419332	1.24
3.0	0.002699796	0.27
3.5	0.000465258	0.05
4.0	0.000063342	0.01
4.5	0.000006796	----

tab. 4.1 - Valor da área desprezada pelo truncamento da função normal equivalente.

- b) O impulso α_k no ponto η_k equivale à área hachuriada associada a este ponto. O impulso é calculado através da função erro (ver apêndice A).
- c) O valor α_k é dividido por $(1 - \epsilon)$, onde ϵ representa a área desprezada k da função normal truncada. Este procedimento assegura que a curva normal truncada tem uma área igual a unidade, evitando erros numéricos no processo de convolução.
- d) Devido a simetria da distribuição normal, somente metade da função normal é considerada.

Têm-se então, a função normal equivalente discretizada, em um predeterminado número de impulsos, podendo ser tratada como uma distribuição discreta.

4.4.4 - PREPARANDO AS FUNÇÕES A SEREM SOMADAS

Foi visto no começo deste capítulo, na eq. (4.1), que o vetor de variáveis aleatórias de saída é obtido através de uma soma ponderada de variáveis aleatórias relativas às entradas, ou seja:

$$(4.32) \quad z = \sum_i s_i \cdot y_i$$

Considere que f_{ij} represente uma das somas que estão imbutidas na eq. (4.32). Têm-se então:

$$(4.33) \quad f_{ij}(z) = f_i(s_i y_i) * f_j(s_j y_j)$$

Este processo de convolução é ilustrado na fig. 4.7.

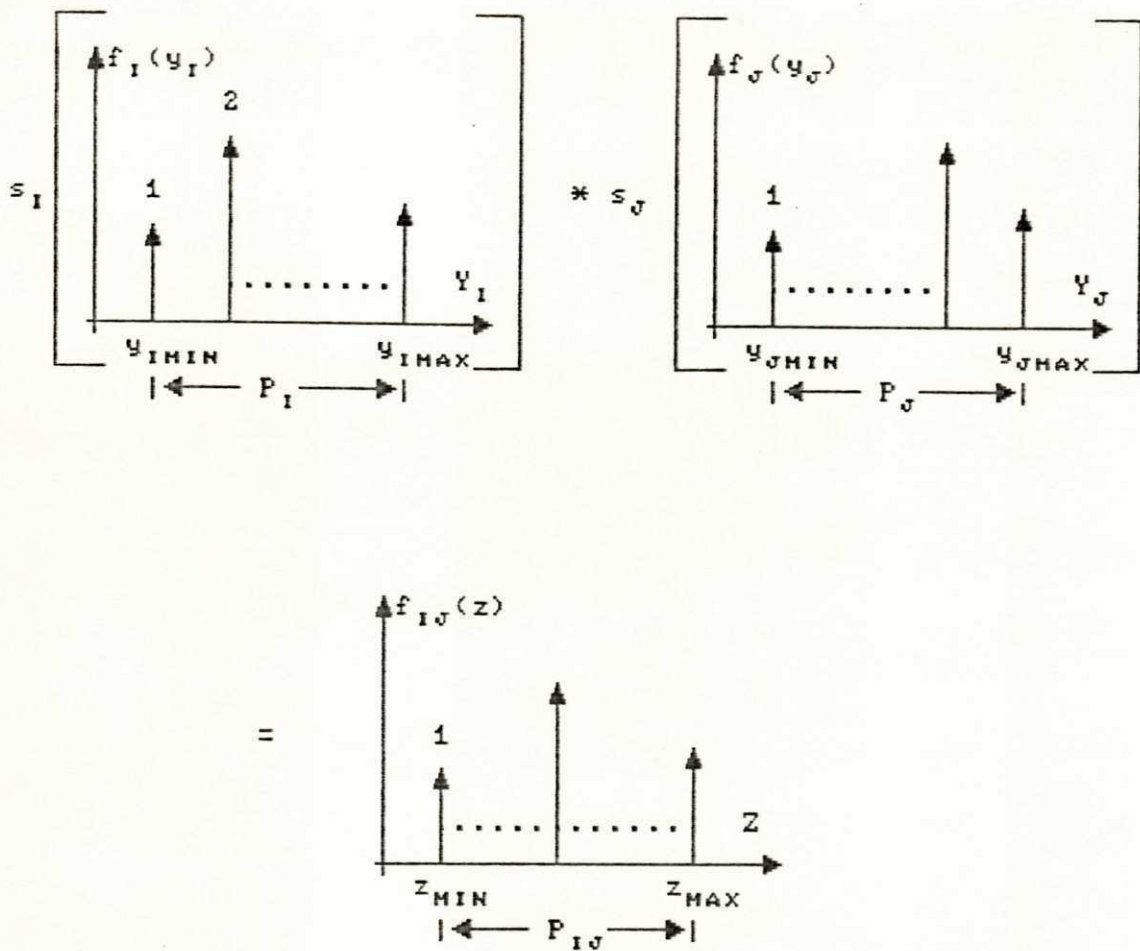


fig. 4.7 - Parâmetros da soma de duas variáveis aleatórias

O intervalo P_{ij} em que a função f_{ij} está definida, é calculado da seguinte maneira:

$$(4.34) \quad P_{ij} = |s_i|P_i + |s_j|P_j$$

Os limites da convolução estão descritos na tab. 4.2.

O período P_{ij} é então dividido em N_{ij} pontos e cada função discreta é representada neste intervalo. N_{ij} será definido no próximo ítem.

Para facilitar a implementação computacional, as funções são deslocadas para a origem deste intervalo P_{ij} , pois assim se terá um melhor endereçamento dos impulsos. Entretanto, é necessário que os posicionamentos iniciais sejam preservados, para se obter o posicionamento inicial da função resultante.

s_i	s_j	z_{\min}	z_{\max}
> 0	> 0	$s_i y_{i\min} + s_j y_{j\min}$	$s_i y_{i\max} + s_j y_{j\max}$
> 0	< 0	$s_i y_{i\min} + s_j y_{j\max}$	$s_i y_{i\max} + s_j y_{j\min}$
< 0	> 0	$s_i y_{i\max} + s_j y_{j\min}$	$s_i y_{i\min} + s_j y_{j\max}$
< 0	< 0	$s_i y_{i\max} + s_j y_{j\max}$	$s_i y_{i\min} + s_j y_{j\min}$

tab. 4.2 - Limites de convolução

Este procedimento não afetará o tipo de curva das funções. O posicionamento da função resultante da convolução é obtida então, através do z_{\min} , definido na tab. 4.2.

Este deslocamento é ilustrado na fig. 4.8.

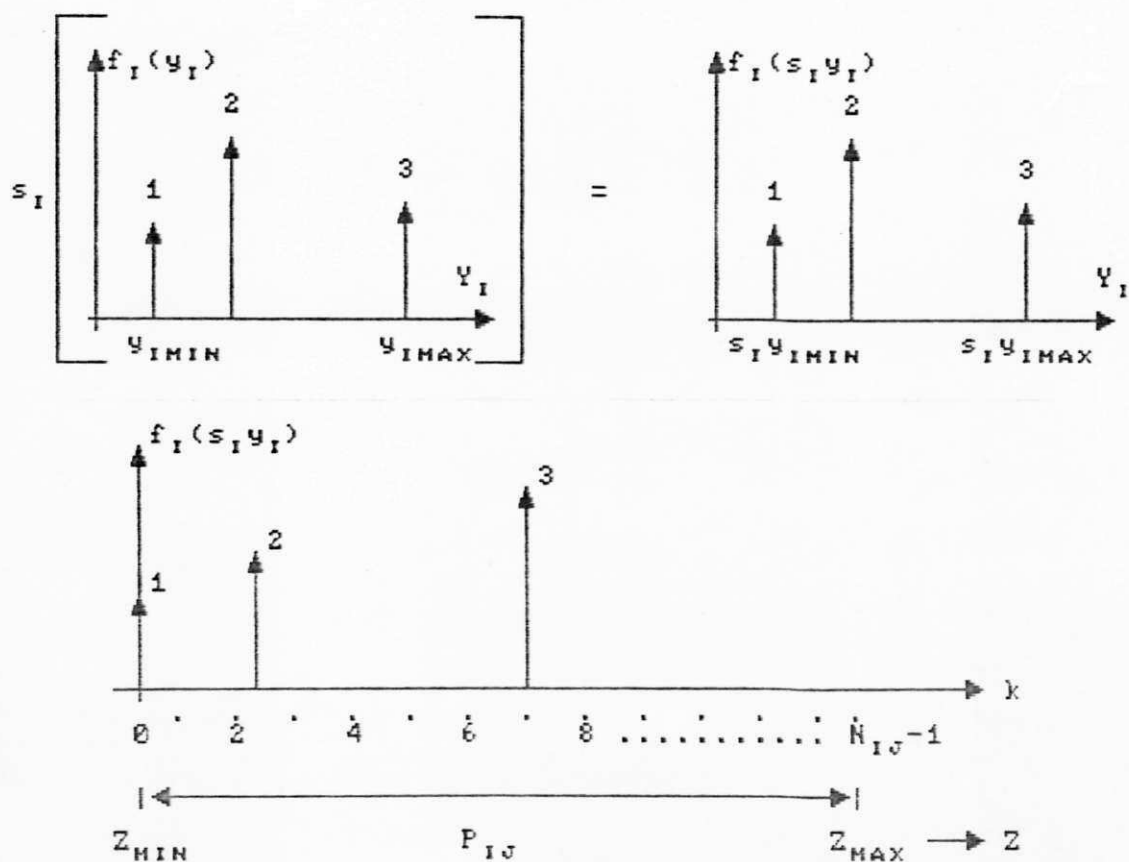


fig. 4.8 - Processo de deslocamento de uma distribuição discreta

Já foi definido que o período P_{ij} é dividido em N_{ij} pontos. Entretanto, os impulsos de cada uma das funções pode não coincidir com estes pontos, precisando então, de um procedimento que contorne este problema. Uma interpretação matemática deste procedimento é apresentado a seguir:

A fig. 4.9 mostra um impulso de área α , que ocorre entre dois pontos predeterminados k e $k+1$. Este impulso é decomposto em dois outros impulsos, de áreas $\alpha d_2/d$ e $\alpha d_1/d$, ocorrendo nos pontos k e $k+1$, respectivamente.

Estes dois impulsos devem ter o mesmo efeito, em termos probabilísticos, do impulso original. Assim,

$$\alpha_k = \alpha \frac{d_2}{d}$$

$$\alpha_{k+1} = \alpha \frac{d_1}{d}$$

$$\alpha_k + \alpha_{k+1} = \alpha \frac{d_2}{d} + \alpha \frac{d_1}{d} = \frac{\alpha}{d} (d_1 + d_2) = \alpha$$

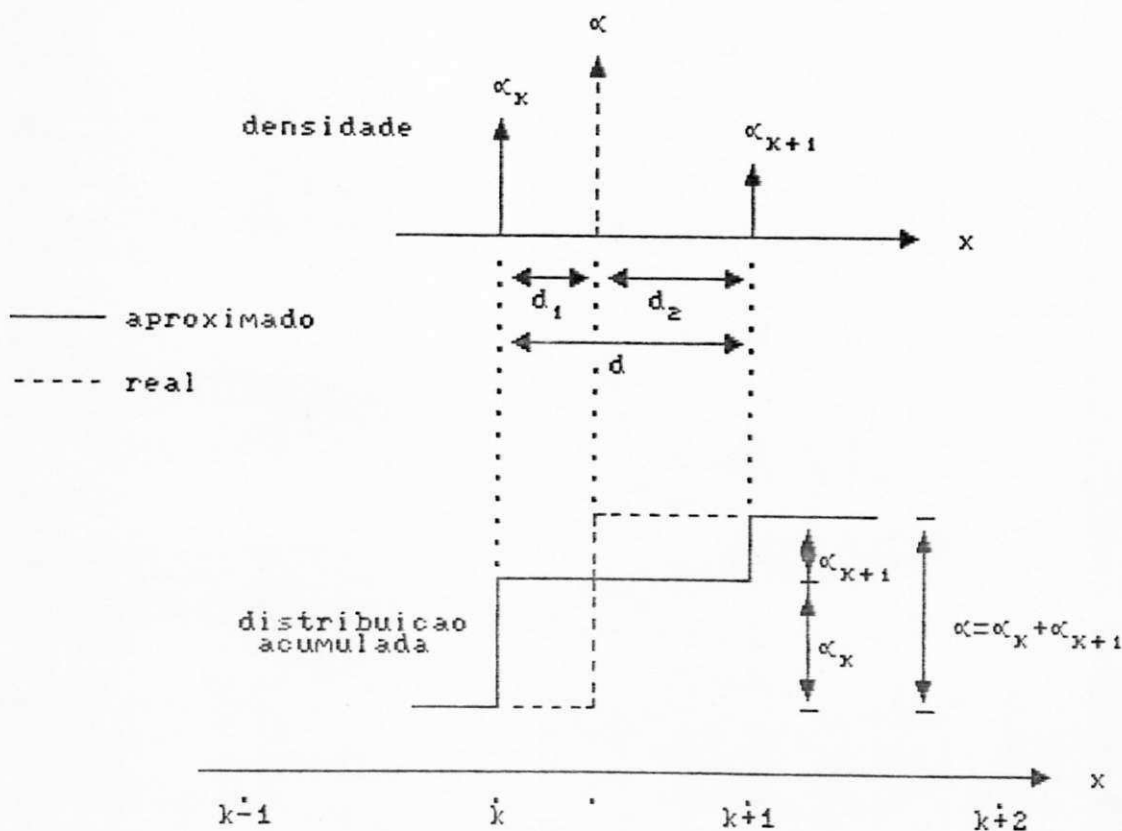


fig. 4.9 - Processo de "decomposição" de um impulso

Logo, os dois impulsos α_k e α_{k+1} possuem a mesma área que o impulso α .

Um detalhe importante é o número de impulsos que define uma distribuição discreta ou discretizada, pois quanto maior for o número de impulsos que divide igualmente o intervalo desta distribuição, mais preciso se torna o processo de "decomposição".

4.4.5 - ORDENAÇÃO DAS FUNÇÕES A SEREM SOMADAS

Como será mostrado no apêndice C, o algoritmo usado para a FFT, requer que o número de pontos N_{ij} satisfaça a relação $N_{ij} = 2^m$, onde m é um número inteiro. Esta característica será usada no procedimento a seguir.

A soma definida pela eq. (4.1), pode ser feita em qualquer ordem, ou seja, as variáveis aleatórias serão somadas duas a duas, até que se obtenha a variável aleatória resultante.

Mas este processo não é muito bom para a soma, como será mostrado a seguir.

Seja a eq. (4.1) definida como sendo N funções a serem somadas, já multiplicadas pelos respectivos coeficientes de sensibilidade s_j , cada uma tendo períodos P_1, P_2, \dots, P_n . Cada um desses períodos equivale ao período definido como P_{ij} na eq. (4.34). Assim, o período total será:

$$(4.35) \quad P = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

Considere que 2^m pontos são necessários para representar a função final, e que estejam sendo somadas as funções f_i e f_j , tendo períodos P_i e P_j respectivamente. Esta soma terá um período final dado por:

$$(4.36) \quad P_{ij} = P_i + P_j$$

O número de pontos $2^{m_{ij}}$ necessários para representar este intervalo, dado que 2^m pontos são necessários para representar a função final, pode ser obtido de:

$$(4.37) \quad m_{ij}' = \log_2 \left(\left(2^m \frac{P_{ij}}{P} \right) + 1 \right)$$

$$(4.38) \quad m_{ij} = \text{inteiro } [m_{ij}'] + 1$$

Da eq. (4.37), pode-se observar que m_{ij} decresce quando P_{ij} também diminua, para P constante.

É óbvio que a eficiência aumenta, quando o número de pontos usados no algoritmo da FFT diminua, pois o tempo computacional diminui. Portanto, é bem mais eficiente somar as funções em ordem crescente de período P_i , usando um procedimento em que o número de pontos usados para representar cada soma aumente de acordo com a eq. (4.38).

Essa ordenação aumenta consideravelmente a eficiência do método, quando comparado com o procedimento que mantém um número de pontos constante e igual a 2^m .

Considere ainda que o incremento para os impulsos da função final seja definido por:

$$l = \frac{P}{2^m}$$

E que $P_i + P_j$ seja menor que l . Assim

$$(4.39) \quad P_{ij} = P_i + P_j < \frac{P}{2^m}$$

Da eq. (4.37), obtêm-se:

$$2^m \cdot \frac{P_{ij}}{P} < 1$$

Logo, $m_{ij}' < 1$

Resultando em $m_{ij} = 1$

Isto introduzirá um erro no processo de convolução, devido ao seguinte: O período P_i e P_j conterão dois impulsos cada um e a convolução destas duas funções resultará em um número de impulsos igual a 3. Este número é superior a $2^{m_{ij}} = 2$. Assim, é preciso introduzir um corretivo à eq. (4.38).

Essa correção é obtida fazendo com que o menor número de pontos para o processo de convolução de duas funções seja quatro, ou seja:

$$m_{ij} \geq 2$$

Resultando em:

$$N_{ij} = 2^{m_{ij}} \geq 4$$

4.4.6 - CONSIDERAÇÕES

Devido ao fato de as funções no problema do fluxo de carga probabilístico serem sempre funções reais, algumas características resultam da implementação da FFT:

- a) O uso de um algoritmo para a FFT que seja capaz de transformar uma função complexa para o domínio da frequência permite que a parte imaginária da função possa ser usada mais eficientemente.
- b) A segunda metade da função complexa no domínio da frequência é igual ao conjugado complexo da primeira metade.

4.5 - COMPARAÇÕES ENTRE OS DOIS MÉTODOS

A FFT é descrita com mais detalhes no apêndice C, assim como as diferenças entre os dois métodos.

É colocado aqui, a título de ilustração, um exemplo que compara o tempo computacional entre o uso do método convencional e o método baseado na FFT. Esta fig. foi extraída da referência (15).

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E COMENTÁRIOS

5.1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo apresentar resultados de um programa de fluxo de carga probabilístico. Este programa utiliza a formulação apresentada no capítulo anterior, foi feito em FORTRAN IV e executado em um computador IBM 4341. É apresentado a seguir, resultados de tres sistemas testes, descritos nas seções D.2, D.3 e D.4 respectivamente. Na seção 5.5 é feito uma análise dos resultados do sistema teste de 39 barras. Em seguida, é feito comentários em relação aos resultados dos dois últimos sistemas.

5.2 - RESULTADOS DO SISTEMA TESTE DE 5 BARRAS

Os dados referentes a este sistema é apresentado na seção D.2. Este sistema foi utilizado para a comparação com a simulação de Monte Carlo, como será descrito no ítem 6.10.

A tab. 5.2 apresenta os resultados do programa de FCP, referentes ao sistema teste de 5 barras.

5.3 - RESULTADOS DO SISTEMA TESTE DE 14 BARRAS

Os dados referentes a este sistema é apresentado na seção D.3. É apresentado nas fig. 5.1-5.8, curvas referentes a algumas variáveis de saída. O tempo de processamento para se obter estas curvas e os resultados descritos na tab. 5.3, foi de 10.37 seg.

A tab. 5.3 apresenta os resultados do programa de FCP, referentes ao sistema teste de 14 barras.

5.4 - RESULTADOS DO SISTEMA TESTE DE 39 BARRAS

Os dados referentes a este sistema é apresentado na seção D.4. É apresentado nas fig. 5.9-5.17, curvas referentes a algumas variáveis de saída. O tempo de processamento para se obter estas curvas e os resultados descritos na tab. 5.4, foi de 23.48 seg.

A tab. 5.4 apresenta os resultados do programa de FCP, referentes ao sistema teste de 39 barras.

5.5 - ANÁLISE DOS RESULTADOS DO SISTEMA TESTE DE 39 BARRAS

5.5.1 - INTRODUÇÃO

A seção 5.4 apresentou os resultados do sistema teste de 39 barras. O objetivo desta seção é analisar com mais detalhes alguns destes resultados, enfatizando o acréscimo de informações que o FCP pode fornecer na análise de um determinado sistema, a nível de planejamento ou operação.

5.5.2 - MAGNITUDE DA TENSÃO NAS BARRAS DE CARGA

O estado definido pelos resultados de um fluxo de carga determinístico variam em função da variação da carga no sistema. Mas como esse estado varia? O FCP é uma ferramenta útil na resposta a este questionamento, como evidenciado com a seguinte ilustração:

- Uma análise da distribuição de probabilidade acumulada referente à fdp da fig. 5.13 mostra que a probabilidade da tensão na barra 28 ser maior que, por exemplo, 1.05 pu, é de 52.36 %.

Assim, a análise da magnitude da tensão ultrapassar determinado limite operacional, permite com que um planejador leve em consideração a possibilidade de se utilizar um controle de tensão na barra, para evitar a extrapolação de determinado limite operacional.

5.5.3 - O FLUXO DE POTÊNCIA APARENTE

Os fluxos de potência ativa e reativa são parâmetros importantes nos resultados de um fluxo de potência, mas será analisado aqui o fluxo de potência aparente, pelo fato de num estudo se levar em consideração principalmente este fluxo para análise de carregamento numa determinada linha do sistema. A análise probabilística dos fluxos ativo e reativo podem ser estendidos a partir da análise do fluxo de potência aparente apresentado a seguir, para os objetivos desejados, como por exemplo, a análise do comportamento estatístico do fluxo ativo e reativo numa linha pode ser importante no estudo do intercâmbio energético entre dois sistemas.

É mostrado a seguir, um exemplo da quantidade de informações que o resultado de um fluxo de carga probabilístico pode fornecer, tomando como exemplo a função de probabilidade acumulada do fluxo de potência aparente da linha entre as barras 3 e 18, apresentada nas figs. 5.14 e 5.15. A fig. 5.15 contém uma quantidade muito grande de informações, acessíveis facilmente através de um investigação direta.

Suponha que esta linha tenha uma capacidade operacional máxima de 100 MVA. De uma análise visual na fig. 5.15, existe aproximadamente 8.58 % de possibilidade do fluxo aparente na linha ser maior que esta capacidade, ou seja, o limite operacional da linha será ultrapassada, a menos que alguma mudança na configuração ou geração do sistema seja feita. Por exemplo, para se ter o risco da linha não satisfazer 3 % dos fluxos de potência aparente possíveis de fluir nesta linha, será necessário um reforço de 23.35 MVA. Para se ter qualquer fluxo possível fluindo pela linha sem nenhum risco, será necessário um reforço extra de 96.8 MVA. Tendo-se estas informações, torna-se mais fácil a análise econômica do problema. O planejador poderá então maximizar a relação "custo vs segurança".

A fig. 5.16 mostra a relação da quantidade de reforço necessário para determinado nível de segurança. Pode ser observado que, após determinado nível de segurança, grandes reforços serão necessários para atingir pequeno incremento na segurança. Assim, em termos econômicos, esta medida de risco pode ser de grande utilidade em termos de decisão.

A tab. 5.1 apresenta os resultados do processo de convolução para este fluxo de potência aparente.

5.5.4 - A POTÊNCIA REATIVA INJETADA NAS BARRAS DE TENSÃO CONTROLADA

O FCP é útil sob vários aspectos para se ter um sensibilidade quanto à geração de potência reativa numa determinada barra de tensão controlada. Duas conclusões são aqui mostradas, quando utilizado o FCP para se determinar índices estatísticos de geração.

- A fig. 5.10 mostra a fdp referente à potência reativa injetada na barras 37. Assim, embora o valor médio seja aproximadamente zero, há uma probabilidade muito grande da potência reativa gerada ser maior que zero. Nesta barra, essa probabilidade é de 56.26 %, não obstante, seu valor médio é 0.77 MVar.
- A barra 31 apresenta uma característica interessante em relação à potência reativa gerada: Possui um desvio grande, resultando numa fdp achatada. Isto é consequência do desvio da tensão na barra 6 ser grande em relação ao da barra de balanço (barra 31).

5.5.5 - O BALANÇO DE POTÊNCIA

A fig. 5.17 apresenta o balanço de potência na barra de balanço. Verifica-se da tab. 5.4 que o valor médio e desvio padrão são, respectivamente 84.198 e 253.761 MW. Têm-se então uma probabilidade do balanço ser deficiente em 38.67 %. Esse resultado foi obtido da distribuição de probabilidade acumulada

associada à fdp do balanço de potência.

Uma observação importante é que este balanço foi encontrado levando em conta apenas a probabilidade de saída de cada máquina, sem levar em consideração: quantidade de água firme; o despacho; etc. Outro detalhe importante é a modelagem do sistema como tendo apenas uma barra de balanço. Isto pode não corresponder totalmente com a realidade energética. Entretanto, este problema pode ser contornado ao se incorporar na modelagem, estudos tais como os apresentados nas seções 3.3.4 e 3.3.5.

5.6 - COMENTÁRIOS

- Na seção 6.4 será apresentado os erros introduzidos pelo TLC. Será mostrado que uma distribuição discreta pode influenciar muito, determinadas fdp's das variáveis de saída, resultando no fato de que estas fdp's não podem ser modeladas como v.a. normais, como admitido pelo TLC. As fig. 5.1 - 5.8 mostram que, no sistema teste de 14 barras, as fdp's são muito distorcidas em relação a uma distribuição normal. As fig. 5.9 - 5.17 evidenciam que no sistema teste de 39 barras, as fdp's se aproximam mais de uma distribuição normal, embora este sistema teste, também contenha distribuições discretas. Isto é devido ao fato de se estar somando, neste sistema, mais v.a. (67) que no sistema anterior (29). Este número é igual a $NPV + 2NPQ$.

A tab. 5.5 apresenta os coeficientes de sensibilidade do fluxo de potência ativa na linha 3-18. Embora o peso atribuído à barra 18 - que tem as cargas associadas a esta barra modeladas por distribuições discretas - seja relativamente grande, a fdp associada a esta variável não é muito distorcida de uma distribuição normal.

Assim, para grandes sistemas, o TLC pode ser aplicado, resultando num menor tempo computacional e menor erro resultante da obtenção direta da fdp de saída.

- As fig. 5.8, 5.10 e 5.12 mostram que, embora o valor esperado das variáveis de saída sejam aproximadamente zero, há uma possibilidade razoavelmente grande, desta variável ser diferente de zero. Assim, uma análise somente do valor esperado dessa variável pode conduzir a grandes erros. Por exemplo, a probabilidade da potência reativa injetada na barra 37 ser maior que zero é de 56.26 %, embora seu valor esperado seja de 0.77 MVar.
- O programa computacional desenvolvido, permite uma análise DC do problema de FCP. A fig. 5.18 e 5.19 mostram a fdp e a distribuição acumulada para o fluxo de potência ativa na linha 7-B, respectivamente.

Comparando com as fig. 6.3 e 6.4, que serão obtidas com a formulação do cap. 2, percebe-se que a forma da curva referente

à fdp é semelhante nas duas soluções, mas seu valor esperado e desvio padrão são diferentes. Assim, esse tipo de análise pode ser feita quando houver necessidade de uma análise qualitativa do problema, devido ao menor tempo computacional necessário. O erro da modelagem DC é devido ao desacoplamento assumido, conforme descrito na seção 3.4.

A tab. 5.6 apresenta alguns resultados da análise DC, onde a equação para o fluxo de potência ativa é obtida segundo a eq. (3.7). Essa modelagem, entretanto, pode resultar em uma análise falsa. Por exemplo, para o fluxo de potência na linha 7-9, a probabilidade de exceder 35 MW na linha 7-9, usando a modelagem DC é de 22.68 %, mas segundo a modelagem AC, essa probabilidade é nula.

- Os resultados referentes aos valores esperados e desvios-padrões obtidos pela formulação apresentada no cap. 2, são iguais aos resultados apresentados na tab. 3.1, considerando o acoplamento entre as partes P θ e QV, para o sistema de 14 barras.
- Os resultados da tab. 5.3 fornecem índices importantes para o planejamento, já que se obtém as probabilidades de se excederem os carregamentos normal e de emergência. Pode-se ver então, com maior clareza, a possibilidade de extrapolação do limite de carregamento.
- Na seção 6.10 é descrito como obter as funções densidade de probabilidade através da simulação de Monte Carlo.

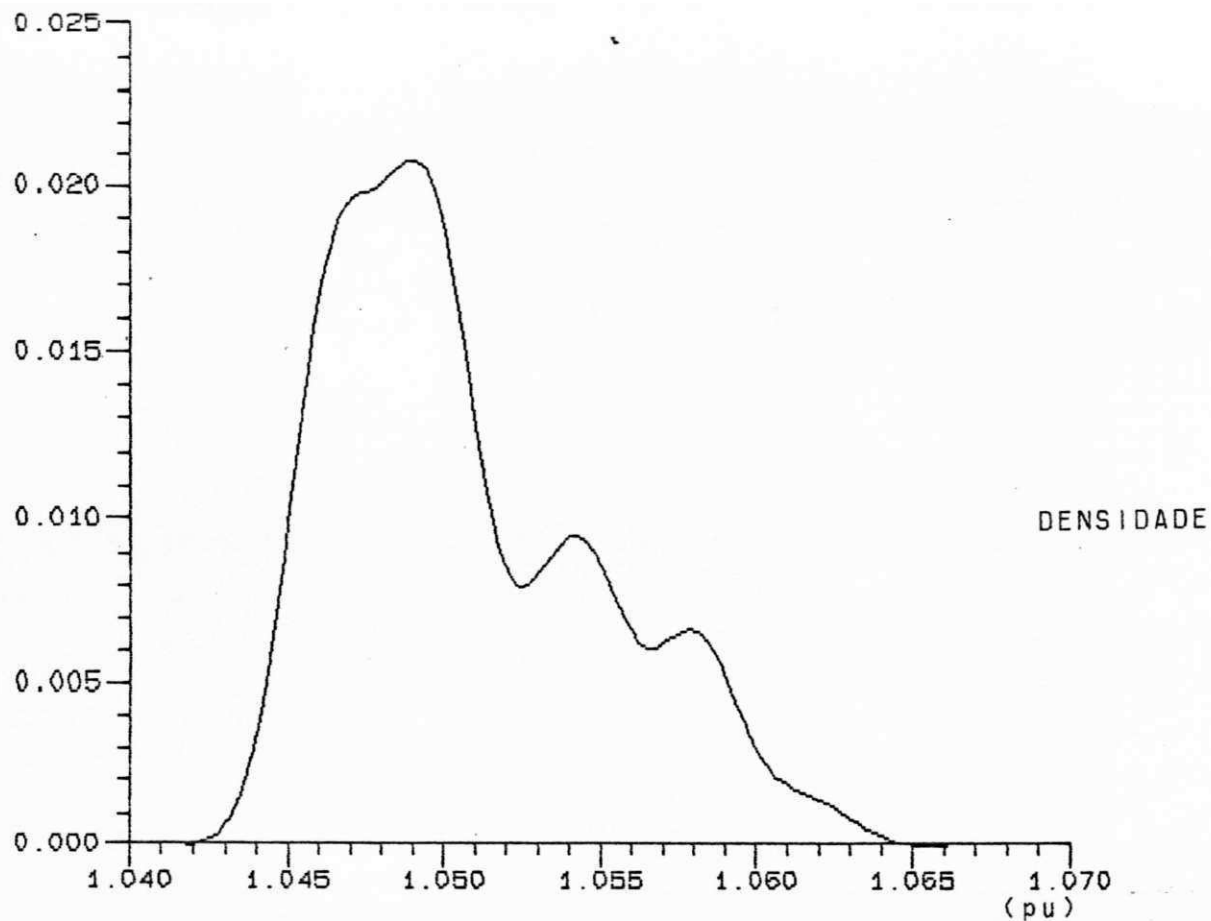


Fig. 5.1 - Magnitude da tensão na barra 10 (14 bar.)

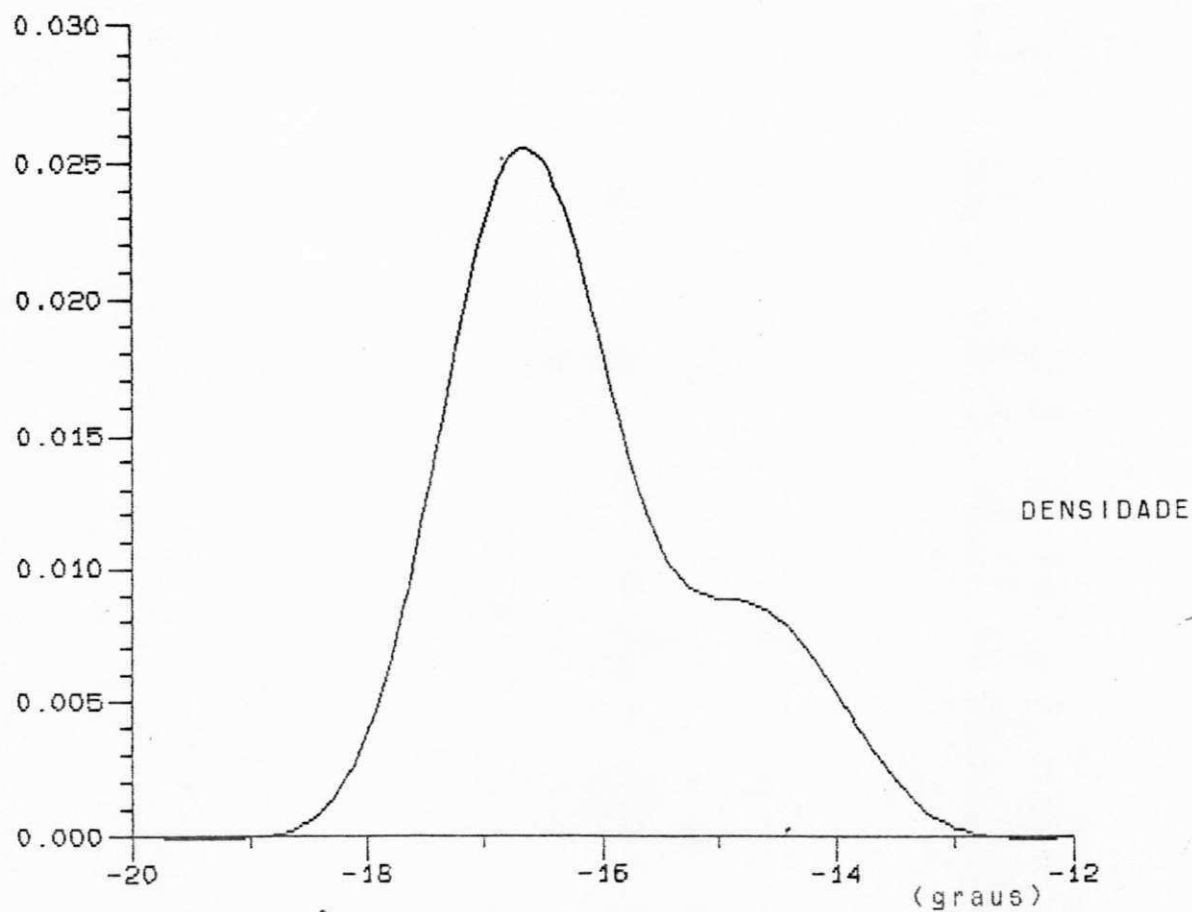


Fig. 5.2 - Ângulo da tensão na barra 10 (14 bar.)

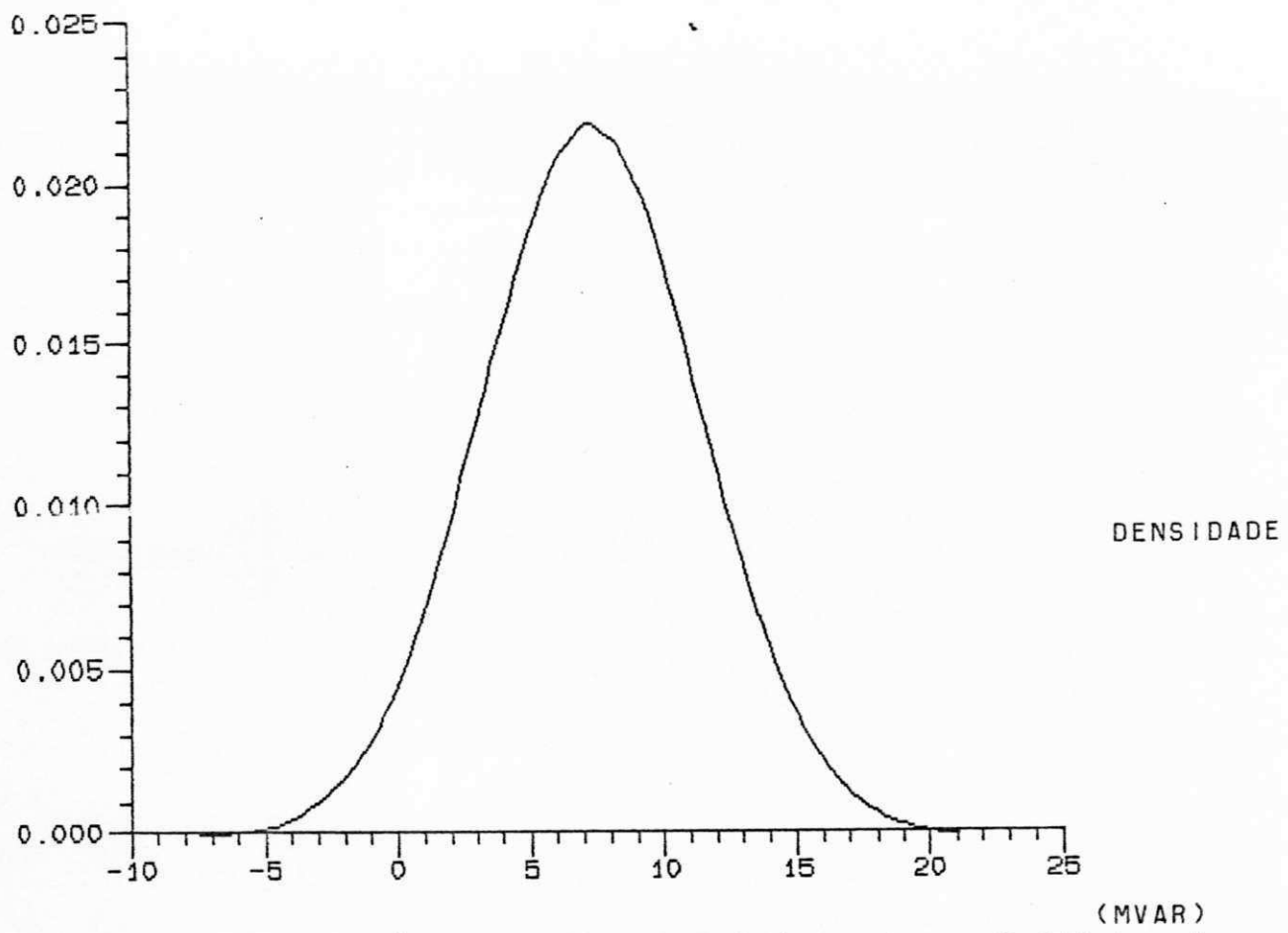


Fig. 5.3 - Potência reativa injetada na barra 3 (14 bar.)

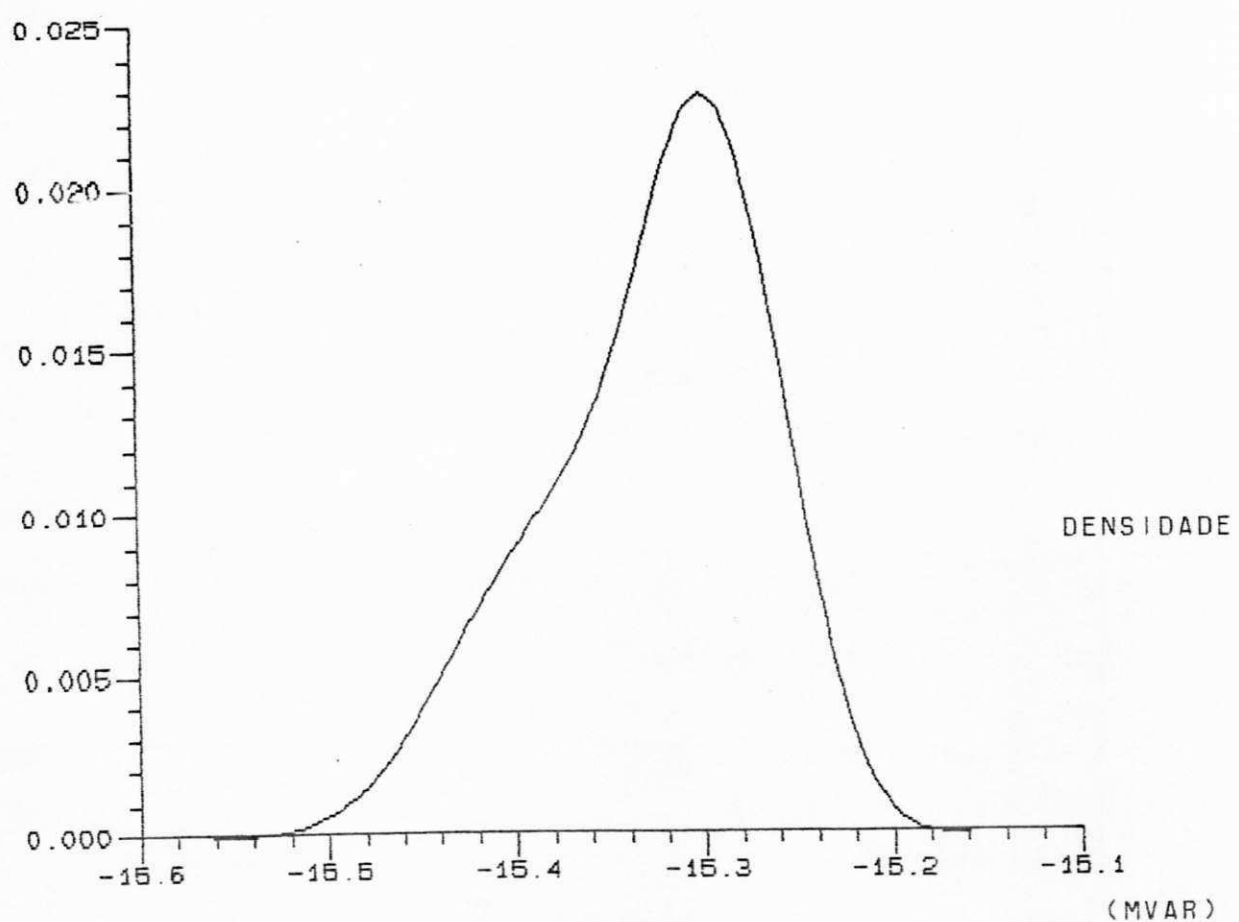


Fig. 5.4 - Potência reativa shunt injetada na barra 4 (14 bar.)

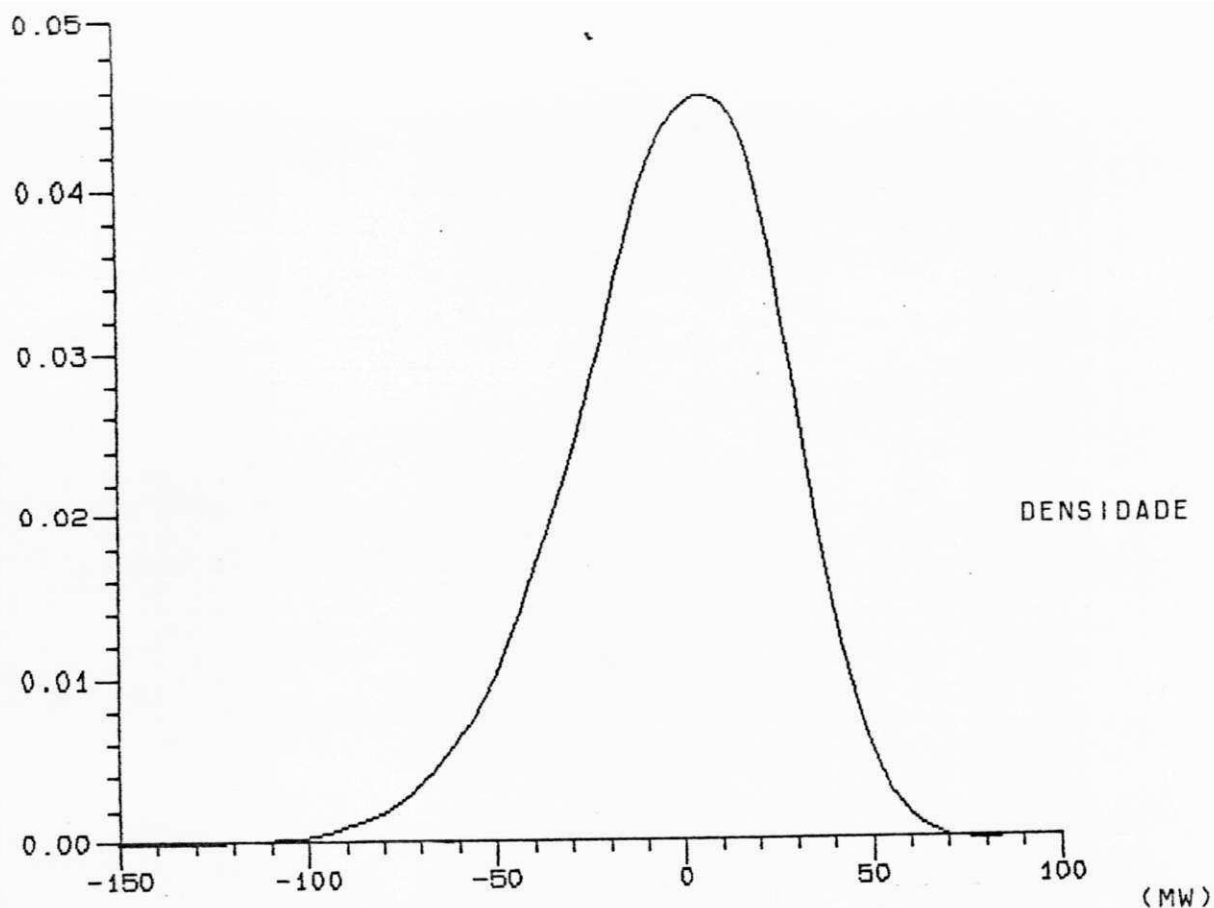


Fig. 5.5 - Balanço de potência ativa na barra de balanço (14 bar.)

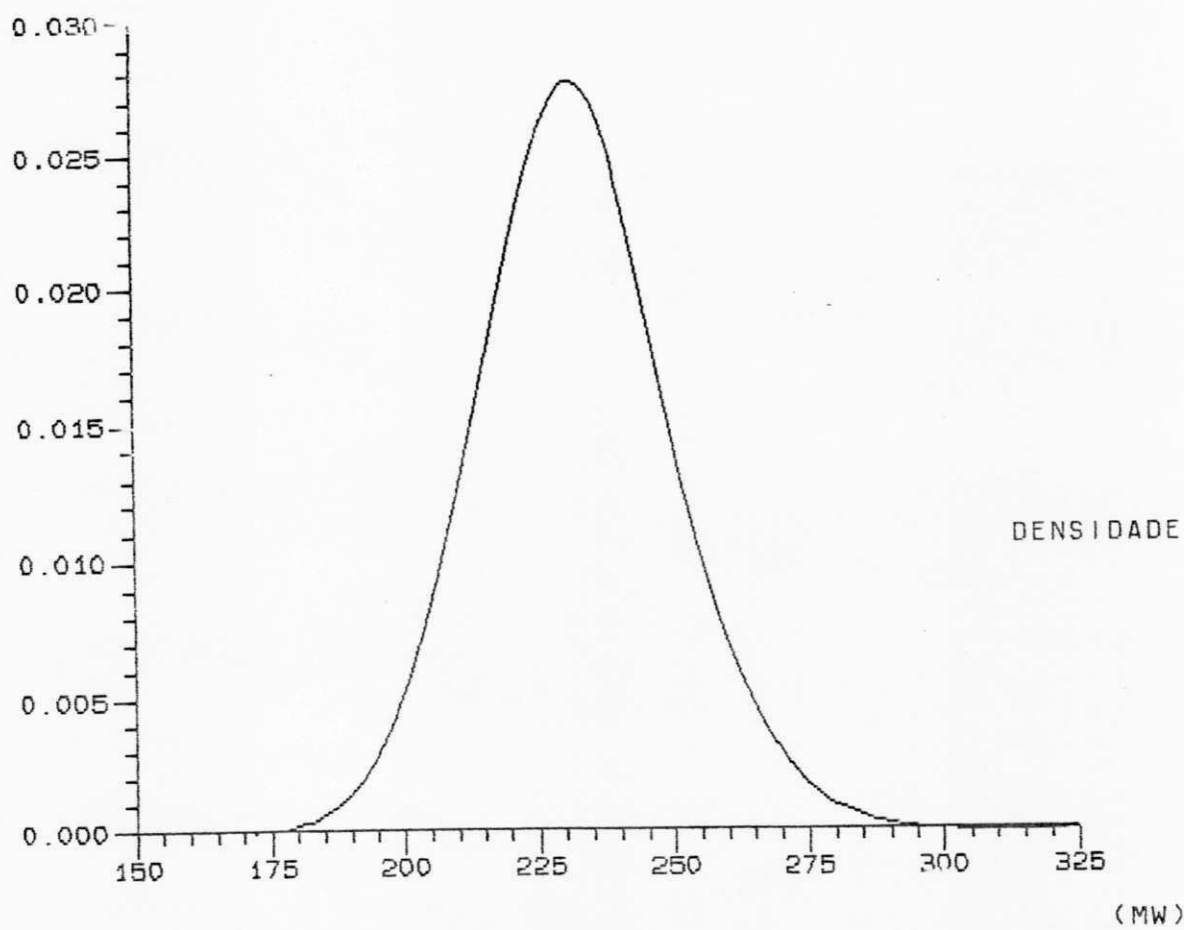


Fig. 5.6 - Potência ativa injetada na barra de balanço (14 bar.)

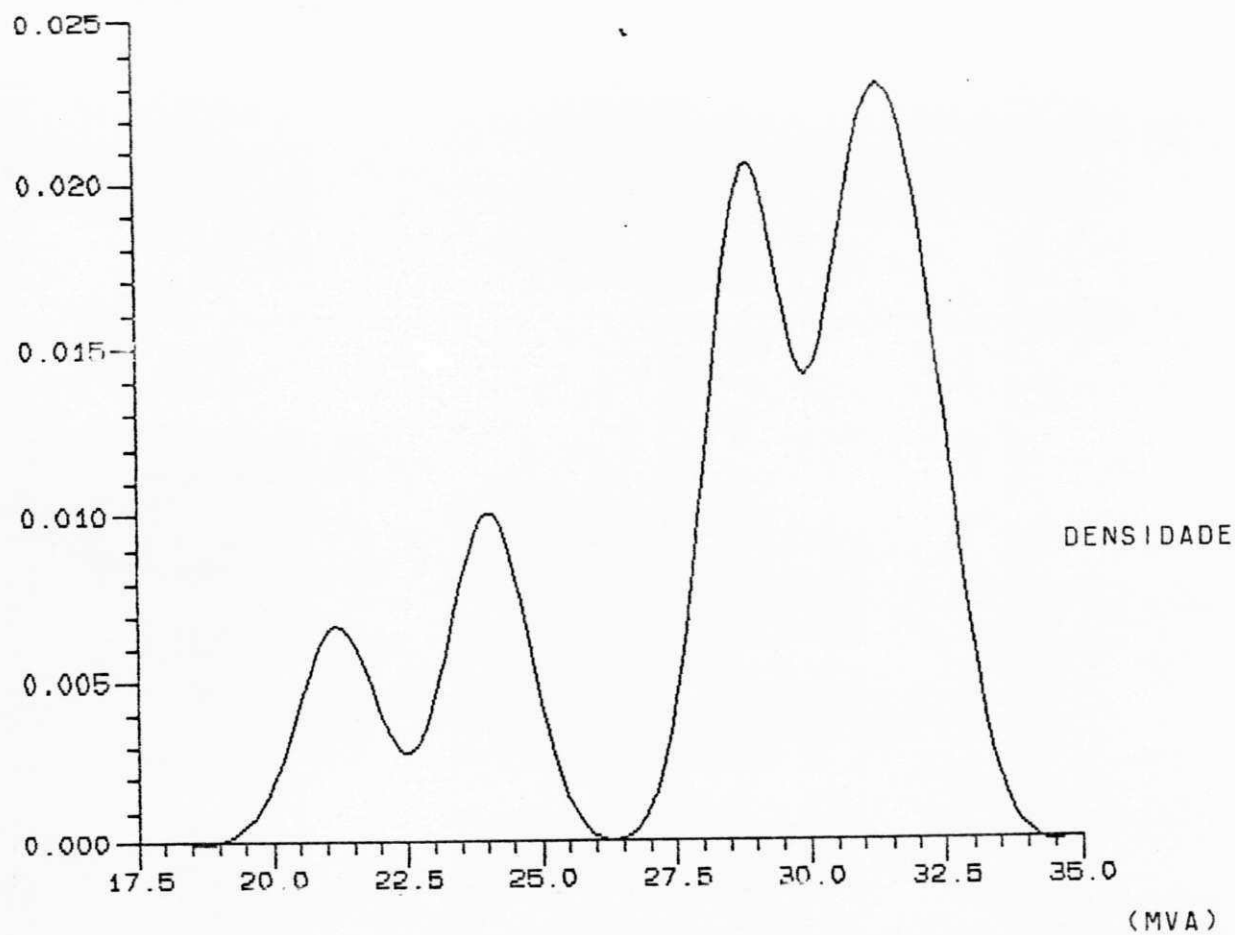


Fig. 5.7 - Fluxo de potência aparente na linha 9 - 7 (14 bar.)

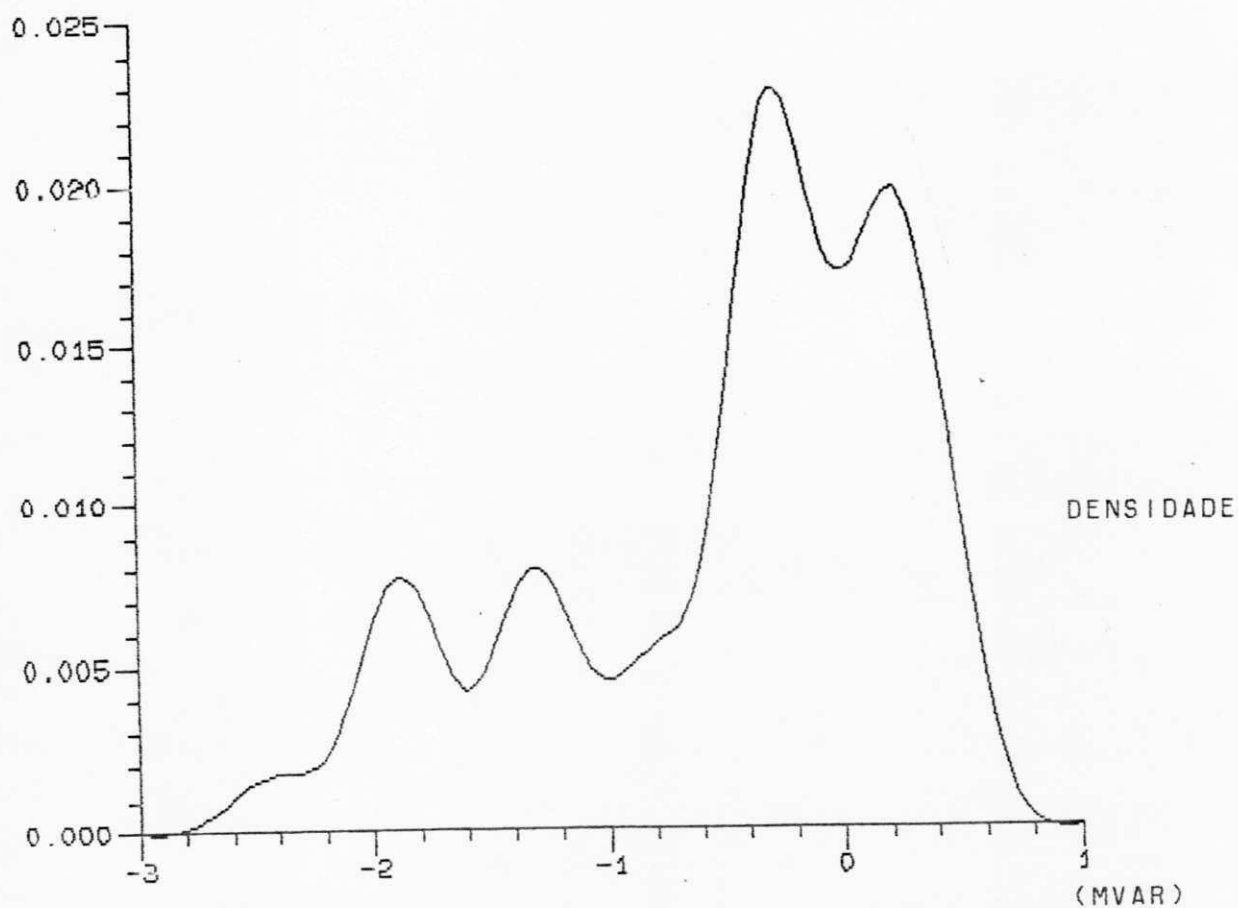


Fig. 5.8 - Fluxo de potência reativa na linha 4-9 (14 bar.)

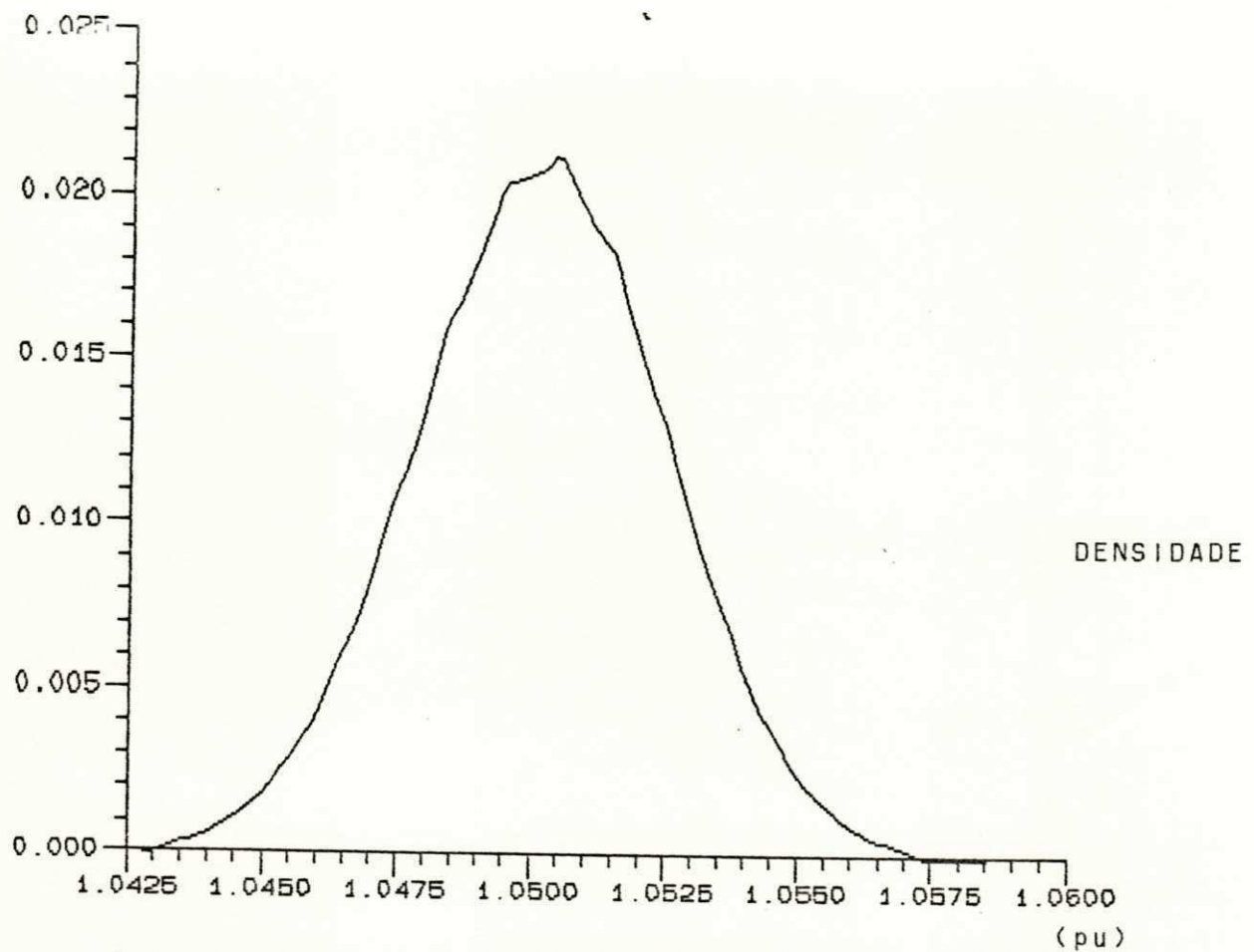


Fig. 5.13 - Magnitude da tensão na barra 28 (39 bar.)

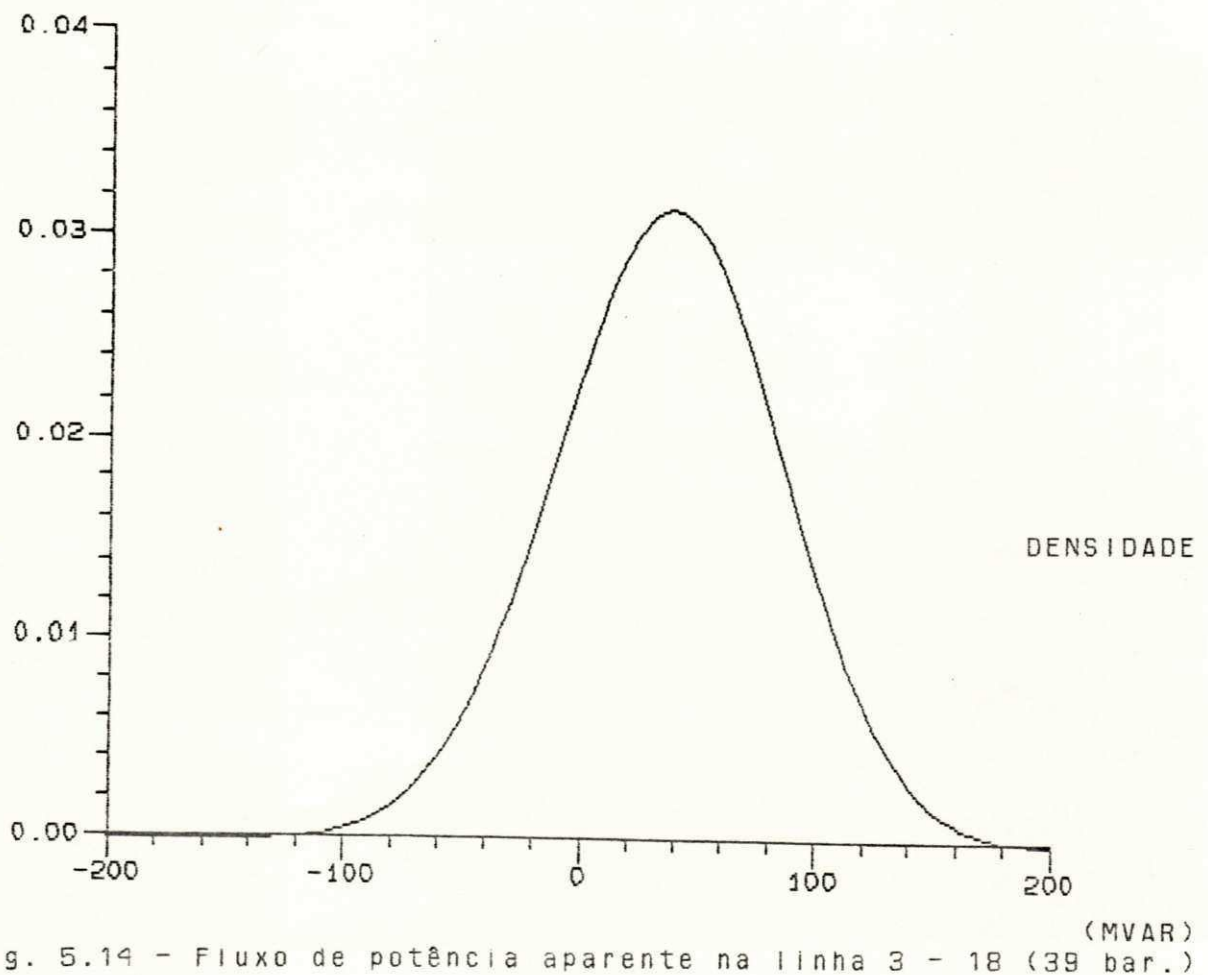


Fig. 5.14 - Fluxo de potência aparente na linha 3 - 18 (39 bar.)

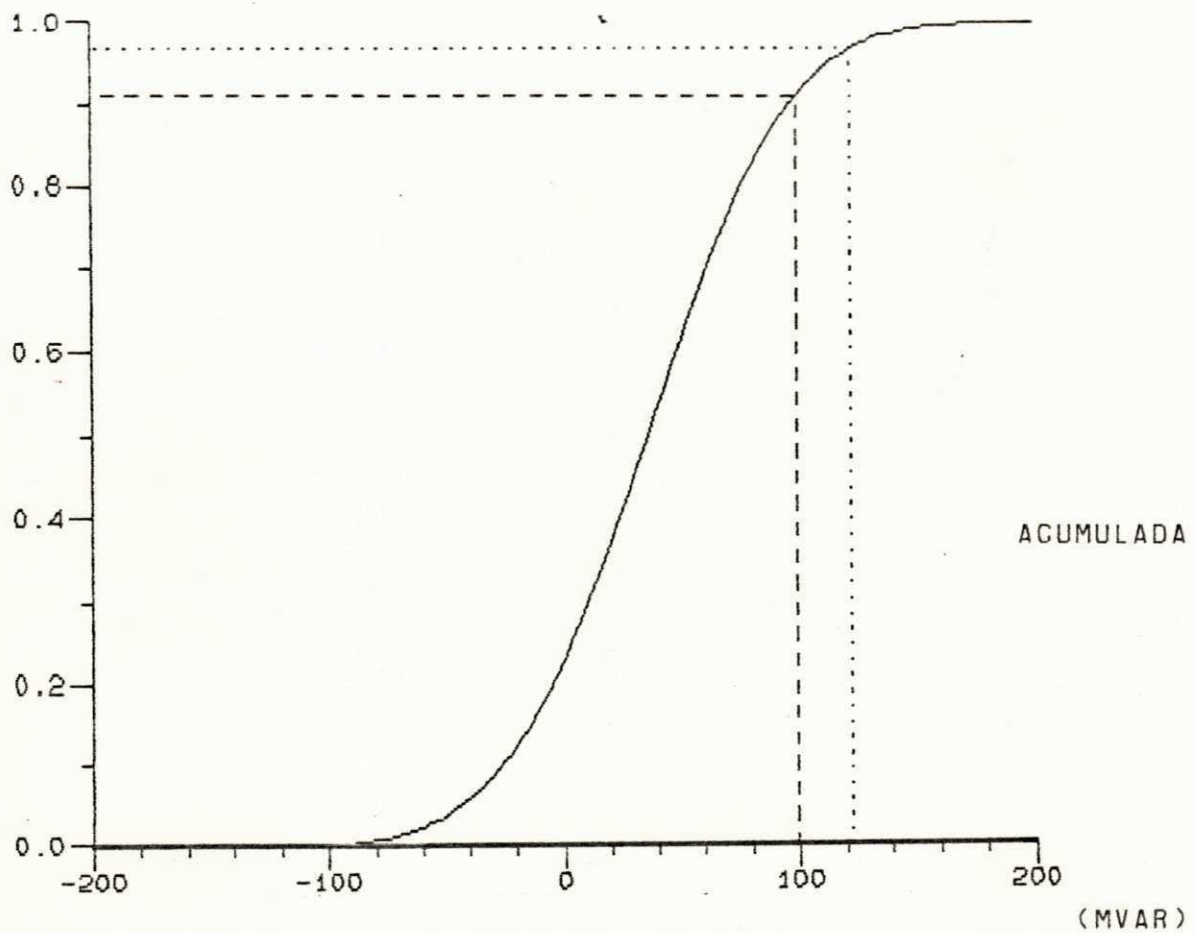


Fig. 5.15 - Fluxo de potência aparente na linha 3 - 18 (39 bar.)

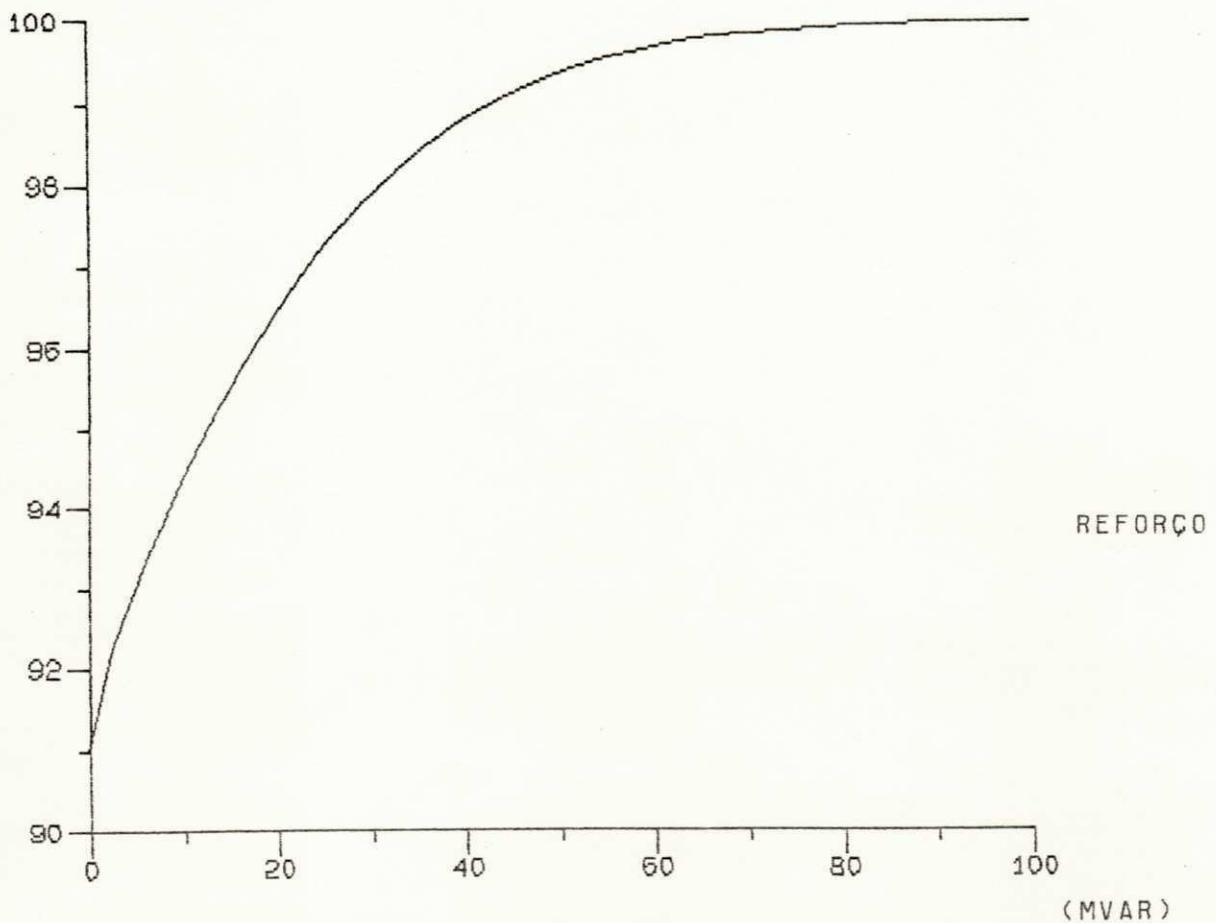


Fig. 5.16 - Reforço necessário (MVA) vs segurança (39 bar.)

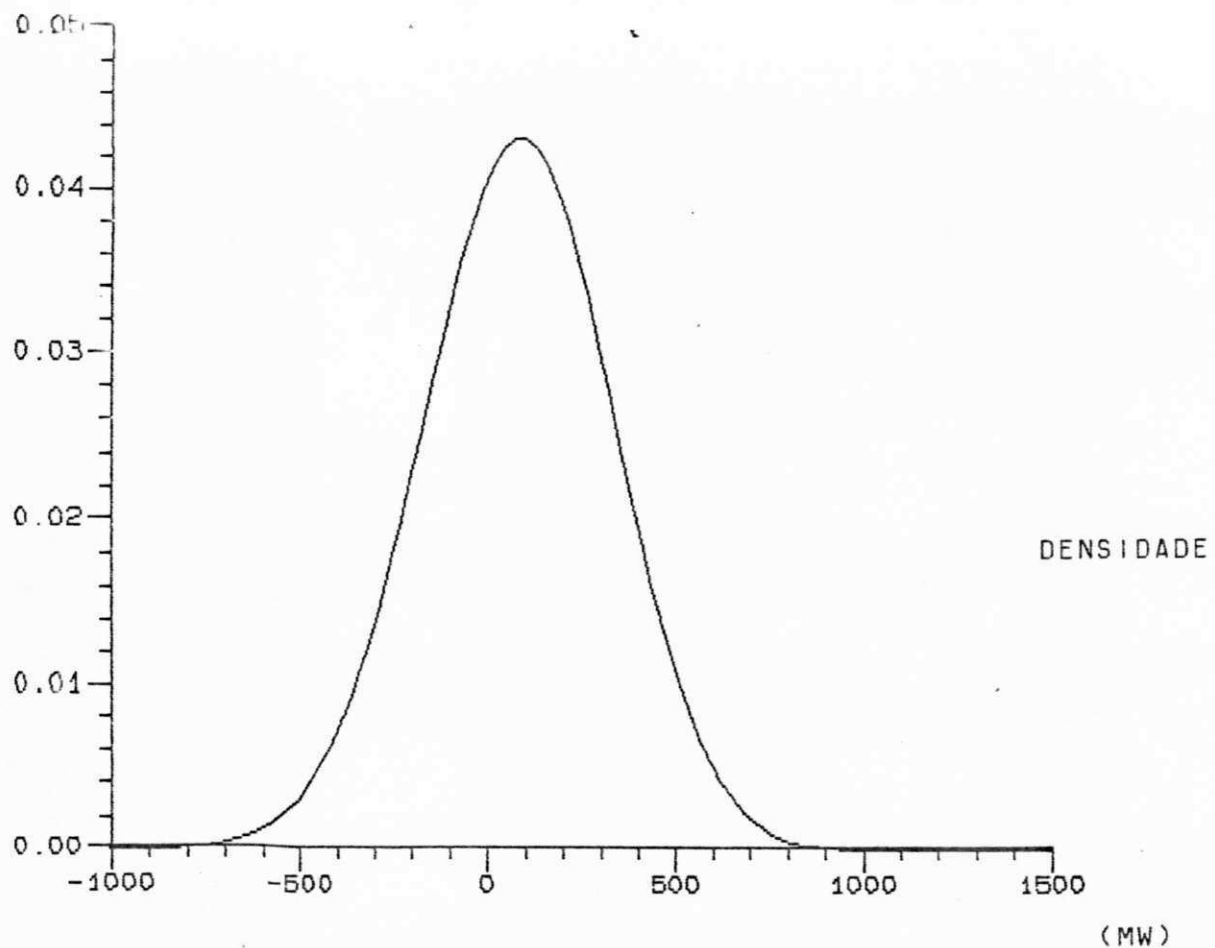


Fig. 5.17 - Balanço de potência na barra de balanço (39 bar.)

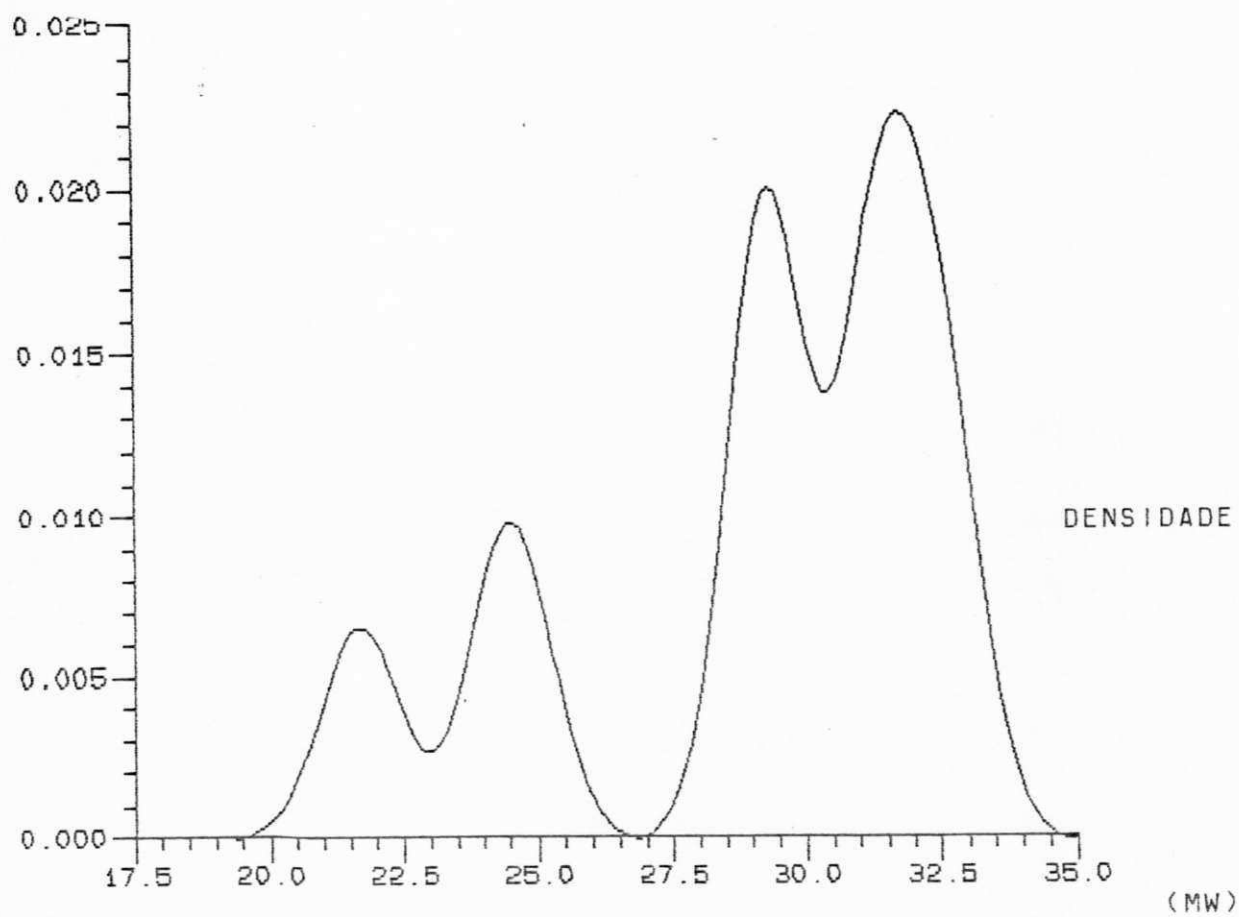


Fig. 5.18 - Fluxo de pot. at. na linha 7-9 (model. DC) (39 bar.)

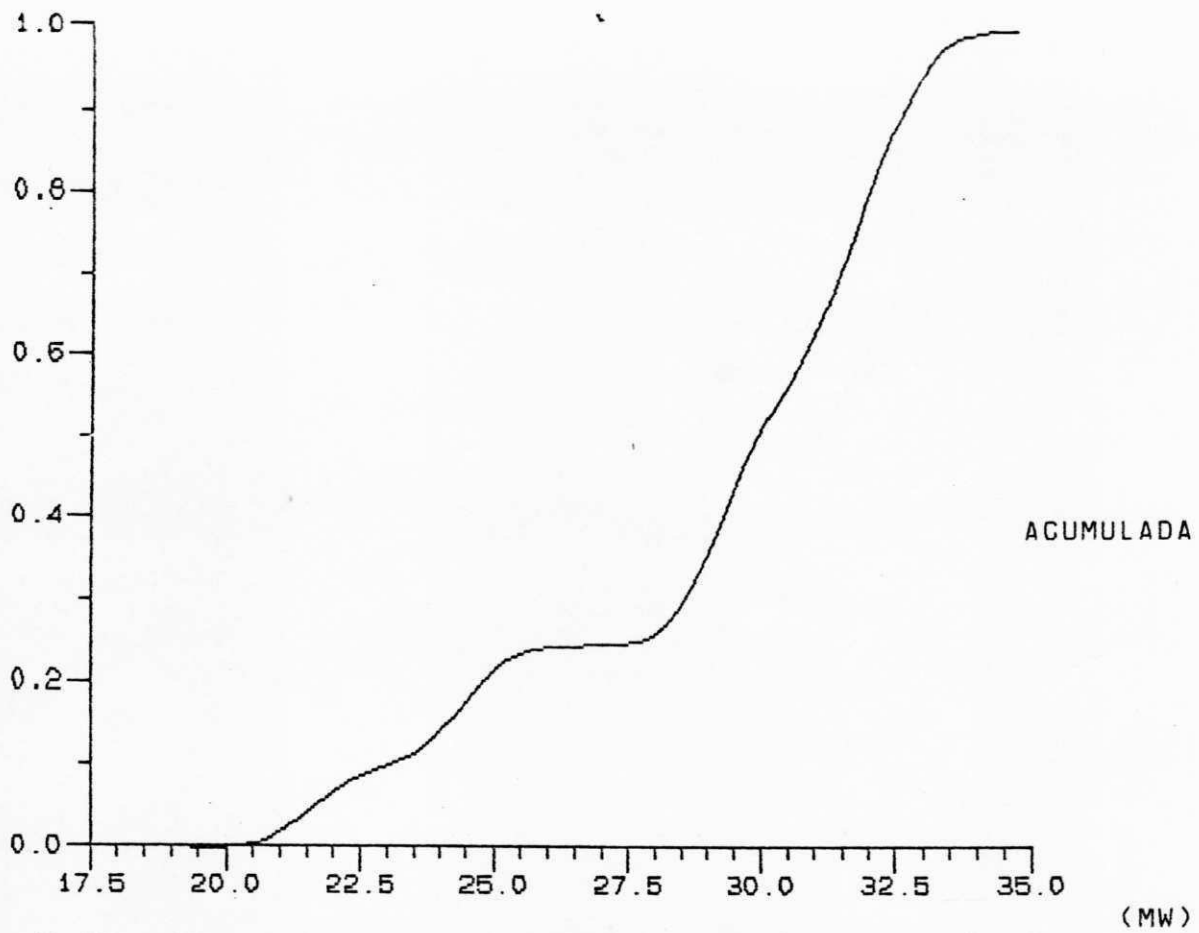


Fig. 5.19 - Fluxo de pot. at. na linha 7-9 (model. DC) (39 bar.) (MW)

imp.	potência	prob.	pr. ac.	imp.	potência	prob.	pr. ac.	imp.	potência	prob.	pr. ac.
1	0.0000	0.00000	0.00000	2	0.0000	0.00000	0.00000	3	0.0000	0.00000	0.00000
4	-240.5752	0.00000	0.00000	5	-236.8046	0.00000	0.00000	6	-233.0340	0.00000	0.00000
7	-229.2634	0.00000	0.00000	8	-225.4928	0.00000	0.00000	9	-221.7222	0.00000	0.00000
10	-217.9516	0.00000	0.00000	11	-214.1810	0.00000	0.00000	12	-210.4104	0.00000	0.00000
13	-206.6398	0.00000	0.00000	14	-202.8692	0.00000	0.00000	15	-199.0986	0.00000	0.00000
16	-195.3280	0.00000	0.00000	17	-191.5574	0.00000	0.00000	18	-187.7868	0.00000	0.00000
19	-184.0162	0.00000	0.00000	20	-180.2456	0.00000	0.00000	21	-176.4749	0.00000	0.00000
22	-172.7043	0.00000	0.00000	23	-168.9337	0.00000	0.00000	24	-165.1631	0.00000	0.00001
25	-161.3925	0.00000	0.00001	26	-157.6219	0.00000	0.00001	27	-153.8513	0.00001	0.00002
28	-150.0807	0.00001	0.00003	29	-146.3102	0.00001	0.00004	30	-142.5395	0.00002	0.00006
31	-138.7689	0.00003	0.00009	32	-134.9983	0.00004	0.00013	33	-131.2277	0.00005	0.00018
34	-127.4571	0.00007	0.00025	35	-123.6865	0.00010	0.00035	36	-119.9159	0.00013	0.00048
37	-116.1453	0.00017	0.00066	38	-112.3747	0.00022	0.00088	39	-108.6041	0.00029	0.00117
40	-104.8335	0.00038	0.00155	41	-101.0629	0.00049	0.00204	42	-97.2923	0.00061	0.00265
43	-93.5217	0.00076	0.00341	44	-89.7511	0.00095	0.00436	45	-85.9805	0.00118	0.00554
46	-82.2099	0.00144	0.0078	47	-78.4393	0.00175	0.00873	48	-74.6687	0.00210	0.01082
49	-70.8981	0.00251	0.0143	50	-67.1275	0.00279	0.01632	51	-63.3569	0.00353	0.01985
52	-59.5863	0.00414	0.0279	53	-55.8157	0.00481	0.02881	54	-52.0451	0.00557	0.03438
55	-48.2745	0.00641	0.04079	56	-44.5039	0.00733	0.04812	57	-40.7333	0.00834	0.05646
58	-36.9627	0.00941	0.06587	59	-33.1921	0.01057	0.07644	60	-29.4215	0.01181	0.08825
61	-25.6509	0.01311	0.10137	62	-21.8803	0.01448	0.11584	63	-18.1097	0.01588	0.13173
64	-14.3391	0.01733	0.14906	65	-10.5685	0.01880	0.16786	66	-6.7979	0.02028	0.18814
67	-3.0273	0.02175	0.20988	68	0.7433	0.02318	0.23306	69	4.5139	0.02455	0.25761
70	8.2845	0.02586	0.28347	71	12.0551	0.02707	0.31054	72	15.8257	0.02819	0.33873
73	19.5963	0.02916	0.36789	74	23.3669	0.02998	0.39786	75	27.1375	0.03063	0.42849
76	30.9081	0.03111	0.45960	77	34.6787	0.03142	0.49103	78	38.4493	0.03153	0.52256
79	42.2199	0.03144	0.55399	80	45.9905	0.03114	0.58513	81	49.7611	0.03066	0.61580
82	53.5317	0.03001	0.64581	83	57.3023	0.02919	0.67500	84	61.0729	0.02820	0.70321
85	64.8435	0.02707	0.73028	86	68.6141	0.02582	0.75609	87	72.3847	0.02447	0.78056
88	76.1553	0.02305	0.80361	89	79.9259	0.02156	0.82517	90	83.6965	0.02004	0.84521
91	87.4671	0.01850	0.86371	92	91.2377	0.01696	0.88067	93	95.0083	0.01546	0.89613
94	98.7789	0.01400	0.91013	95	102.5495	0.01258	0.92271	96	106.3201	0.01123	0.93395
97	110.0907	0.00996	0.94391	98	113.8613	0.00878	0.95269	99	117.6319	0.00768	0.96037
100	121.4025	0.00667	0.96703	101	125.1731	0.00575	0.97278	102	128.9437	0.00492	0.97770
103	132.7143	0.00418	0.98189	104	136.4849	0.00353	0.98541	105	140.2555	0.00295	0.98836
106	144.0261	0.00244	0.99080	107	147.7967	0.00201	0.99281	108	151.5673	0.00164	0.99445
109	155.3379	0.00132	0.99578	110	159.1086	0.00105	0.99683	111	162.8792	0.00082	0.99765
112	166.6497	0.00064	0.99830	113	170.4203	0.00050	0.99879	114	174.1909	0.00038	0.99917
115	177.9615	0.00027	0.99944	116	181.7321	0.00019	0.99964	117	185.5027	0.00013	0.99977
118	189.2734	0.00009	0.99986	119	193.0440	0.00006	0.99992	120	196.8146	0.00004	0.99996
121	200.5852	0.00002	0.99998	122	204.3558	0.00001	0.99999	123	208.1264	0.00000	0.99999
124	211.8970	0.00000	0.99999	125	215.6676	0.00000	1.00000	126	219.4382	0.00000	1.00000
127	223.2088	0.00000	1.00000	128	226.9794	0.00000	1.00000				

tab. 5.1 - Resultados do processo de convolução - 5 3 - 18

RESULTADOS DO FLUXO DE CARGA PARA A AREA 1

RESULTADOS DE BARRA										RESULTADOS DE FLUXOS NAS LINHAS					
BARRA NUM.	TENSÃO(MODULO PU VESP DPAD	ANGULO) GRAUS VESP DPAD		REAT. INJ. HVAR VESP DPAD		REAT. SHUNT HVAR VESP DPAD		PARA BARRA NUM. NOME		ATIVO (KW) VESP DPAD		REAT. (MVAR) VESP DPAD		APAR. (MVA) VESP DPAD	
		1 BARRA1	1.0600 0.0000	0.00 0.00	-7.37 1.72	6.2 0.00			2 BARRA2	88.89 3.4	-8.52 1.3	89.29 3.3			
							3 BARRA3	40.72 1.3	1.15 0.5	40.74 1.3					
2 BARRA2	1.0474 0.0011	-2.81 0.10			9.3 0.02		1 BARRA1	-87.47 3.3	6.09 1.2	87.69 3.3					
							3 BARRA3	24.68 0.8	3.51 0.3	24.93 0.8					
							4 BARRA4	27.92 0.8	2.92 0.2	28.08 0.9					
							5 BARRA5	54.82 2.2	7.34 0.5	55.31 2.2					
3 BARRA3	1.0242 0.0016	-5.00 0.16			5.8 0.02		1 BARRA1	-39.53 1.3	-3.00 0.4	39.64 1.3					
							2 BARRA2	-24.33 0.8	-6.75 0.2	25.25 0.8					
							4 BARRA4	18.87 1.5	-5.23 0.3	19.58 1.5					
4 BARRA4	1.0236 0.0017	-5.33 0.17			5.8 0.02		2 BARRA2	-27.48 0.8	-5.89 0.2	28.11 0.8					
							3 BARRA3	-18.83 1.5	3.24 0.3	19.11 1.5					
							5 BARRA5	6.34 1.0	-2.26 0.2	6.73 0.9					
5 BARRA5	1.0179 0.0021	-6.15 0.21			4.1 0.02		2 BARRA2	-53.69 2.1	-7.17 0.4	54.17 2.1					
							4 BARRA4	-6.31 1.0	-2.86 0.2	6.93 0.9					

Tab. 5.2 - Resultados referentes ao sistema de 5 barras

RESULTADOS DO FLUXO DE CARGA PARA A AREA 1

RESULTADOS DE BARRA								RESULTADOS DE FLUXOS NAS LINHAS							
BARRA NUN.	TENSÃO (MÓDULO PU)	ÂNGULO (GRAUS)		REAT. INJ. KVAR		REAT. SHUNT* KVAR		PARA BARRA NUN.	NOME	ATIVO (KW)		REAT. (KVAR)		APAR. (KVA)	
		VESP	DPAD	VESP	DPAD	VESP	DPAD			VESP	DPAD	VESP	DPAD	VESP	DPAD
1 BARRA1	1.0600	0.0000	0.00	0.00	-13.38	3.11	3.0	0.00	2 BARRA2	154.90	12.7	-10.90	3.1	157.94	13.71
									5 BARRA5	75.43	4.8	5.52	0.5	75.63	4.81
2 BARRA2	1.0450	0.0000	-4.98	0.44	36.05	5.59	4.6	0.00	1 BARRA1	-152.51	12.7	29.09	5.4	155.26	13.41
									3 BARRA3	73.31	5.8	4.75	0.6	73.46	5.71
									4 BARRA4	56.20	3.3	-0.40	0.7	56.20	3.31
									5 BARRA5	41.52	2.4	2.61	0.5	41.60	2.41
3 BARRA3	1.0100	0.0000	-12.73	1.00	7.31	4.12	2.0	0.00	2 BARRA2	-70.98	5.4	2.74	2.1	71.03	5.51
									4 BARRA4	-23.23	4.5	4.56	2.1	23.67	4.71
4 BARRA4	1.0171	0.0020	-10.31	0.69			-15.3	0.06	2 BARRA2	-54.52	3.1	3.51	0.7	54.63	3.21
									3 BARRA3	23.60	4.6	-5.38	1.8	24.21	4.81
									5 BARRA5	-61.33	4.5	16.15	1.4	63.42	4.61
									7 BARRA7	20.00	3.6	-9.86	0.9	29.76	3.41
									9 BARRA9	16.00	2.0	-0.49	0.8	16.09	2.01
5 BARRA5	1.0187	0.0016	-8.76	0.58			-29.7	0.10	1 BARRA1	-72.67	4.4	3.02	1.3	72.73	4.51
									2 BARRA2	-40.61	2.3	-1.66	0.4	40.65	2.31
									4 BARRA4	61.85	4.6	-15.17	1.3	63.68	4.61
									6 BARRA6	44.16	2.7	12.09	0.6	45.78	2.51
6 BARRA6	1.0700	0.0000	-14.22	0.85	5.75	2.19	33.1	0.00	5 BARRA5	-14.16	2.7	-7.67	1.0	44.82	2.51
									11 BARRA11	7.38	1.5	3.61	1.0	8.21	1.41
									12 BARRA12	7.76	0.4	2.51	0.2	8.15	0.41
									13 BARRA13	17.71	1.2	7.30	0.7	19.16	1.21
7 BARRA7	1.0613	0.0029	-13.36	0.98			12.1	0.07	4 BARRA4	-28.08	3.6	11.57	0.9	30.37	3.41
									8 BARRA8	0.00	0.0	-17.29	1.7	17.29	1.71
									9 BARRA9	28.00	3.6	5.79	2.3	28.67	3.61
8 BARRA8	1.0700	0.0000	-13.36	0.98	17.76	1.77	0.0	0.00	7 BARRA7	0.00	0.0	17.76	1.8	17.76	1.81
									4 BARRA4	-16.00	2.0	1.00	0.8	16.18	2.01
									7 BARRA7	-28.00	3.6	-4.99	2.3	28.52	3.61
									10 BARRA10	5.03	1.6	4.23	1.1	6.57	1.31
									14 BARRA14	9.38	1.3	3.59	0.7	10.04	1.21
9 BARRA9	1.0557	0.0052	-14.94	1.15			27.6	0.27							
10 BARRA10	1.0500	0.0044	-15.09	1.10			0.0	0.00							

Tab. 5.3 - Resultados referentes ao sistema de 14 barras

RESULTADOS DO FLUXO DE CARGA PARA A AREA 1

RESULTADOS DE BARRA										RESULTADOS DE FLUXOS NAS LINHAS					
BARRA NUM.	TENSÃO(MODULO PU VESP DPAD	ANGULO) GRAUS VESP DPAD	REAT. INJ. KVAR		REAT. SHUNT KVAR		PARA BARRA NUM.		NOME	ATIVO (MW)		REAT. (MVAR)		APAR. (MVA)	
			VESP	DPAD	VESP	DPAD	VESP	DPAD		VESP	DPAD	VESP	DPAD	VESP	DPAD
								9	BARRA9	-5.02	1.6	-4.20	1.1	6.54	1.3
								11	BARRA11	-3.74	1.4	-1.68	1.0	4.10	1.4
11	1.0560	0.0023	-14.79	0.97											
								6	BARRA6	-7.32	1.5	-3.49	1.0	8.11	1.4
								10	BARRA10	3.76	1.5	1.70	1.0	4.12	1.4
12	1.0552	0.0007	-15.07	0.88											
								6	BARRA6	-7.68	0.4	-2.36	0.2	8.04	0.4
								13	BARRA13	1.64	0.4	0.78	0.2	1.81	0.3
13	1.0503	0.0012	-15.15	0.91											
								6	BARRA6	-17.50	1.2	-6.88	0.7	18.80	1.2
								12	BARRA12	-1.63	0.4	-0.77	0.2	1.80	0.3
								14	BARRA14	5.66	1.1	1.75	0.7	5.93	1.1
14	1.0354	0.0037	-16.03	1.06											
								9	BARRA9	-9.26	1.2	-3.35	0.7	9.85	1.2
								13	BARRA13	-5.61	1.1	-1.64	0.7	5.84	1.0

FLUXO DE CARGA AC PROBABILISTICO - IEEE 14 BARRAS

PAGINA 4

BALANÇO DE POTENCIA NA BARRA DE BALANÇO

* POTENCIA INJETADA * POTENCIA DISPONIVEL * BALANÇO DE POTENCIA

VALOR ESPERADO *	232.233	*	230.000	*	-2.233
DESVIO PADRAO *	17.954	*	21.448	*	27.971

SUMARIO DOS CARREGAMENTOS NAS LINHAS

PROBABILIDADE DE EXCEDER CARREGAMENTO NORMAL E DE EMERGENCIA (%)

DA BARRA		PARA BARRA		* * NORMAL		EMERG.		DA BARRA		PARA BARRA		* * NORMAL		EMERG.	
NUM.	NOME	NUM.	NOME			NUM.	NOME	NUM.	NOME	NUM.	NOME			NUM.	NOME
1	BARRA1	2	BARRA2	18.89	5.33NE*	1	BARRA1	5	BARRA5	18.08	0.00N				
2	BARRA2	3	BARRA3	12.59	0.00N *	2	BARRA2	4	BARRA4	12.70	0.00N				
2	BARRA2	5	BARRA5	0.03	0.00 *	3	BARRA3	4	BARRA4	0.05	0.00				
4	BARRA4	5	BARRA5	8.68	0.02N *	4	BARRA4	7	BARRA7	0.25	0.00				
4	BARRA4	9	BARRA9	3.07	0.01 *	5	BARRA5	6	BARRA6	0.01	0.00				
6	BARRA6	11	BARRA11	10.05	0.03N *	6	BARRA6	12	BARRA12	0.00	0.00				
6	BARRA6	13	BARRA13	24.26	0.93N *	7	BARRA7	8	BARRA8	10.24	0.00N				
7	BARRA7	9	BARRA9	35.73	17.97NE*	9	BARRA9	10	BARRA10	14.53	0.56N				
9	BARRA9	14	BARRA14	0.00	0.00 *	10	BARRA10	11	BARRA11	26.13	0.54NE				
12	BARRA12	13	BARRA13	0.00	0.00 *	13	BARRA13	14	BARRA14	0.01	0.00				

RESULTADOS DO FLUXO DE CARGA PARA A AREA 1

RESULTADOS DE BARRA								RESULTADOS DE FLUXOS NAS LINHAS							
BARRA NUN.	TENSÃO(MODULO PU)	ANGULO) GRAUS		REAT. INJ. MVAR		REAT. SHUNT* MVAR		PARA BARRA NOME	ATIVO (KW)	REAT. (MVAR)		APAR. (MVA)			
		VESP	DPAD	VESP	DPAD	VESP	DPAD			VESP	DPAD	VESP	DPAD		
1 BARRA1	1.0475	0.0014	-9.58	5.59			79.5	0.22							
									2 BARRA2	-118.62	45.9	-29.13	6.5	122.15	43.21
									39 BARRA39	118.79	45.9	28.99	6.5	122.27	43.21
2 BARRA2	1.0489	0.0021	-7.02	5.75			205.3	0.83							
									1 BARRA1	119.07	46.2	-42.33	3.1	126.37	44.11
									3 BARRA3	365.00	63.5	91.79	9.3	376.37	60.21
									25 BARRA25	-233.70	64.2	80.94	20.4	247.32	67.31
									30 BARRA30	-250.06	55.9	-131.44	11.8	282.50	40.41
3 BARRA3	1.0304	0.0021	-9.87	5.42			36.8	0.15							
									2 BARRA2	-363.30	62.9	-99.76	13.8	376.74	57.61
									4 BARRA4	74.56	83.9	112.84	14.7	135.24	36.11
									18 BARRA18	-33.81	55.8	-15.46	8.9	37.17	47.81
4 BARRA4	1.0038	0.0031	-10.66	4.50			24.9	0.16							
									3 BARRA3	-74.30	83.8	-131.52	16.1	151.05	29.11
									5 BARRA5	-162.16	104.6	-4.37	16.7	162.21	104.11
									14 BARRA14	-262.18	29.9	-47.89	6.7	266.52	28.91
5 BARRA5	1.0050	0.0032	-9.48	3.76			16.4	0.11							
									4 BARRA4	162.36	104.8	-5.83	13.1	162.47	105.11
									6 BARRA6	-486.21	117.2	-50.71	12.6	488.85	115.41
									8 BARRA8	316.55	29.9	58.83	5.9	321.97	29.41
6 BARRA6	1.0073	0.0032	-8.77	3.58			263.1	1.65							
									5 BARRA5	486.68	117.4	52.46	10.1	489.50	115.81
									7 BARRA7	427.13	42.2	91.68	6.5	436.86	41.31
									11 BARRA11	-343.32	83.7	-36.95	20.0	345.31	81.21
									31 BARRA31	-563.80	227.2	-109.64	29.0	574.36	217.71
7 BARRA7	0.9966	0.0035	-10.98	3.78			9.5	0.07							
									6 BARRA6	-426.00	42.0	-85.62	7.2	434.52	40.51
									8 BARRA8	188.59	40.1	0.05	6.8	188.59	40.11
8 BARRA8	0.9957	0.0035	-11.48	3.87			30.0	0.21							
									5 BARRA5	-315.72	29.8	-62.00	6.2	321.75	28.81
									7 BARRA7	-188.45	40.1	-6.14	7.2	188.55	39.91
									9 BARRA9	-13.94	60.0	-106.83	7.8	107.74	4.51
9 BARRA9	1.0281	0.0015	-11.31	4.87			83.5	0.25							
									8 BARRA8	14.13	60.0	70.78	8.1	72.17	7.11
									39 BARRA39	-14.34	60.0	-70.64	8.1	72.08	7.31
10 BARRA10	1.0170	0.0022	-6.39	4.11			323.7	1.42							
									11 BARRA11	345.66	78.4	72.90	13.1	353.26	74.21
									13 BARRA13	-2576.30	66.0	445.41	9.6	2614.52	66.41
									32 BARRA32	-650.22	61.1	-109.61	11.3	659.39	59.21
11 BARRA11	1.0125	0.0025	-7.20	3.94			-3.2	0.02							

Tab. 5.4 - Resultados referentes ao sistema de 39 barras

RESULTADOS DO FLUXO DE CARGA PARA A AREA 1

RESULTADOS DE BARRA										RESULTADOS DE FLUXOS NAS LINHAS					
BARRA NUM.	TENSÃO(MODULO P11)	ANGULO)		REAT. INJ.		REAT. SHUNT*		PARA BARRA NUM.	NOME	ATIVO (MW)		REAT. (MVAR)		APAR. (MVA)	
		VESP	DPAD	VESP	DPAD	VESP	DPAD			VESP	DPAD	VESP	DPAD	VESP	DPAD
								6 BARRA6		344.14	84.1	32.38	15.8	345.66	82.4
								10 BARRA10		-345.18	78.2	-75.19	15.1	353.27	73.4
								12 BARRA12		2.39	6.4	42.89	0.8	42.96	0.5
12 BARRA12	1.0000	0.0025	-7.22	4.09					27.2	0.14					
								11 BARRA11		-2.36	6.4	-42.11	0.8	42.17	0.5
								13 BARRA13		-286.95	6.4	-17.77	0.8	287.50	6.4
13 BARRA13	1.0142	0.0025	-0.12	4.23					-1.5	0.01					
								10 BARRA10		2602.75	67.3	-168.60	7.7	2608.20	66.7
								12 BARRA12		288.29	6.5	54.16	0.9	293.34	6.5
								14 BARRA14		1527.61	73.1	-4.43	8.4	1527.62	73.1
14 BARRA14	1.0117	0.0029	-8.77	4.61					34.6	0.20					
								4 BARRA4		262.74	30.0	42.87	6.2	266.21	29.5
								13 BARRA13		-1507.19	71.1	215.89	16.1	1522.58	72.6
								15 BARRA15		32.91	89.9	-40.45	15.9	52.15	68.1
15 BARRA15	1.0158	0.0028	-9.19	5.61					27.7	0.15					
								14 BARRA14		-32.89	89.8	3.16	17.2	33.04	90.9
								16 BARRA16		-286.68	87.7	-156.35	18.9	326.54	69.8
16 BARRA16	1.0323	0.0024	-7.79	6.01					49.7	0.23					
								15 BARRA15		287.58	88.1	147.89	15.9	323.38	73.4
								17 BARRA17		206.63	78.5	-41.29	11.1	210.71	78.8
								19 BARRA19		-451.85	108.8	-54.69	18.5	455.14	106.0
								21 BARRA21		-330.20	54.2	14.50	11.3	330.52	54.5
								24 BARRA24		-42.81	42.8	-97.64	9.7	106.61	14.2
17 BARRA17	1.0340	0.0022	-8.79	5.86					31.4	0.13					
								16 BARRA16		-206.34	78.3	30.63	13.5	208.60	79.2
								18 BARRA18		192.27	56.0	11.98	7.3	192.65	55.5
								27 BARRA27		13.33	47.0	-41.49	9.2	43.57	22.0
18 BARRA18	1.0313	0.0021	-9.63	5.69					18.4	0.08					
								3 BARRA3		33.82	55.9	-7.12	8.5	34.56	56.1
								17 BARRA17		-192.03	55.8	-23.18	8.6	193.42	54.6
19 BARRA19	1.0500	0.0013	-3.16	6.72					915.8	2.33					
								16 BARRA16		454.94	110.3	59.36	7.6	458.79	109.5
								33 BARRA33		-628.26	54.5	-50.38	7.5	630.27	54.1
								20 BARRA20		175.78	95.9	-9.85	6.4	176.05	95.9
20 BARRA20	0.9910	0.0014	-4.58	7.19					-353.7	1.03					
								19 BARRA19		-175.56	95.6	14.21	9.2	176.13	95.9
								34 BARRA34		-505.48	79.6	-116.53	9.7	518.74	75.9
21 BARRA21	1.0321	0.0025	-5.38	6.20					27.2	0.13					
								16 BARRA16		331.02	54.5	-27.74	8.1	332.18	54.6
								22 BARRA22		-603.49	51.1	-87.91	8.1	609.86	49.9
22 BARRA22	1.0500	0.0017	-0.94	6.40					207.8	0.60					

Tab. 5.4 - Continuação

RESULTADOS DO FLUXO DE CARGA PARA A AREA 1

RESULTADOS DE BARRA										RESULTADOS DE FLUXOS NAS LINHAS							
BARRA NUM.	BARRA NOME	TENSAO(MODULO PU)		ANGULO GRAUS		REAT. INJ. MVAR		REAT. SHUNT* MVAR		PARA BARRA *NUM.	NOME	ATIVO (KW)		REAT. (MVAR)		APAR. (MVA)	
		VESP	DPAD	VESP	DPAD	VESP	DPAD	VESP	DPAD			VESP	DPAD	VESP	DPAD	VESP	DPAD
										21	BARRA21	606.27	51.6	108.70	7.8	615.94	51.41
										23	BARRA23	41.16	37.8	42.00	6.6	58.81	23.71
23	BARRA23	1.0450	0.0020	-1.13	6.40					29.8	0.11						
										35	BARRA35	-649.90	65.0	-150.29	9.7	667.05	63.61
										22	BARRA22	-41.14	37.8	-61.87	6.7	74.30	17.71
										24	BARRA24	354.14	35.7	-0.31	4.4	354.14	35.71
24	BARRA24	1.0378	0.0025	-7.67	6.07					23.1	0.11						
										36	BARRA36	-558.46	50.1	-22.52	7.1	558.92	50.01
										16	BARRA16	42.84	42.8	90.94	9.7	100.53	15.31
25	BARRA25	1.0575	0.0012	-5.66	5.95					23	BARRA23	-351.60	35.2	1.40	7.5	351.61	35.21
										151.5	0.34						
										2	BARRA2	237.68	66.4	-92.24	17.7	254.95	68.21
										26	BARRA26	76.00	40.1	-18.11	8.6	78.90	40.51
26	BARRA26	1.0522	0.0020	-6.92	6.10					37	BARRA37	-538.75	73.0	63.37	14.3	542.46	74.11
										141.8	0.54						
										25	BARRA25	-76.63	40.0	-37.24	9.8	85.20	32.61
										27	BARRA27	268.32	46.0	68.11	6.8	276.83	43.51
										28	BARRA28	-141.17	32.1	-21.54	6.4	142.80	30.81
27	BARRA27	1.0379	0.0022	-8.93	5.99					29	BARRA29	-190.17	31.7	-25.34	7.0	191.85	30.51
										30.2	0.13						
										17	BARRA17	-13.32	47.0	7.10	9.4	15.09	45.11
28	BARRA28	1.0502	0.0023	-3.40	6.46					26	BARRA26	-267.32	45.7	-83.04	9.2	280.16	41.31
										56.8	0.25						
										26	BARRA26	141.96	32.4	-55.94	2.5	152.58	30.81
29	BARRA29	1.0500	0.0019	-0.65	6.60					29	BARRA29	-346.48	32.2	28.19	3.1	347.63	32.21
										238.2	0.87						
										26	BARRA26	192.09	32.3	-67.36	1.5	203.56	30.31
										28	BARRA28	348.03	32.5	-38.97	2.8	350.21	32.11
30	BARRA30	1.0475	0.0000	-4.60	5.94	145.24	12.16	-147.9	0.00	38	BARRA38	-825.56	57.4	79.73	4.4	829.40	57.01
										2	BARRA2	250.06	55.9	145.24	12.2	289.18	49.61
31	BARRA31	0.9820	0.0000	0.00	0.00	202.70	43.02	-252.3	0.00	6	BARRA6	563.80	227.2	202.70	43.8	599.13	220.41
32	BARRA32	0.9831	0.0000	1.61	4.40	205.87	14.81	-316.1	0.00	10	BARRA10	650.22	61.1	205.87	14.8	682.03	61.61
33	BARRA33	0.9972	0.0000	2.05	6.88	100.96	10.26	-457.0	0.00	19	BARRA19	631.14	55.0	100.96	10.3	640.48	55.41
34	BARRA34	1.0123	0.0000	0.61	7.68	166.75	10.15	-50.7	0.00	20	BARRA20	507.99	80.3	166.75	10.2	534.66	70.71
35	BARRA35	1.0473	0.0000	4.02	6.62	210.93	16.23	-187.8	0.00								

Tab. 5.4 - Continuação

RESULTADOS DO FLUXO DE CARGA PARA A AREA 1

RESULTADOS DE BARRA										RESULTADOS DE FLUXOS NAS LINHAS							
BARRA NUM.	NOME	TENSAO(MODULO PU)		ANGULO) GRAUS		REAT. INJ. MVAR		REAT. SHUNT* MVAR		PARA BARRA NUM.	NOME	ATIVO (MW)		REAT. (MVAR)		APAR. (MVA)	
		VESP	DPAD	VESP	DPAD	VESP	DPAD	VESP	DPAD			VESP	DPAD	VESP	DPAD		
36	BARRA36	1.0635	0.0000	6.72	6.67	100.33	12.26	0.0	0.00	22	BARRA22	649.90	65.0	210.93	16.2	683.27	65.8
37	BARRA37	1.0278	0.0000	1.13	6.39	0.77	5.60	-111.0	0.00	23	BARRA23	559.89	50.4	100.33	12.3	568.81	51.5
38	BARRA38	1.0265	0.0000	6.42	6.84	22.53	16.29	-164.3	0.00	25	BARRA25	540.41	73.5	0.77	5.6	540.41	73.5
39	BARRA39	1.0300	0.0000	-11.12	5.58	-161.96	12.64	103.4	0.00	29	BARRA29	830.80	58.1	22.53	16.3	831.11	58.5
										1	BARRA1	-118.62	45.8	-105.58	8.6	158.80	28.8
										9	BARRA9	14.34	60.0	-56.38	7.9	58.17	21.4

BALANCO DE POTENCIA NA BARRA DE BALANCO

* POTENCIA INJETADA * POTENCIA DISPONIVEL * BALANCO DE POTENCIA

VALOR ESPERADO *	563.802	*	648.000	*	84.198
DESVIO PADRAO *	229.632	*	108.000	*	253.761

Tab. 5.4 - Continuação

FLUXO DE CARGA PROBABILISTICO - SISTEMA IEEE DE 39 BARRAS

** FLUXO DE POTENCIA ATIVA ENTRE AS BARRAS 3 E 18 (BARRAS - BARRA18) **

TABELA DOS COEFICIENTES DE SENSIBILIDADE

BARRA	ATIVA INJ.	REAT. INJ.*	BARRA	ATIVA INJ.	REAT. INJ.*	BARRA	ATIVA INJ.	REAT. INJ.*	BARRA	ATIVA INJ.	REAT. INJ.
1	6.5948	-0.4321	2	9.2435	-1.0435	3	21.0588	-0.5595	4	2.6816	-0.2131
5	0.4978	-0.0134	6	0.0019	0.0124	7	0.4813	0.0187	8	0.7229	0.0049
9	3.2639	-0.0331	10	-2.9044	-0.0055	11	-1.9700	0.0233	12	-2.8934	-0.0149
13	-3.7743	-0.1563	14	-6.4613	-0.3743	15	-26.9407	-0.3960	16	-35.4780	-0.3694
17	-43.7068	-0.7427	18	-57.2048	-0.8164	19	-34.9499	-0.1680	20	-35.0442	-0.1400
21	-35.2626	-0.3027	22	-34.9006	-0.1416	23	-34.9132	-0.1688	24	-35.4697	-0.3263
25	1.6908	2.0115	26	-20.8064	-0.0284	27	-31.3741	-0.4576	28	-20.5725	-0.0375
29	-20.3866	-0.0419	30	9.2876	0.0000	31	0.0000	0.0000	32	-2.9036	0.0000
33	-34.6137	0.0000	34	-34.7077	0.0000	35	-34.8883	0.0000	36	-34.7103	0.0000
37	1.3898	0.0000	38	-20.1218	0.0000	39	4.9539	0.0000			

Tab. 5.5 - Coeficientes de sensibilidade - P₃ - 18

RESULTADOS DO FLUXO DE CARGA PARA A AREA 1

SOLUCAO SIMPLIFICADA

RESULTADOS DE BARRA										RESULTADOS DE FLUXOS NAS LINHAS					
BARRA NUM.	TENSÃO(MODULO PU	ANGULO)		REAT. INJ.		REAT. SHUNT*		PARA BARRA	NOME	ATIVO (MW)		REAT. (MVAR)		APAR. (MVA)	
		VESP	DPAD	VESP	DPAD	VESP	DPAD			VESP	DPAD	VESP	DPAD	VESP	DPAD
1 BARRA1															
									2 BARRA2	147.88	12.2				
									5 BARRA5	71.12	4.3				
2 BARRA2															
									3 BARRA3	70.05	5.2				
									4 BARRA4	55.23	3.2				
									5 BARRA5	40.90	2.3				
3 BARRA3															
									4 BARRA4	-24.15	4.6				
4 BARRA4															
									5 BARRA5	-62.34	4.6				
									7 BARRA7	28.99	3.6				
									9 BARRA9	16.63	2.0				
5 BARRA5															
									6 BARRA6	42.08	2.6				
6 BARRA6															
									11 BARRA11	6.30	1.4				
									12 BARRA12	7.55	0.4				
									13 BARRA13	17.03	1.2				
7 BARRA7															
									8 BARRA8	0.00	0.0				
									9 BARRA9	28.99	3.6				
8 BARRA8															
9 BARRA9															
									10 BARRA10	6.20	1.5				
									14 BARRA14	9.92	1.2				
10 BARRA10															
									11 BARRA11	-2.00	1.4				
11 BARRA11															
12 BARRA12															
									13 BARRA13	1.45	0.4				
13 BARRA13															
									14 BARRA14	4.98	1.1				
14 BARRA14															

Tab 5.6 - Resultados referentes ao sistema de 14 barras - modelo linearizado

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

6.1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo tem a finalidade de fazer um resumo de aspectos inerentes à linearização descrita no cap. 2, assim como uma descrição teórica de técnicas que possam ser incorporadas ao fluxo de carga probabilístico, e que não foi levado em consideração na modelagem descrita no cap. 2.

Essas melhorias tornariam o FCP mais aplicável e realista.

Há também restrições impostas à solução de um fluxo de carga, tais como:

- limites de capacidade das fontes de potência reativa;
- o intervalo de variação para a relação de transformação dos transformadores de comutação sob carga;
- troca de potência entre sistemas interconectados; etc.

Essas restrições não são discutidas neste capítulo.

6.2 - ERROS INTRODUZIDOS PELA LINEARIZAÇÃO

Uma das restrições da formulação está relacionada com os erros inerentes às linearizações feitas nas equações de fluxos de carga, eq. (2.7) e (2.8). Devido à linearização introduzida na utilização da expansão da série de Taylor, x não é realmente o valor esperado de x , provocando também erro na determinação da variância de x .

Um exemplo⁽³⁾ desse erro é apresentado no seguinte exemplo. Seja um gerador suprindo uma carga P (MW) com fator de potência unitário e magnitude de tensão de 1 pu, através de uma linha de transmissão, com parâmetros $r = R$, $x = 0$ e $B_{km}' = 0$. Esta situação está ilustrada na fig. 6.1.

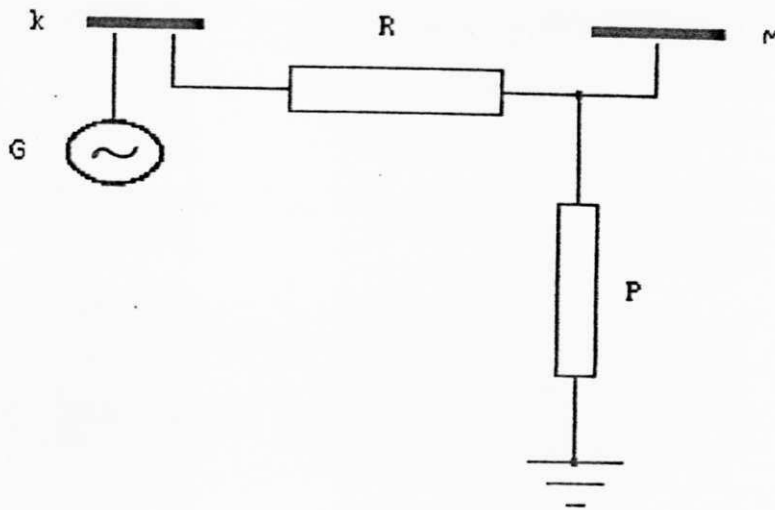


fig. 6.1 - Sistema exemplo.

A geração G é dada por:

$$(6.1) \quad G = P + RP^2$$

Assumindo que P tenha uma distribuição normal, com valor esperado u_p e variância σ_p^2 , qual será a distribuição, valor esperado e Variância para a geração G ?

Tem-se:

$$(6.2) \quad E[G] = E[P] + E[RP^2] = E[P] + RE[P^2] \\ = u_p + R(u_p^2 + \sigma_p^2)$$

e

$$V[G] = E[(G - u_g)^2] = E[G^2] - 2E[G u_g] + E[u_g^2]$$

Têm-se:

$$(6.3) \quad V[G] = \sigma_p^2 + 4Ru_p \sigma_p^2 + 4R^2u_p^2 \sigma_p^2 + 2R^2 \sigma_p^4$$

Entretanto, pela linearização feita por esta formulação, chega-se a:

$$(6.4) \quad E'[G] = u_p + Ru_p^2$$

$$(6.5) \quad V'[G] = (1 + 2Ru_p)^2 \sigma_p^2 = \sigma_p^2 + 4Ru_p \sigma_p^2 + 4R^2u_p^2 \sigma_p^2$$

Das eq. (6.2) - (6.5), verifica-se que a linearização introduz erros, que são:

$$(6.6) \quad E[G] - E'[G] = R \sigma_p^2$$

$$(6.7) \quad V[G] - V'[G] = 2R^2 \sigma_p^4$$

Das eq. (6.6) e (6.7), nota-se que os erros introduzidos pela linearização são de segunda ordem.

Uma aplicação numérica permite uma noção mais real do erro introduzido.

Para $R = 1 \text{ pu}$, $u_p = 1 \text{ pu}$ e $\sigma_p = 10 \%$, têm-se:

$$\begin{aligned} \frac{E[G] - E'[G]}{E[G]} &= \frac{R \sigma_p^2}{u_p + R(u_p^2 + \sigma_p^2)} = \frac{0.01}{2.01} = \\ &= 0.004975 \text{ pu} \approx 0.5 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{V[G] - V'[G]}{V[G]} &= \frac{2R^2 \sigma_p^4}{\sigma_p^2 + 4R u_p \sigma_p^2 + 4R^2 u_p^2 \sigma_p^2 + 2R^2 \sigma_p^4} \\ &= \frac{0.0002}{0.0902} = 0.0022172 \approx 0.22 \% \end{aligned}$$

Percebe-se que o erro introduzido para este exemplo é pequeno.

6.3 - COMPARAÇÃO MATEMÁTICA COM A FORMULAÇÃO APRESENTADA NA SEÇÃO 3.2.3

Será apresentada a seguir uma análise comparativa entre a formulação apresentada no cap. 2 e a apresentada na seção 3.2.3.

Esta última se baseia nas seguintes linearizações:

Considere que duas v.a. X e Y são multiplicadas para se obter uma terceira v.a. Isto é:

$$(6.8) \quad Z = XY$$

Se, entretanto, os valores esperado x_0 e y_0 de X e Y respectivamente são conhecidos, para as linearizações feitas na

seção 3.2.3.1, tem-se:

$$(6.9) \quad \begin{aligned} X &= X_0 + \Delta X \\ Y &= Y_0 + \Delta Y \end{aligned}$$

onde ΔX e ΔY são variações aleatórias de X e Y em torno de x_0 e y_0 . Assim:

$$Z = (X_0 + \Delta X)(Y_0 + \Delta Y) = X_0 Y_0 + X_0 \Delta Y + Y_0 \Delta X + \Delta X \Delta Y$$

Como o termo $\Delta x \Delta y$ é muito pequeno, este é desprezado. Para:

$$\begin{aligned} \Delta x &= (X - X_0) & e \\ \Delta y &= (Y - Y_0) \end{aligned}$$

tem-se:

$$(6.10) \quad Z = X_0 Y_0 + X_0 \Delta Y + Y_0 \Delta X = X_0 Y + Y_0 X - X_0 Y_0$$

As aproximações acima puderam ser aplicadas para os ângulos e magnitudes da tensão de um sistema de potência pelo fato de suas variações aleatórias serem geralmente pequenas.

Uma outra aproximação utilizada, foi as séries truncadas de Maclaurin para as funções seno e cosseno. Assim:

$$(6.11) \quad \text{sen} \theta_{km} = \theta_{km} - \frac{\theta_{km}^3}{6}$$

$$\text{cos} \theta_{km} = 1 - \frac{\theta_{km}^2}{2}$$

Então:

$$(6.12) \quad \begin{aligned} V_k V_m \text{sen} \theta_{km} &= a_{km} + b_{km} \theta_{km} + c_{km} V_k + d_{km} V_m \\ V_k V_m \text{cos} \theta_{km} &= e_{km} + f_{km} \theta_{km} + g_{km} V_k + h_{km} V_m \end{aligned}$$

onde:

$$\begin{aligned} a_{km} &= 2V_{ko} V_{mo} \theta_{kmo} \left(\left(\frac{1}{3} \right) \theta_{kmo}^2 - 1 \right) \\ b_{km} &= V_{ko} V_{mo} \left(1 - \left(\frac{1}{2} \right) \theta_{kmo}^2 \right) \\ c_{km} &= V_{mo} \left(\theta_{kmo} - \left(\frac{1}{6} \right) \theta_{kmo}^3 \right) \\ d_{km} &= V_{ko} \left(\theta_{kmo} - \left(\frac{1}{6} \right) \theta_{kmo}^3 \right) \end{aligned}$$

$$e_{km} = V_{ko} V_{mo} ((3/2)\theta_{kmo}^2 - 1)$$

$$f_{km} = -V_{ko} V_{mo} \theta_{kmo}$$

$$g_{km} = V_{mo} (1 - (1/2)\theta_{kmo}^2)$$

$$h_{km} = V_{ko} (1 - (1/2)\theta_{kmo}^2)$$

onde θ_{kmo} , V_{ko} e V_{mo} são o ponto em torno do qual foi feita a linearização.

Utilizando a linearização das eq. (2.7) e (2.8), na eq. (6.8), obtém-se:

$$Z = X_0 Y_0 + \begin{vmatrix} \frac{\partial Z}{\partial X} & \frac{\partial Z}{\partial Y} \\ \hline \end{vmatrix}_{(X_0, Y_0)} \begin{vmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \end{vmatrix}$$

Resultando em:

$$(6.13) \quad Z = X_0 Y + Y_0 X - X_0 Y_0$$

A eq. (6.13) é, entretanto, igual à eq. (6.10).

Expandindo por séries de Taylor as expressões " $V_k V_m \text{sen} \theta_{km}$ " e " $V_k V_m \text{cos} \theta_{km}$ ", em torno do ponto $(V_{ko}, V_{mo}, \theta_{kmo})$, resulta em:

$$V_k V_m \text{sen} \theta_{km} = V_{ko} V_{mo} \text{sen} \theta_{kmo} + [V_{mo} \text{sen} \theta_{kmo} \quad V_{ko} \text{sen} \theta_{kmo} \quad V_{ko} V_{mo} \text{cos} \theta_{kmo}] \begin{vmatrix} V_k - V_{ko} \\ V_m - V_{mo} \\ \theta_{km} - \theta_{kmo} \end{vmatrix}$$

$$(6.14) \quad = a'_{km} + b'_{km} \theta_{km} + c'_{km} V_k + d'_{km} V_m$$

$$V_k V_m \text{cos} \theta_{km} = V_{ko} V_{mo} \text{cos} \theta_{kmo} + [V_{mo} \text{cos} \theta_{kmo} \quad V_{ko} \text{cos} \theta_{kmo} \quad -V_{ko} V_{mo} \text{sen} \theta_{kmo}] \begin{vmatrix} V_k - V_{ko} \\ V_m - V_{mo} \\ \theta_{km} - \theta_{kmo} \end{vmatrix}$$

$$(6.15) \quad = e'_{km} + f'_{km} \theta_{kmo} + g'_{km} V_k + h'_{km} V_m$$

onde:

$$a'_{km} = V_{km} V_{mo} (\text{sen} \theta_{kmo} + \theta_{kmo} \text{cos} \theta_{kmo})$$

$$b'_{km} = V_{ko} V_{mo} \text{cos} \theta_{kmo}$$

$$c'_{km} = V_{mo} \text{sen} \theta_{kmo}$$

$$d'_{km} = V_{ko} \text{sen} \theta_{kmo}$$

$$e'_{km} = V_{ko} V_{mo} (\theta_{kmo} \text{sen} \theta_{kmo} - \text{cos} \theta_{kmo})$$

$$f'_{km} = -V_{ko} V_{mo} \text{sen} \theta_{kmo}$$

$$g'_{km} = V_{mo} \text{cos} \theta_{kmo}$$

$$h'_{km} = V_{ko} \text{cos} \theta_{kmo}$$

Se for usado as aproximações descritas nas eq. (6.11) nas expressões acima, as eq. (6.14) e (6.15) se tornam iguais às eq. (6.12).

Chega-se a conclusão de que na linearização usada no cap. 2, não foi necessário as aproximações da eq. (6.11), simplificando a modelagem e tornando a formulação mais realista, pois para diferenças angulares grandes, pequenos erros ocorrerão na formulação da seção 3.2.3.

6.4 - ERROS INTRODUZIDOS PELO TEOREMA DO LIMITE CENTRAL

O TLC é aplicado na formulação descrita na referência⁽³⁾, assumindo então que todas as variáveis de saída são descritas por uma distribuição normal. Entretanto este meio de se obter as v.a. de saída nem sempre pode ser utilizado, mesmo em sistemas considerados "grandes", pois as v.a. a serem somadas são ponderadas por coeficientes de sensibilidade (seção 6.5), fazendo com que uma determinada v.a. de saída seja influenciada de maneira diferente para as várias distribuições. É bom lembrar que a não linearidade das equações do fluxo de carga também introduzem erros, como analisados no cap. 5.

Os erros introduzidos pela aplicação do TLC podem ser mostrados através da análise de um exemplo, descrito a seguir.

A análise é feita para o sistema de 14 barras descrita na seção D.3 do apêndice D.

Esse sistema é modelado com duas distribuições discretas, sendo uma binomial, e as demais normais.

Uma análise do fluxo de potência ativa entre as barras 7 e 9 fornece uma fdp para esse fluxo, como ilustrado na fig. 6.2. Percebe-se claramente, através de uma comparação com a distribuição normal obtida da aplicação do TLC, que esta fdp é muito distorcida de uma distribuição normal. A tab. 6.1, que contém os coeficientes de sensibilidade para esta fdp mostra que o peso atribuído à distribuição discreta da barra 9 é maior que os atribuídos às outras barras, a maioria com distribuição normal. A fig. 6.2 também mostra que o campo da distribuição normal é maior que o campo da distribuição real ($18.316 \text{ MW} < P_{at} < 34.318 \text{ MW}$). A fig. 6.3 mostra as curvas de distribuição acumulada para os dois métodos e a fig. 6.4 a diferença entre estas duas curvas.

Agora é feita uma análise do fluxo de potência ativa entre as barras 4 e 5. A fdp associada a este fluxo, embora tenha sido obtida através de técnicas de convolução, apresenta uma distribuição semelhante a uma distribuição normal. Esta fdp é mostrada na fig. 6.5, sendo obtida através dos dois métodos.

A tab. 6.2 apresenta os coeficientes de sensibilidade para esta análise. Constata-se que o peso atribuído à distribuição da barra 9 é menor em relação ao das outras barras do sistema. As figs. 6.6 e 6.7 contêm as mesmas informações que as figs. 6.3 e 6.4. A fig. 6.7 mostra que a diferença entre os dois métodos é menor que o caso anterior. A comparação tem sido feita até aqui em termos da distribuição acumulada, pois geralmente a análise é feita em termos de se ultrapassar determinado limite operacional.

Pode-se concluir então que, embora haja um número bem menor de distribuições discretas que normais, as fdp's de saída nem sempre terão uma distribuição normal, mas dependerão dos coeficientes de sensibilidades associados às distribuições discretas. O TLC é portanto, não muito realista em determinados casos.

6.5 - O COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE

Devido à linearização feita na seção 2.3, as v.a de saída são obtidas através de soma de v.a. de entrada ponderadas por coeficientes de sensibilidade. Um estudo da influência que uma determinada potência injetada numa barra do sistema realiza na fdp de uma v.a. de saída torna necessário, o conhecimento da ponderação dada a cada potência injetada. Esta ponderação é descrita como coeficiente de sensibilidade. Esses coeficientes são obtidos através das eq. (2.10 e (2.13) e podem servir de grande ajuda para a análise da influência de determinada barra no estudo de uma v.a. de saída para definir ações de controle corretivo, pois esses coeficientes indicam o 'peso' de uma mudança na potência injetada em uma barra na v.a. de saída a ser analisada.

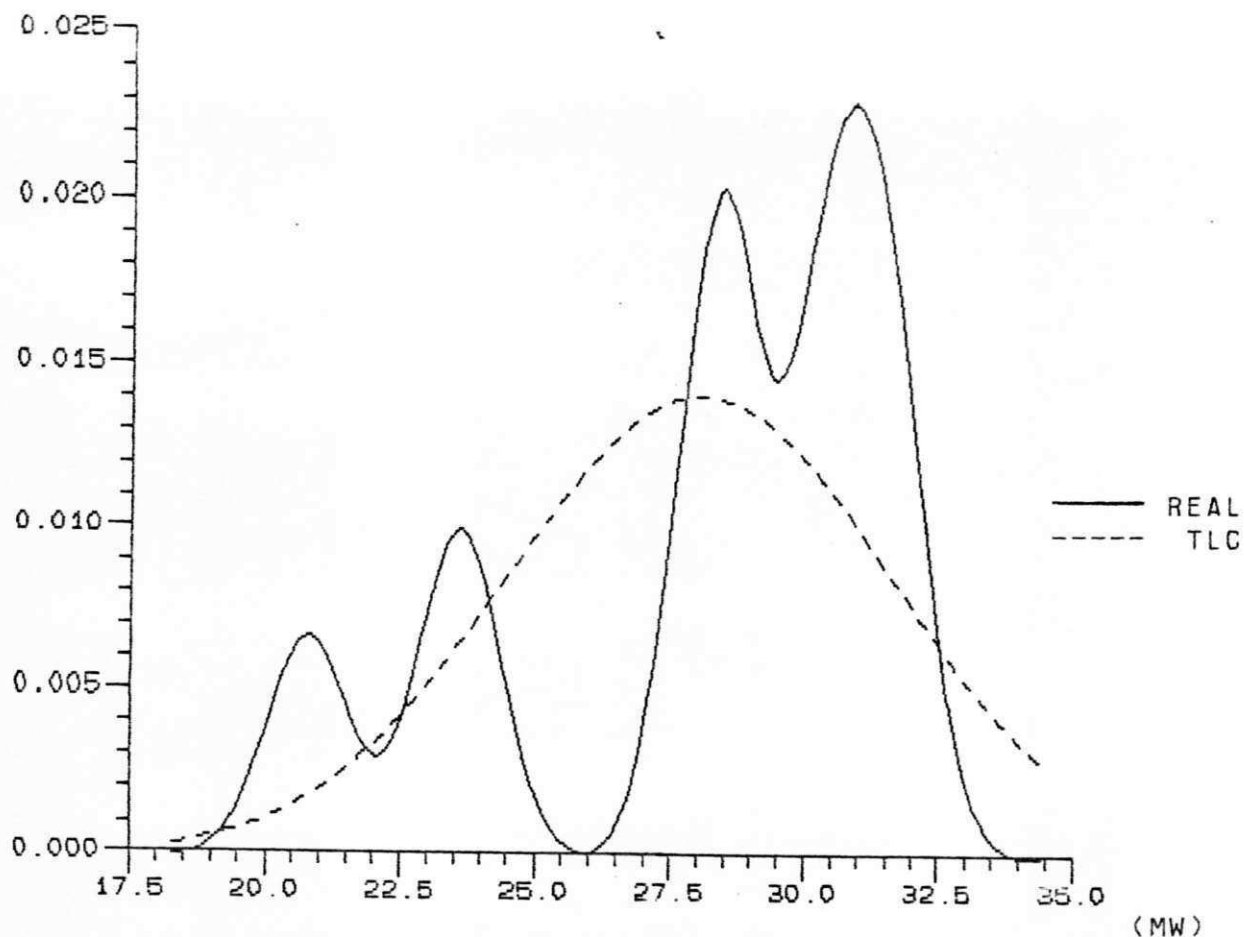


Fig. 6.2 - Fluxo de pot. ativa na linha 7 - 9 (14 bar.) (FDP)

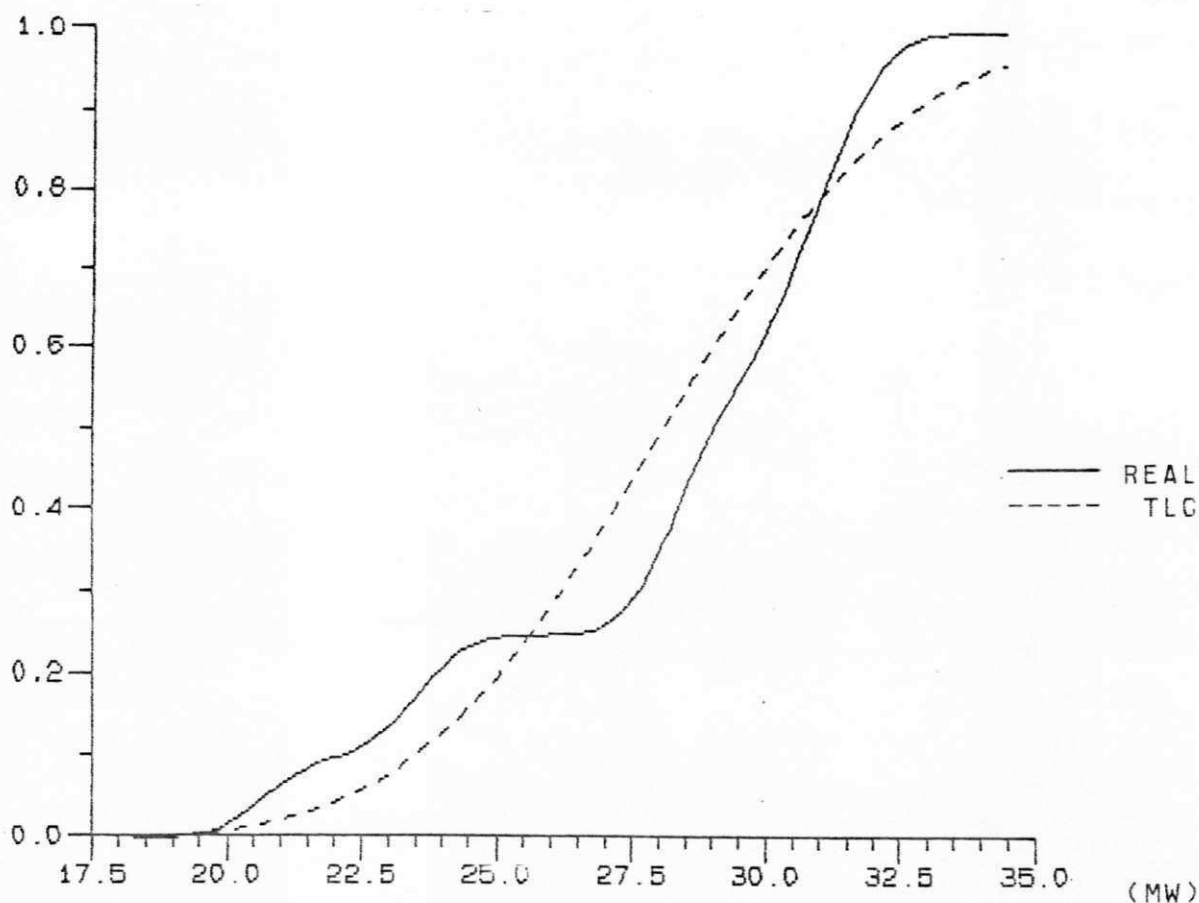


Fig. 6.3 - Fluxo de pot. ativa na linha 7 - 9 (14 bar.) (ACUMUL.)

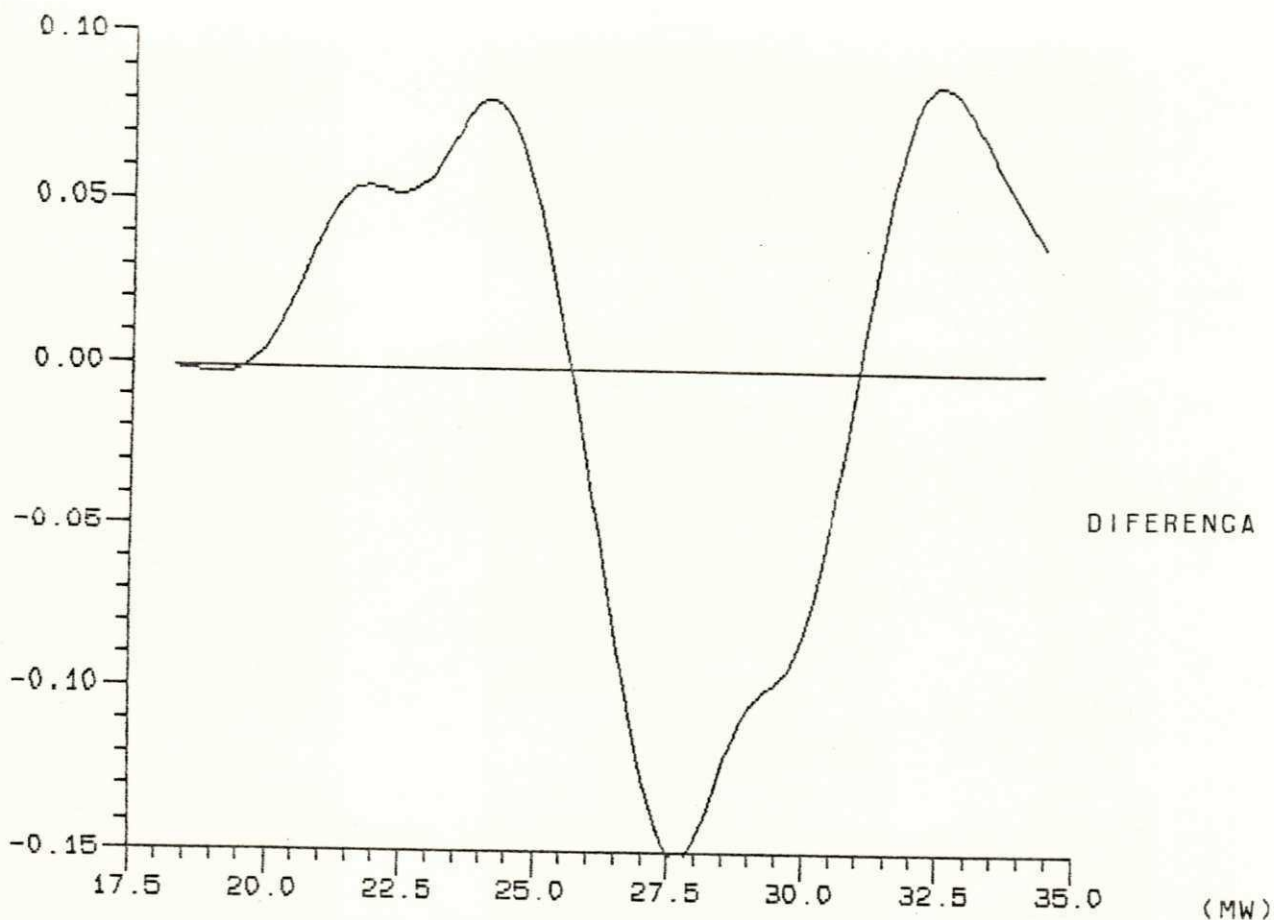


Fig. 6.4 - Fluxo at. na linha 7 - 9 (14 bar.) (difer. entre dist.)

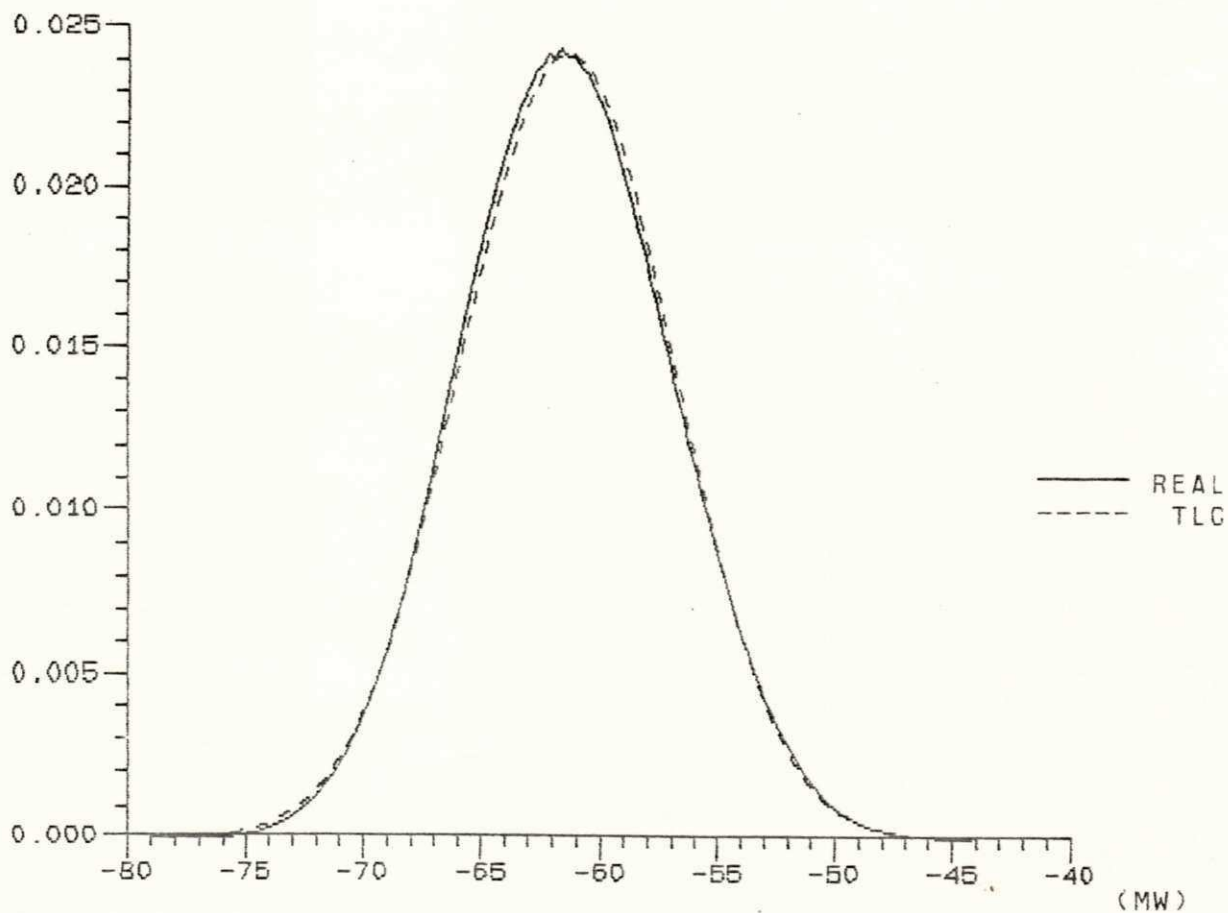


Fig. 6.5 - Fluxo de pot. ativa na linha 4 - 5 (14 bar.) (FDP)

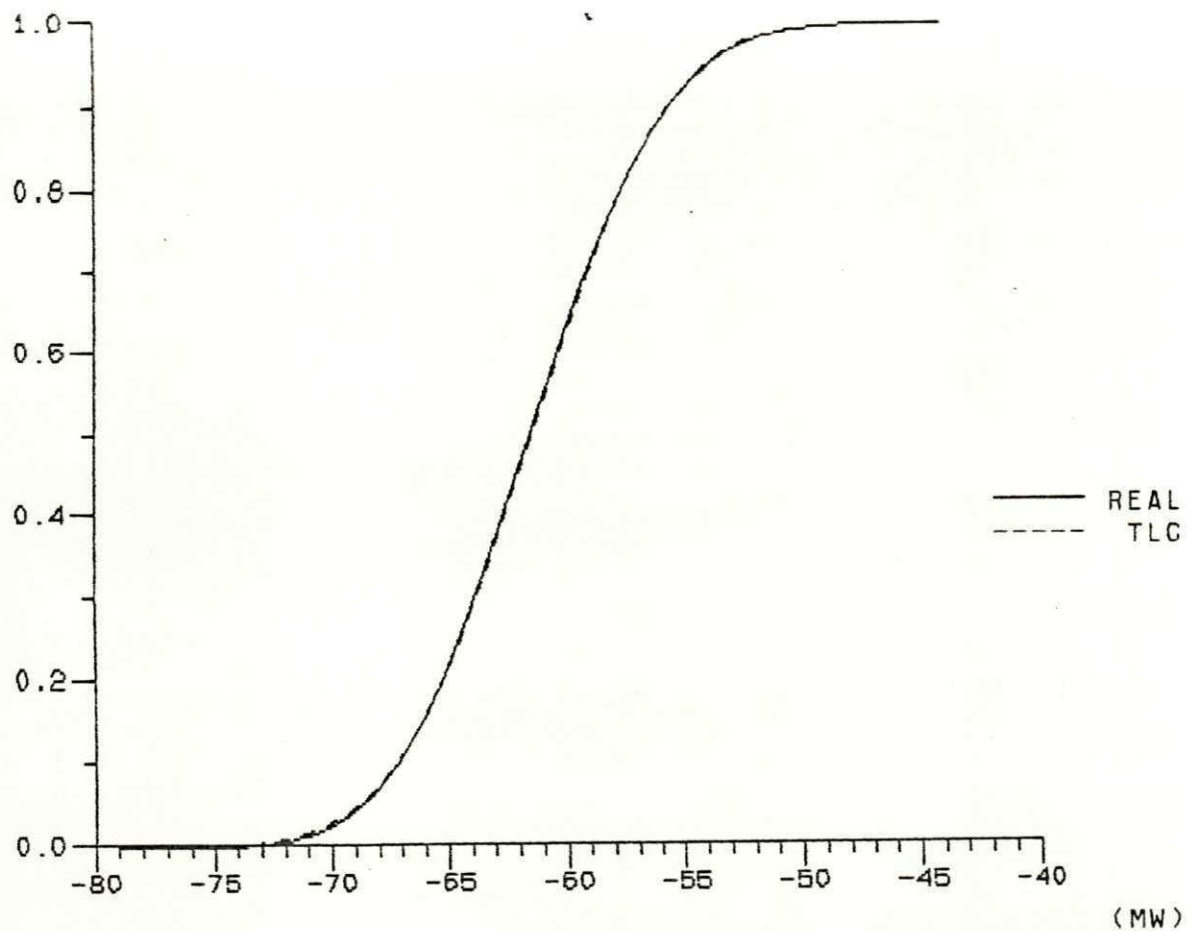


Fig. 6.6 - Fluxo de pot. ativa na linha 4 - 5 (14 bar.) (ACUMUL.) (MW)

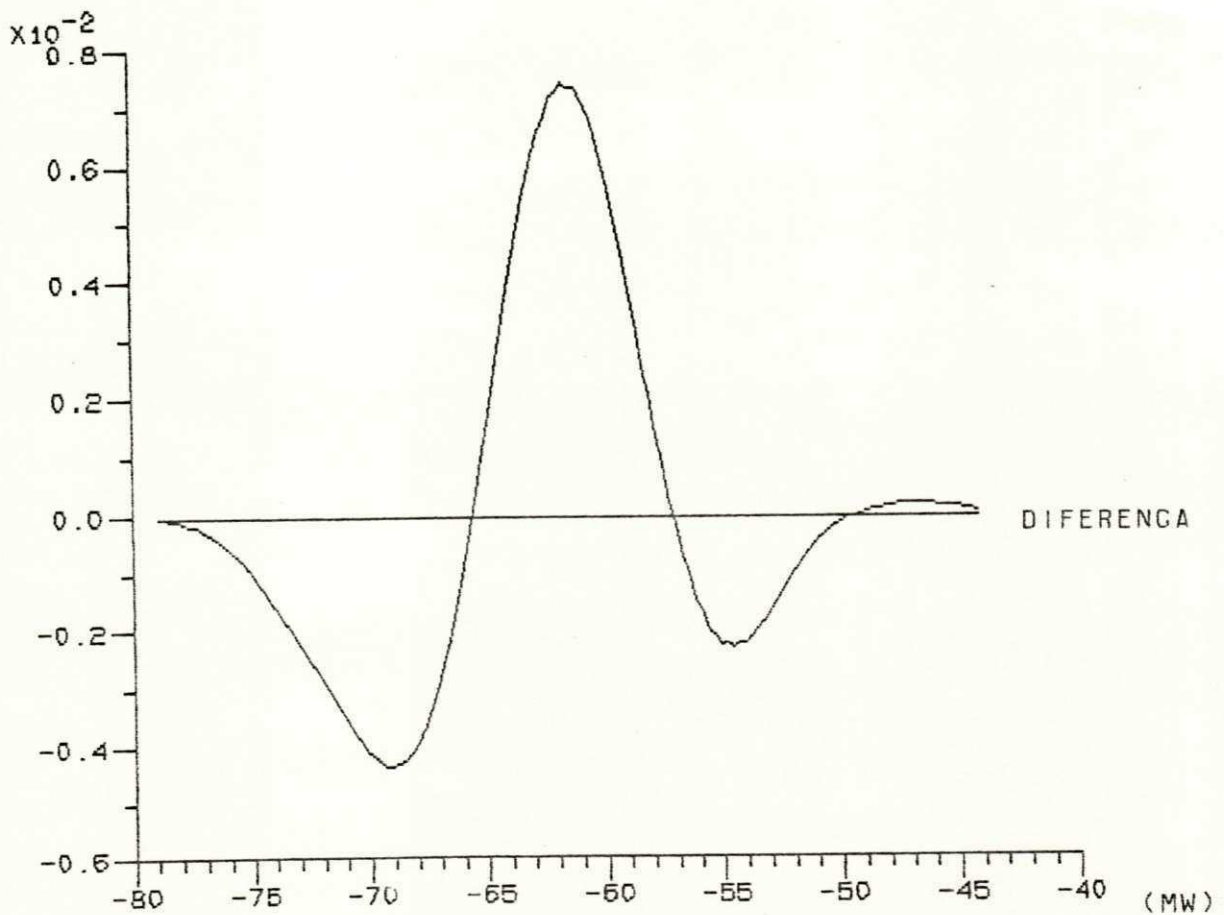


Fig. 6.7 - Fluxo at. na linha 4 - 5 (14 bar.) (difer. entre dist.) (MW)

FLUXO DE CARGA PROBABILISTICO - SISTEMA IEEE DE 14 BARRAS

** FLUXO DE POTENCIA ATIVA ENTRE AS BARRAS 7 E 9 (BARRA7 - BARRAS) **

TABELA DOS COEFICIENTES DE SENSIBILIDADE

BARRA	ATIVA INJ.	REAT. INJ.*	BARRA	ATIVA INJ.	REAT. INJ.*	BARRA	ATIVA INJ.	REAT. INJ.*	BARRA	ATIVA INJ.	REAT. INJ.
1	0.0000	0.0000 *	2	0.3272	0.0000 *	3	1.3040	0.0000 *	4	2.2760	0.4089
5	-0.9238	0.7450 *	6	-19.6296	0.0000 *	7	36.8884	2.7235 *	8	36.8884	0.0000
9	-45.8878	4.2270 *	10	-40.7627	3.5771 *	11	-30.4451	1.9131 *	12	-21.7746	-0.1525
13	-23.6795	0.4934 *	14	-36.3939	2.4986 *						

Tab. 6.1 - Coeficientes de sensibilidade - P₇ - 9

** FLUXO DE POTENCIA ATIVA ENTRE AS BARRAS 4 E 5 (BARRA4 - BARRAS) **

TABELA DOS COEFICIENTES DE SENSIBILIDADE

BARRA	ATIVA INJ.	REAT. INJ.*	BARRA	ATIVA INJ.	REAT. INJ.*	BARRA	ATIVA INJ.	REAT. INJ.*	BARRA	ATIVA INJ.	REAT. INJ.
1	0.0000	0.0000 *	2	7.7415	0.0000 *	3	30.5400	0.0000 *	4	49.2498	-1.9903
5	-30.5092	-3.3910 *	6	-5.7554	0.0000 *	7	34.9339	-3.7906 *	8	34.9339	0.0000
9	27.3965	-6.5655 *	10	21.5731	-5.6549 *	11	8.1229	-3.0557 *	12	-3.4226	-0.0272
13	-1.0964	-1.0506 *	14	15.1262	-4.2746 *						

Tab. 6.2 - Coeficientes de sensibilidade - P₄ - 5

6.6 - MODELANDO CONTIGÊNCIAS NO SISTEMA

Na modelagem do FCP não foi levado em consideração o fato de que cada configuração tem uma determinada probabilidade de ocorrência devido a contigências no sistema, ou seja, para uma dada configuração básica, a probabilidade de perda de qualquer elemento (contigência de linhas, transformadores, disjuntores, etc), assim como variações nos parâmetros, como por exemplo, mudança da impedância de uma linha devido à alteração da temperatura ambiental, foram desprezadas nesta seção. Entretanto, a primeira suposição não corresponde com a realidade. Esta seção mostra um método de incorporar a análise de contigências no sistema, na linearização descrita no cap. 2. Este método é o descrito na referência (13).

6.6.1 - FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO PROBLEMA

A formulação descrita no cap. 2, mostra como linearizar as equações do fluxo de carga de um determinado sistema. Entretanto, todo o desenvolvimento foi feito baseado numa configuração constante. Então, para uma dada configuração c , as equações (2.1), (2.2), (2.9) e (2.12) podem ser escritas como:

$$(6.16) \quad Y = f_c(X_c)$$

$$(6.17) \quad Z = h_c(X_c)$$

$$(6.18) \quad X_c = x_c' + M_c Y$$

$$(6.19) \quad Z_c = z_c' + N_c Y$$

onde os vetores Y , Z , X_c , Z_c , x_c' , z_c' e as matrizes M_c e N_c têm o mesmo significado que no cap. 2, entretanto, sendo para uma determinada configuração c do sistema.

As eq. (2.10) e (2.13) podem ser escritas da seguinte forma:

$$(6.20) \quad f_X^c(x) = N(x_c', 0) * f_1(a_1^c Y_1) * \dots * f_n(a_n^c Y_n)$$

$$(6.21) \quad f_Z^c(z) = N(z_c', 0) * f_1(b_1^c Y_1) * \dots * f_n(b_n^c Y_n)$$

onde os elementos x_{0i}' e z_{0k}' foram apresentados nas equações acima como v.a. com distribuição normal, com valor esperado $x_c = x_{0i}'$ e $z_c = z_{0k}'$.

O problema se resume então, em agrupar estatisticamente as fdp's associadas a cada configuração, pois cada configuração tem uma determinada probabilidade de ocorrência.

6.6.2 - MÉTODO DE SOLUÇÃO DO PROBLEMA

A formulação apresentada na referência⁽¹³⁾ é uma extensão da formulação apresentada na referência⁽⁹⁾, não adotando um modelo DC, mas um modelo AC, resultando numa formulação mais precisa.

Seja S o conjunto de todas as t possíveis configurações e p_c a probabilidade atribuída a cada configuração S_c do conjunto S . Assim:

$$(6.22) \quad S = S_1 \cup S_2 \cup \dots \cup S_c \cup \dots \cup S_t$$

pelo fato de não ser possível que duas ou mais configurações ocorram simultaneamente, resulta em que os eventos S_1, \dots, S_t são mutuamente exclusivos, resultando em:

$$(6.23) \quad P_s = \text{probabilidade } \{S\} = \sum_{i=1}^t p_c = 1$$

Uma consequência da característica evidenciada acima é que, as eq. (6.20) e (6.21) podem ficar da seguinte forma:

$$(6.24) \quad f_X(x) = \sum_{c=1}^t p_c f_X^c(x)$$

$$(6.25) \quad f_Z(z) = \sum_{c=1}^t p_c f_Z^c(z)$$

Há duas maneiras de se obter as probabilidades p_c associadas a cada configuração c . A primeira é fazer um levantamento histórico das configurações de rede. Esta maneira é a mais realista, mas não muito prática.

A segunda maneira é o cálculo de p_c a partir das indisponibilidades de cada componente da rede.

Devido a não praticidade de se analisar todas as contingências em todas as ordens, um truncamento da ordem das contingências se torna necessário. Isso implica em reduzir o universo para as configurações analisadas. Assim, a eq. (6.23) precisa ser corrigida, para evitar erros no processo de convolução.

Assim, as probabilidades p_c atribuídas a cada configuração são corrigidas para p'_c , da seguinte maneira.

$$(6.26) \quad p'_c = p_c / P_s$$

assegurando que para as $t' < t$ configurações a serem analisadas

$$(6.27) \quad P_s' = \sum_{i=1}^{t'} p_c' = 1$$

Para a grande maioria dos sistemas, os efeitos de contingências devem ser analisados, mas as incertezas na configuração são desprezíveis quando as incertezas das v.a. de entrada, associadas às variâncias, forem muito grande.

6.7 - MODELANDO TRANSFORMADORES EM FASE

É usual no planejamento de sistemas de potência, manter a tensão numa determinada barra constante, através de um transformador de comutação de tap sob carga - LTC. Essa comutação é feita dentro de uma faixa de variação do tap.

Essa variação do tap pode ser considerada como uma v.a., assumindo que esta v.a. representa uma determinada variável de estado.

Seja um sistema contendo LTC's, ilustrado na fig. 6.8, onde uma determinada barra k de carga tem a tensão mantida constante pela variação do tap de um LTC. Assim, essa barra k passa a ser de tensão controlada e o tap do LTC torna-se uma variável de estado desconhecida, substituindo a variável de estado V_k no vetor que contém estas variáveis.

A obtenção da v.a. associada à variação do tap pode então ser obtida como as demais v.a. definidas no cap. 2, através de um processo de convolução.

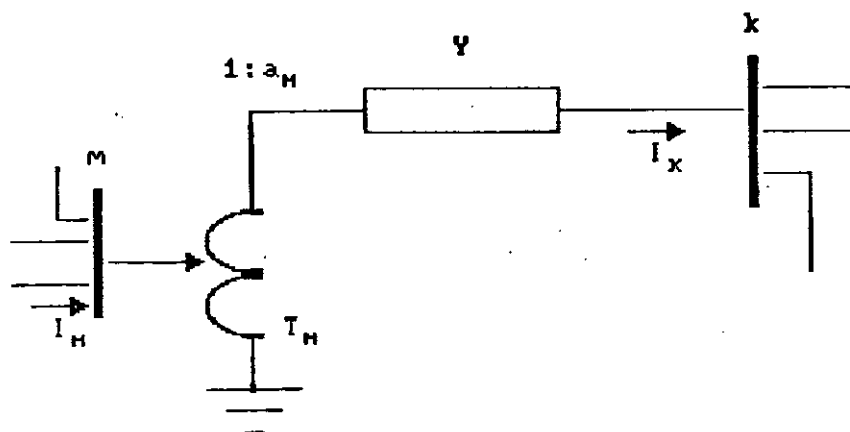


fig. 6.8 - Representação de um transformador com comutação sob carga.

A eq. (2.16) é modificada, resultando em:

$$(6.28) \quad J = \begin{bmatrix} H & N & R \\ M & L & S \end{bmatrix}$$

onde H, N, M e L tem o mesmo significado que em (2.16) mas,

$$R = \frac{\partial P}{\partial A} \quad e \quad S = \frac{\partial Q}{\partial A}$$

o vetor estado é definido como:

$$(6.29) \quad X = [\theta, V, A]^t$$

Na realidade, os elementos de R e S, R_{km} e S_{km} respectivamente, substituem os termos que seriam usados em N_{km} e L_{km} , respectivamente.

Tem-se então (31):

$$(6.30) \quad R_{km} = \frac{\partial P_k}{\partial a_m} = N_{km}$$

$$R_{mm} = \frac{\partial P_m}{\partial a_m} = -2G_{km} V_m^2 a_m^2 + (x_k e_m + y_k f_m) a_m$$

$$S_{km} = \frac{\partial Q_k}{\partial a_m} = L_{km}$$

$$S_{mm} = \frac{\partial Q_m}{\partial a_m} = 2B_{km} V_m^2 a_m^2 + (x_k f_m - y_k e_m) a_m$$

onde:

$$I_m = x_m + jy_m$$

$$V_m = e_m + jf_m$$

6.8.3 - REPRESENTAÇÃO MATEMÁTICA

Para muitas aplicações práticas, uma representação linear para a correlação entre cargas e geração pode ser aplicada.

Seja Z uma variável aleatória:

$$(6.31) \quad Z = cX + dY + e$$

Se X e Y são linearmente dependentes, para cada valor i de X , existe um correspondente valor i de Y e Z , tendo eles uma mesma probabilidade de ocorrência f_i , como ilustrado na fig. 6.9.

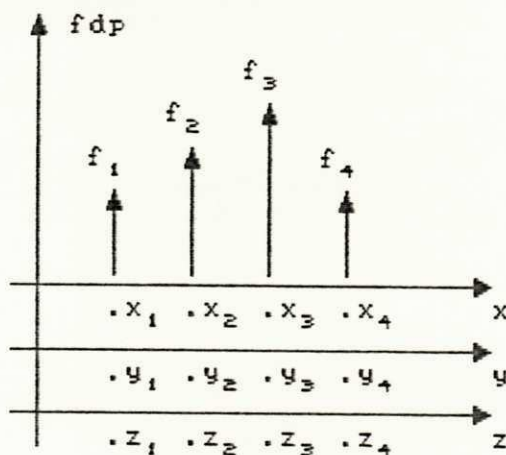


fig. 6.9 - Ilustração de uma distribuição discreta de v.a. dependentes

Da seção A.7.2, obtém-se:

$$u_z = cu_x + du_y + e$$

$$(6.32) \quad \sigma_z = c \sigma_x + d \sigma_y \quad (\text{para correlação positiva})$$

$$\sigma_z = c \sigma_x - d \sigma_y \quad (\text{para correlação negativa})$$

OBS.:

Se as v.a. X e Y fossem totalmente independentes, as eq. (6.32) se resumiriam em:

$$\sigma_z = (c^2 \sigma_x^2 + d^2 \sigma_y^2)^{1/2}$$

desde que $c \sigma_x + d \sigma_y > (c^2 \sigma_x^2 + d^2 \sigma_y^2)^{1/2}$, o desvio padrão da soma de v.a. totalmente correlacionadas é maior que o de v.a. independentes, ou seja, a fdp resultante é mais larga.

Generalizando as eq. (6.31) e (6.32), chega-se a:

$$(6.33) \quad Z = c_1 X_1 + c_2 X_2 + \dots + c_n X_n + c_{n+1}$$

onde:

$$(6.34) \quad \begin{aligned} u_z &= c_1 u_1 + c_2 u_2 + \dots + c_n u_n + c_{n+1} \\ \sigma_z &= c_1 \sigma_1 + /- c_2 \sigma_2 + /- \dots + /- c_n \sigma_n \end{aligned}$$

OBS.:

Se a dependência entre as v.a. não for linear, tem-se que

$$Y = aX + b$$

e uma interpretação um pouco diferente, ou seja, a variável Y pode ser dividida em duas v.a. Y_1 e Y_2 , onde Y_1 é linearmente dependente de X e Y_2 tem um valor esperado nulo e é independente de X. Esta divisão é ilustrada na fig. 6.10, que foi extraída da referência (7).

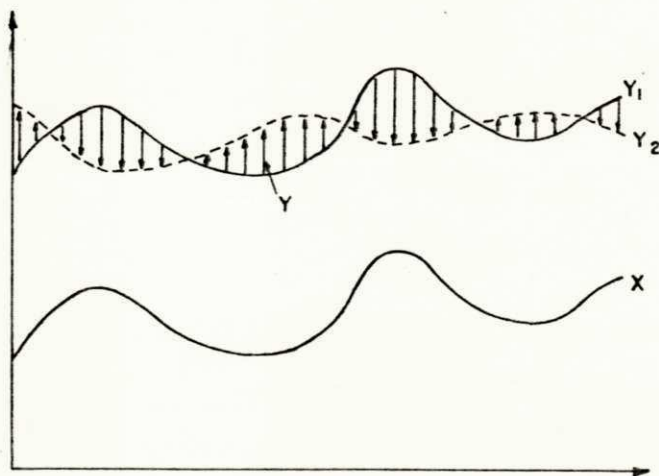


fig. 6.10 - Ilustração de duas v.a. não-linearmente dependentes

A implementação dessa técnica na formulação do FCP se resume em transformar cada grupo de potências injetadas nas barras, que sejam dependentes entre si, em uma v.a. equivalente, através das eq. (6.33) e (6.34). Estas v.a. equivalentes são

independentes entre si, sendo a soma destas v.a. independentes obtida por processos descritos no capítulo 4.

6.9 - MULTILINEARIZAÇÕES NO FLUXO DE CARGA PROBABILÍSTICO

As formulações para o FCP, descritas nos cap. 2 e 3, foram linearizadas em torno do valor esperado dos dados de entrada. Assim, se os dados de entrada tiverem uma variância muito grande, esta linearização provocará uma certa imprecisão nas fdp's de saída, principalmente nos seus extremos, pelo fato de serem estes os pontos mais afastados do ponto de linearização.

Então surge uma dúvida: Qual a imprecisão nos extremos das fdp's de saída, usando as linearizações das referidas formulações?

Este assunto foi analisado e descrito na referência⁽¹¹⁾. Tem-se, a seguir, um resumo do problema.

Sejam os vetores X, Y e Z, todos compostos de v.a., como descritos na seção 2.3. Assim:

- Variáveis de estado - vetor X

$$(6.35) \quad Y = f(X)$$

Assim para um dado vetor de v.a. de entrada Y, com cada v.a. com uma determinada faixa de variação ou período (eq. (4.34)), qual os valores mínimo e máximo que cada v.a. de X pode assumir?

Para uma primeira linearização em torno do valor esperado (Y_0, X_0) , definidos na seção 2.3 e de acordo com a eq. (2.9), tem-se:

$$(6.36) \quad X = x_0 + M(Y - y_0)$$

ou, explicitamente:

$$(6.37) \quad X_i = x_{0i} + \sum_{j=1}^m M_{ij} (Y_j - y_{0j})$$

Então, por exemplo, qual o valor máximo que X_i pode ter?

Se cada v.a. Y_j varia dentro de um determinado período, o ponto Y_j , que define o máximo valor de X_i é encontrado, de acordo com a tab. 4.2. Assim:

$$(6.38) \quad \text{Max } X_i = x_{i0} + \sum_{j=1}^m M_{ij} (Y_{1j} - y_{0j})$$

resultando em um vetor X_m :

$$(6.39) \quad X_m = x_0 + M(Y_1 - y_0)$$

Entretanto, o ponto (X_m, Y_1) não satisfaz a eq. (6.31), pois:

$$(6.40) \quad Y_m = f(X_m)$$

Assim, tendo-se este vetor X_m , como o novo ponto de linearização, encontra-se um novo vetor de v.a. X , segundo a eq. (6.36), e todo o processo é repetido.

Logo, para um determinado passo k , tem-se:

$$X_m^{(k+1)} = X_m^{(k)} + M_k(Y_1^{(k)} - y_m^{(k)})$$

e

$$Y_m^{(k+1)} = f(X_m^{(k+1)})$$

Este processo é repetido, até que o valor máximo de X atinja um valor que satisfaça uma tolerância entre os passos (k) e $(k+1)$.

- Variáveis de saída - vetor Z

O processo para encontrar os pontos máximos e mínimos para o vetor Z , é similar ao do vetor X .

6.10 - A SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

6.10.1 - INTRODUÇÃO

A solução de um FCP equivale a um grande número de soluções determinísticas combinadas probabilísticamente através de processos de convolução. Devido ao fato de as equações de fluxo de carga terem sido linearizadas em torno do valor esperado das variáveis de entrada, qualquer variação em torno desse valor conduz a erros nos resultados do FCP. Assim, o erro introduzido pela linearização dependerá da variância das variáveis de entrada.

Uma maneira de se avaliar os erros da modelagem de um FCP, é comparando-o com os resultados de uma simulação de Monte Carlo.

Este método, embora seja muito preciso, requer um tempo computacional muito grande, como mostrado na tab. 6.3.

6.10.2 - GERAÇÃO DE VARIÁVEIS ALEATÓRIAS

A obtenção de v.a. através da simulação de Monte Carlo pode ser feita de várias maneiras. Uma delas é descrita aqui.

É definido que todas as distribuições são discretas (ou discretizadas, no caso da distribuição normal) e que a obtenção de um número aleatório é feita segundo uma distribuição uniforme, ou seja, a probabilidade de ocorrência de cada número é igual para todos os outros números possíveis e sua variação está entre 0. e 1.

Suponha que se tem duas v.a. A e B a serem somadas, resultando em uma v.a. Z de saída. Essa soma será através de uma simulação de Monte Carlo. As distribuições acumuladas referentes a estas duas v.a. estão ilustradas na fig. 6.11.

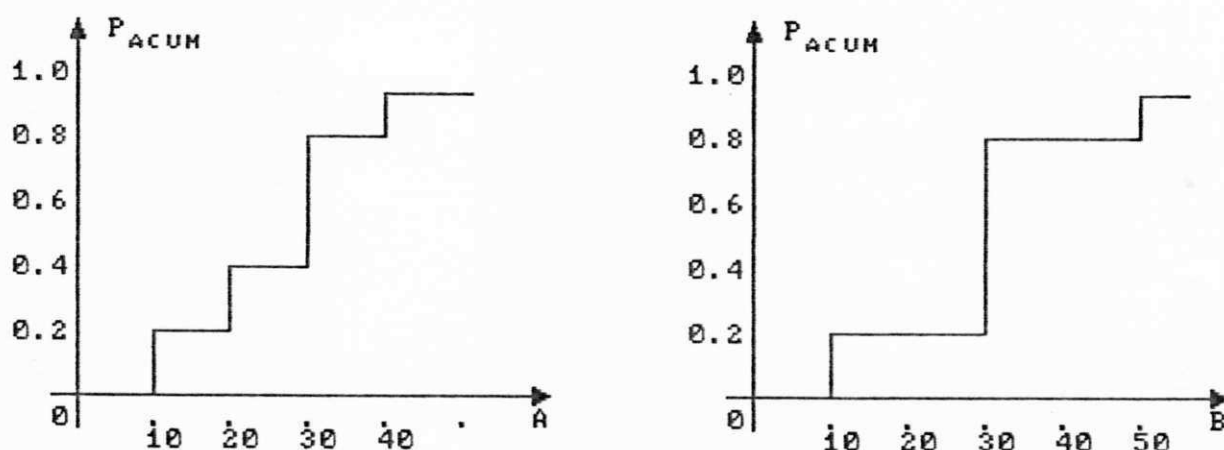


fig. 6.11 - Distribuição acumulada de duas v.a. A e B

A simulação é feita da seguinte maneira:

- . Gera-se um número aleatório e encontra-se qual o impulso associado a este número aleatório. A fig. 6.12 ilustra este procedimento. Assim, se por exemplo o número aleatório é 0.53, o impulso associado às v.a. A e B é 30 e 30 respectivamente. Assim, tem-se uma ocorrência para o impulso associado à v.a. Z com valor 60 (= 30 + 30).
- . Realiza-se o ítem anterior para o número de simulações desejado.
- . Verifica-se, para cada impulso resultante, o número de ocorrências encontrado.

. Essa associação impulso vs probabilidade de ocorrência é a v.a. de saída Z.

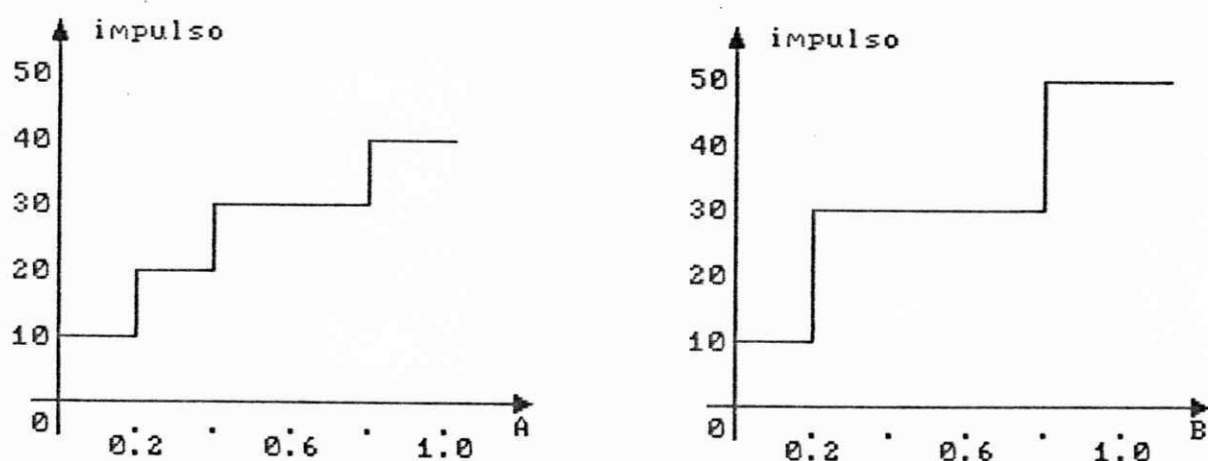


fig. 6.12 - Impulso associado à determinado número aleatório

6.10.3 - COMPARAÇÃO DA SIMULAÇÃO COM O FCP

É analisado então uma variável de saída, para o sistema teste de 5 barras: O fluxo de potência ativa na linha 2-1.

Foi utilizado 5000 e 10000 simulações para se determinar a fdp referente a esta variável, onde as distribuições normais assumiram desvio padrão de $\delta = 1$, $\delta = 2$ e $\delta = 8$, onde indica múltiplos de 5% do valor médio. Os resultados são apresentados nas figs. 6.15 e 6.16.

A fig. 6.13 mostra a relação entre o tempo gasto com a simulação de Monte Carlo e o FCP.

A tab. 6.3 apresenta os valores médios e desvios padrões para os casos citados, em MW. Percebe-se que, com o aumento de δ , o valor médio das simulações se afastam do valor médio real e os desvios padrões tendem a se tornarem menores que o desvio real, resultando numa distribuição mais compacta em torno do valor médio.

Na fig. 6.14, tem-se o fluxograma para a simulação de Monte Carlo, com o objetivo de encontrar as v.a. do FCP

6.10.4 - CONCLUSÕES

- Uma análise na simulação de Monte Carlo (fig. 6.15 e 6.16), conduz às seguintes conclusões:

. À medida que se aumenta o grau de incerteza, as fdp's tendem a uma distribuição normal. Isto é devido à influência da

distribuição binomial na barra 2.

δ	FCP		5000 sim.		10000 sim.	
	VM	DP	VM	DP	VM	DP
1	-87.46	7.3	-87.40	7.1	-87.48	7.3
2	-87.46	9.3	-87.50	9.1	-87.57	7.3
8	-87.46	27.1	-88.26	26.7	-88.22	26.8
tempo	3		95		237	

tab. 6.3 - Valores médios e desvios padrões e tempo computacional

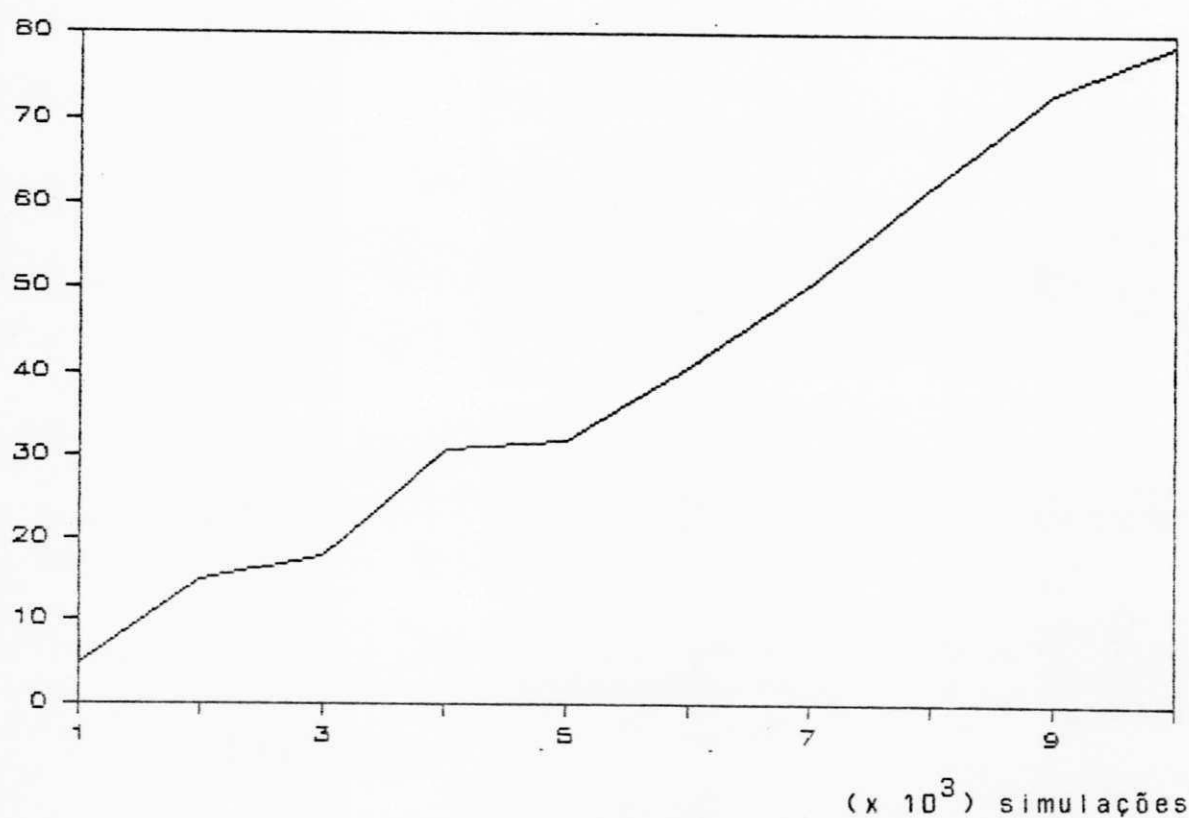


fig. 6.13 - Relação entre o tempo computacional - Monte Carlo vs FCP

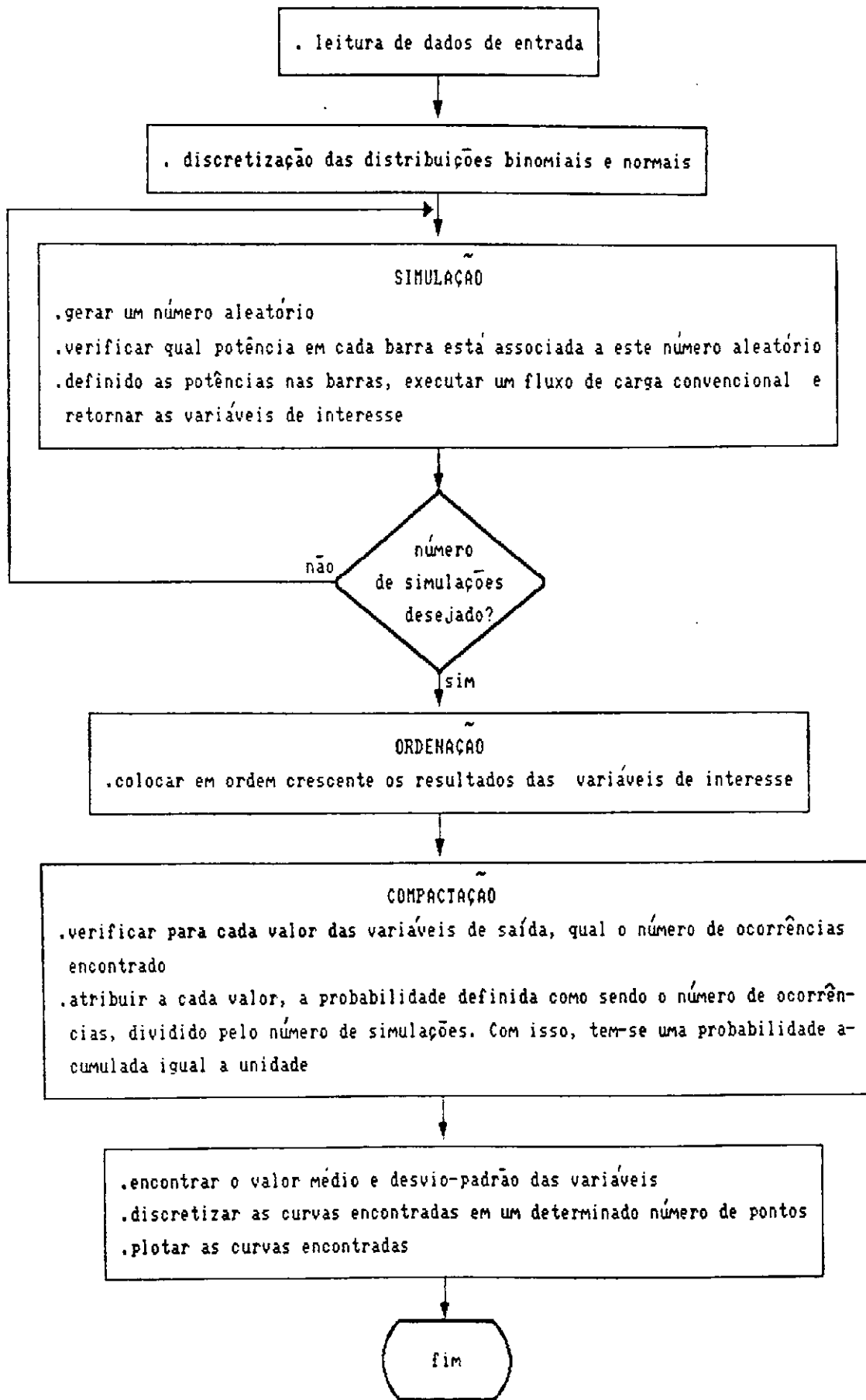


fig. 6.14 - Fluxograma para a simulação de Monte Carlo

- . O aumento no grau de incerteza acarreta uma menor distorção para um aumento no número de simulações.
- . O aumento no grau de incerteza determina um aumento na diferença do campo de variação entre a simulação de Monte Carlo e o FCP.
- . O FCP é o resultado da simulação de Monte Carlo para um número de simulações muito grande, embora o tempo computacional para o FCP seja bem menor que para a simulação de Monte Carlo.

6.11 - INTERFACE COM ARQUIVOS HISTÓRICOS

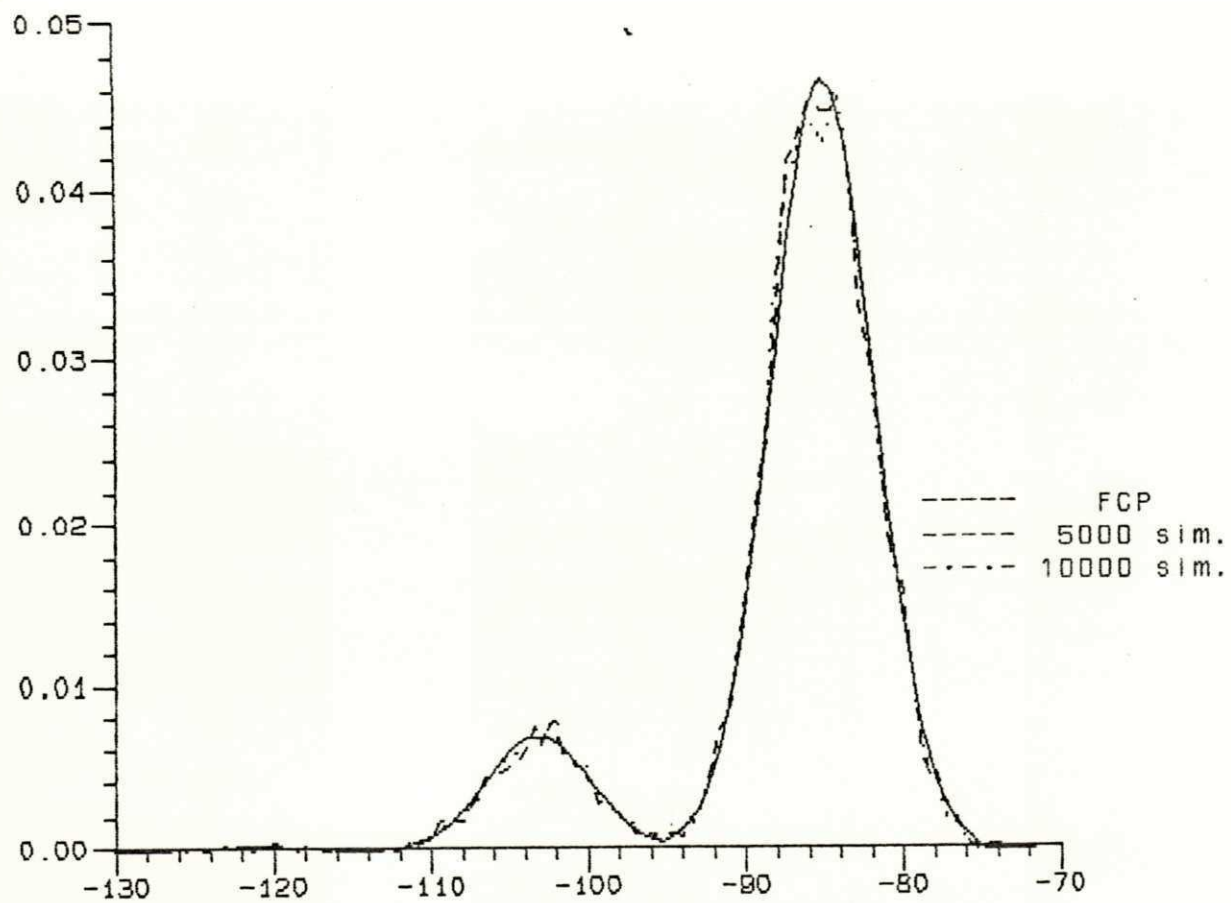
A utilização do programa de FCP em sistemas com um grande número de barras, torna necessário o aproveitamento de arquivos com os dados do sistema, utilizados em outros programas.

Um programa que contém a maior parte dos dados do FCP, é um programa de fluxo de carga determinístico. Está então em desenvolvimento um programa de interface do programa de FCP com arquivos históricos do Load Flow da PECD. Este programa de interface transfere os dados de linha e de barra do arquivo histórico e modela as injeções de potência ativa e reativa como distribuições normais. Esta modelagem padrão é decorrente da maioria das distribuições de carga serem descritas por este tipo de distribuição. Distribuições diferentes destas, como as binomiais referentes a geradores ou grupo de motores ou distribuições discretas devem ser incluídos à parte. A transferência será de maneira direta e não, sequencial, evitando truncamentos que podem introduzir erros.

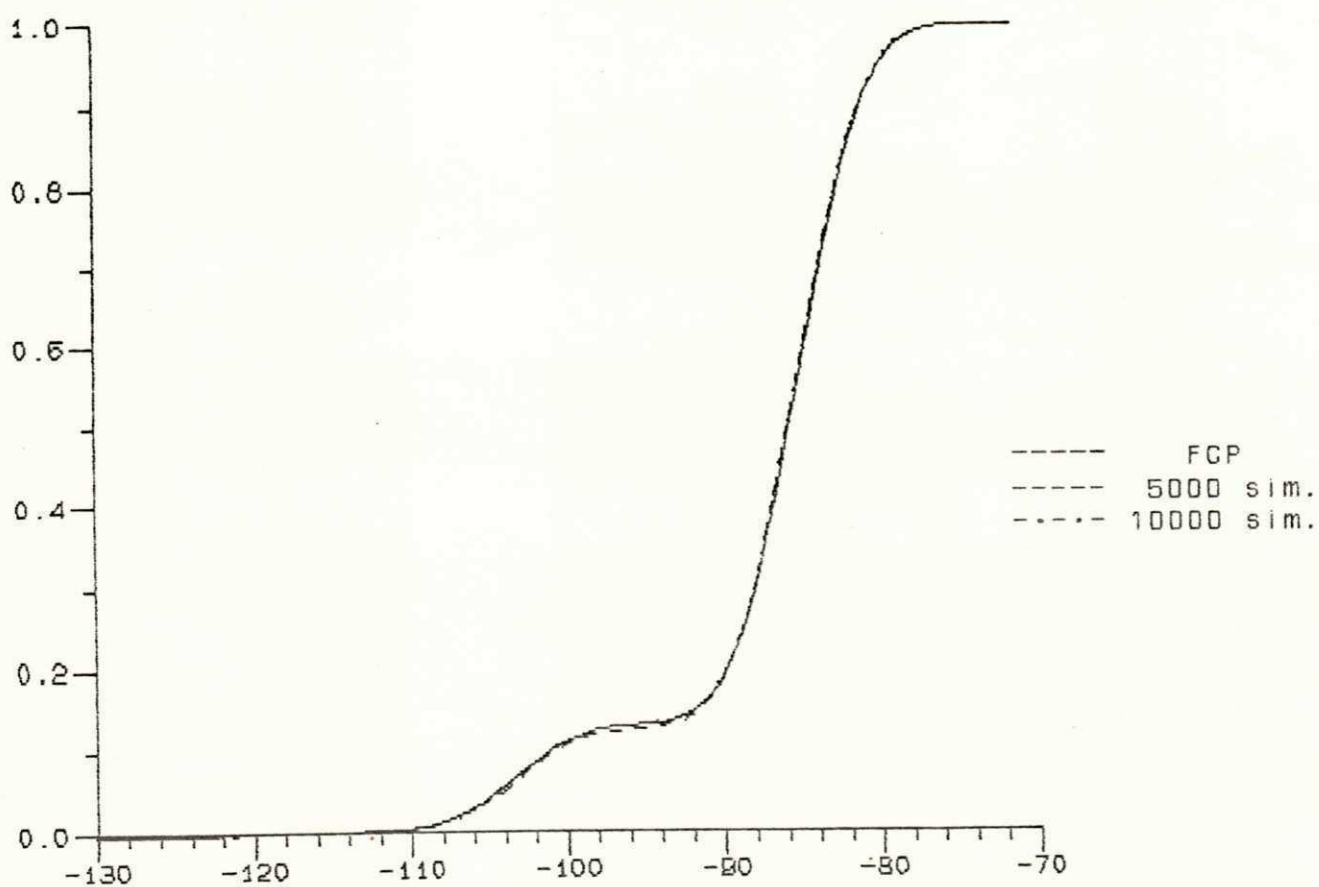
6.12 - CONCLUSÕES

O objetivo deste capítulo, foi apresentar alguns tópicos, que foram desprezados ou não-considerados na formulação descrita no cap. 2. Estes tópicos podem ser incorporados a um algoritmo de FCP, para obter resultados mais realistas, nas variáveis de saída.

Foi também abordado a simulação de Monte Carlo como sendo um método para se obter as fdp's referentes às v.a. de saída, embora este método requera um tempo computacional muito grande.

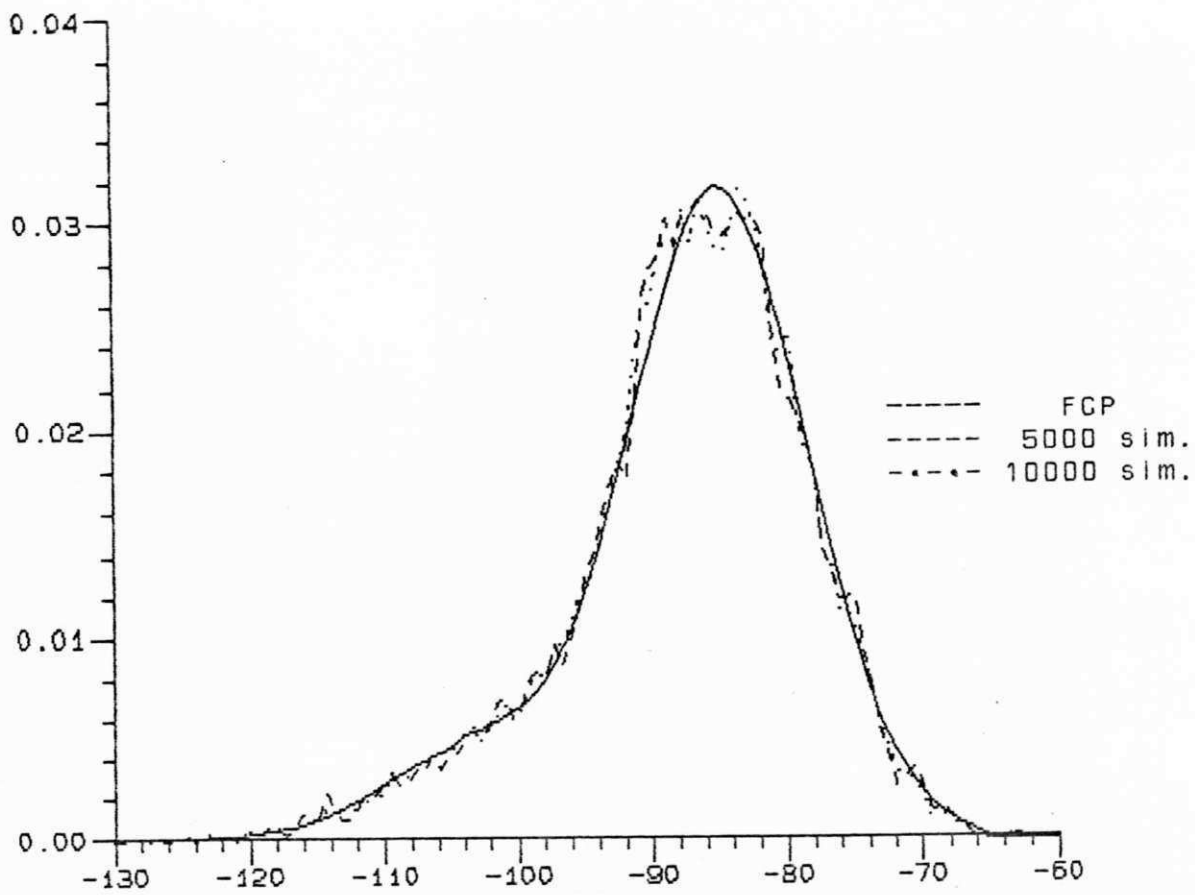


a) Função densidade de probabilidade para $\delta = 1$

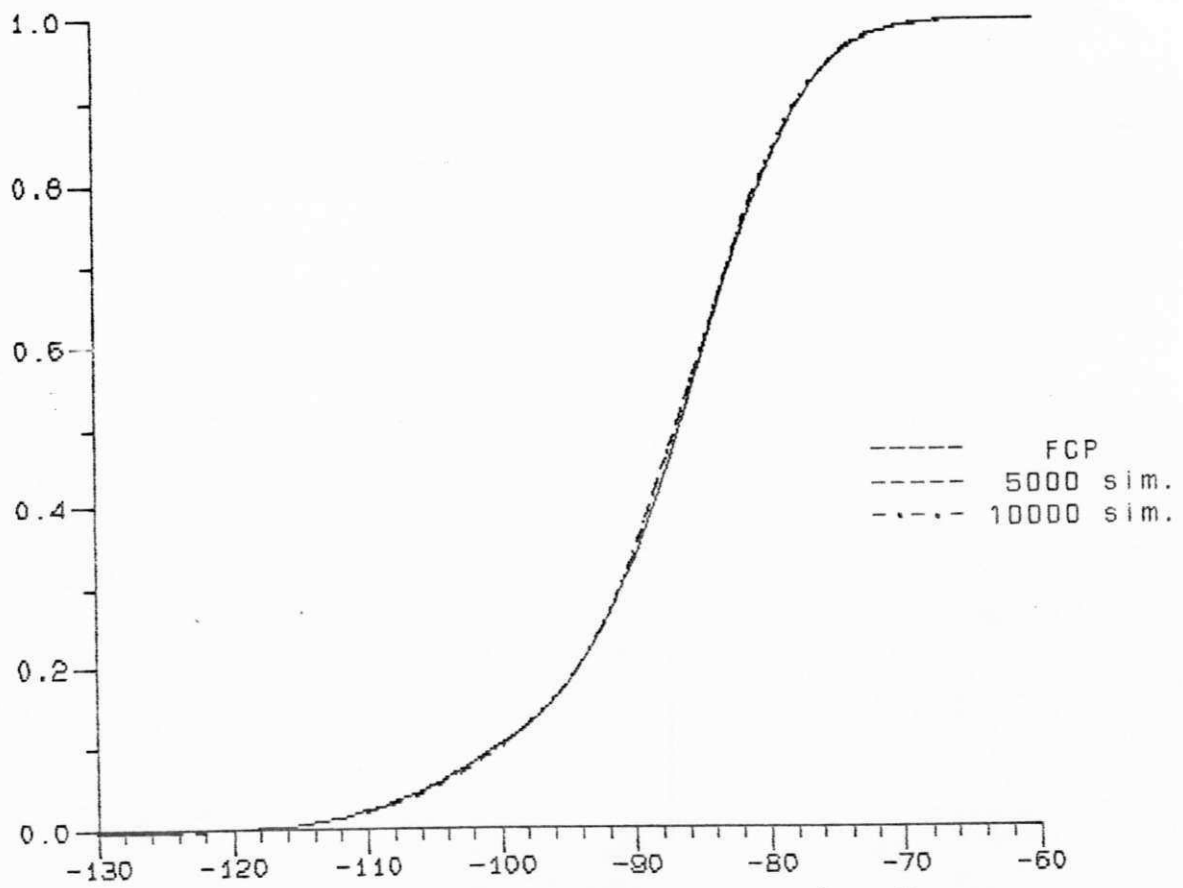


b) Distribuição acumulada para $\delta = 1$

Fig. 6.15 - Fluxo de pot. ativa na linha 2 - 1 (5 bar.) (MW)

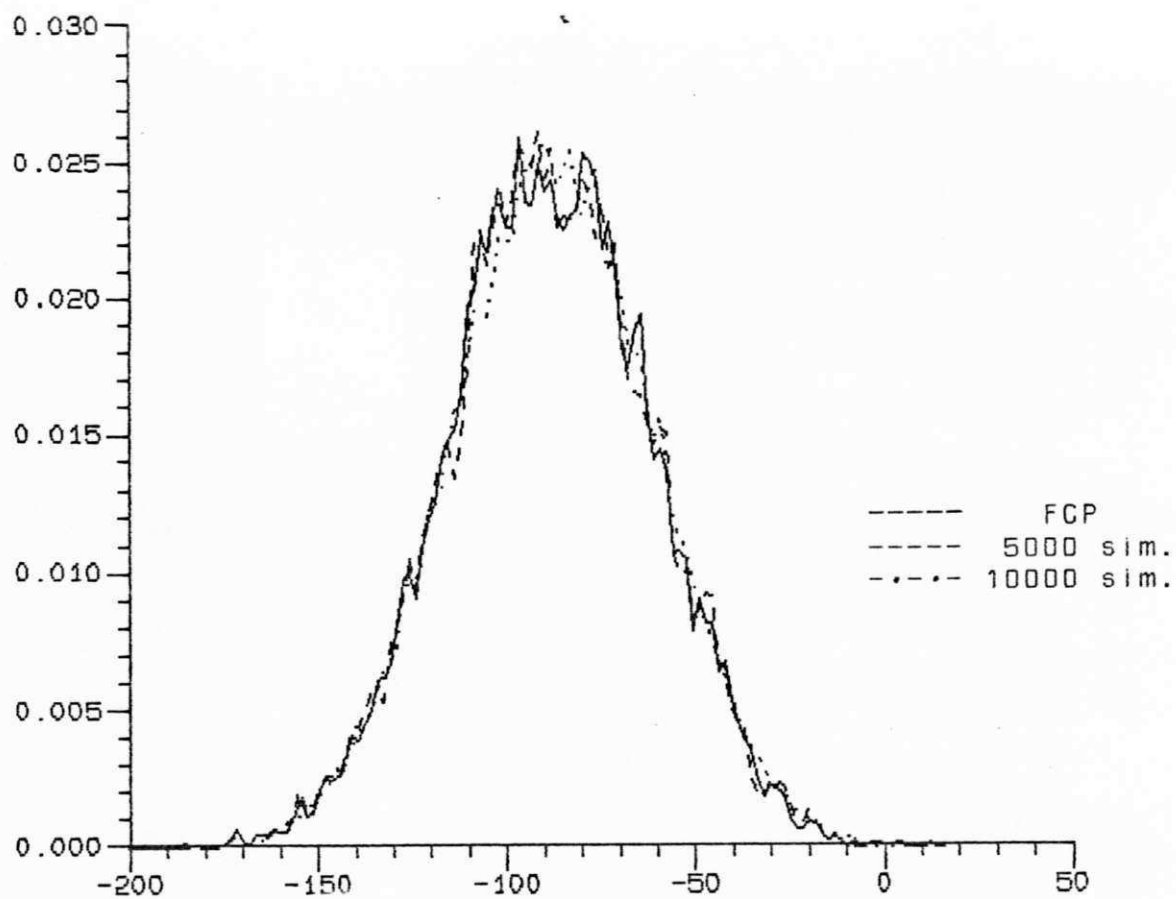


a) Função densidade de probabilidade para $\delta = 2$

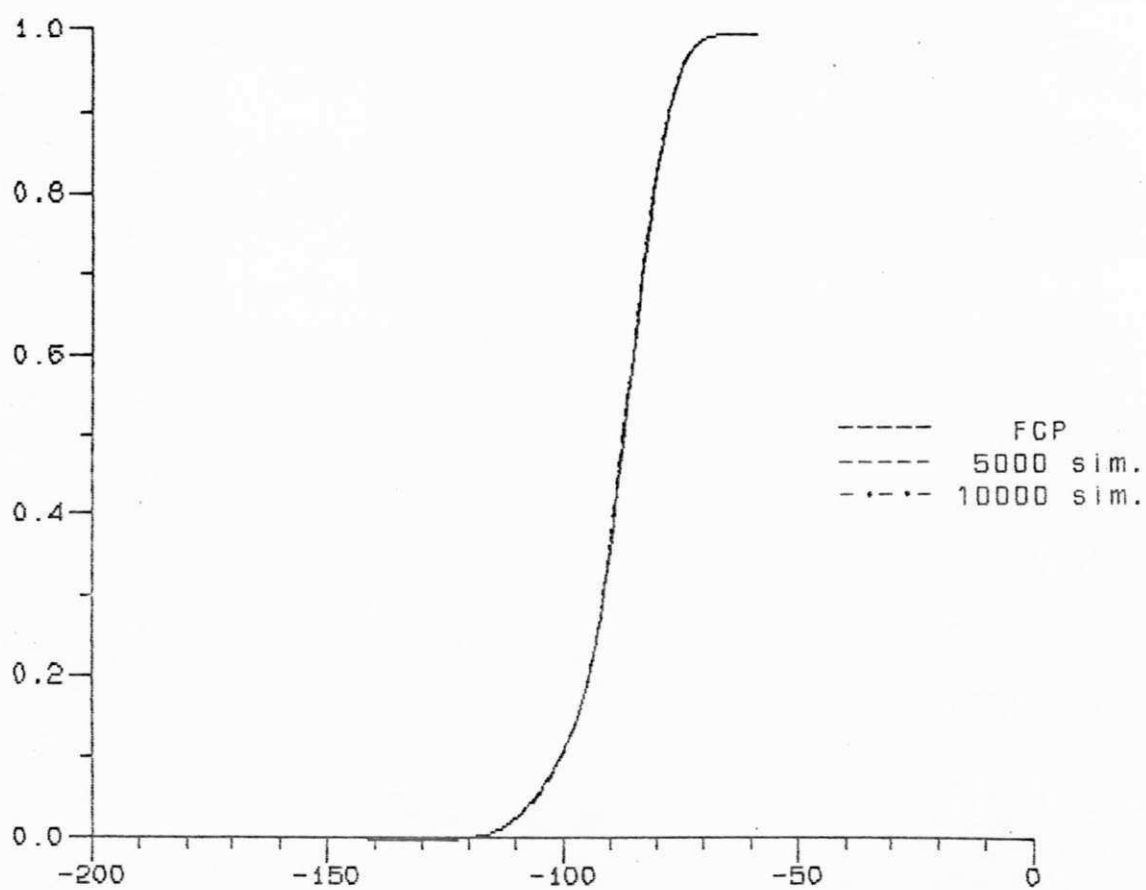


b) Distribuição acumulada para $\delta = 2$

Fig. 6.16 - Fluxo de pot. ativa na linha 2 - 1 (5 bar.) (MW)

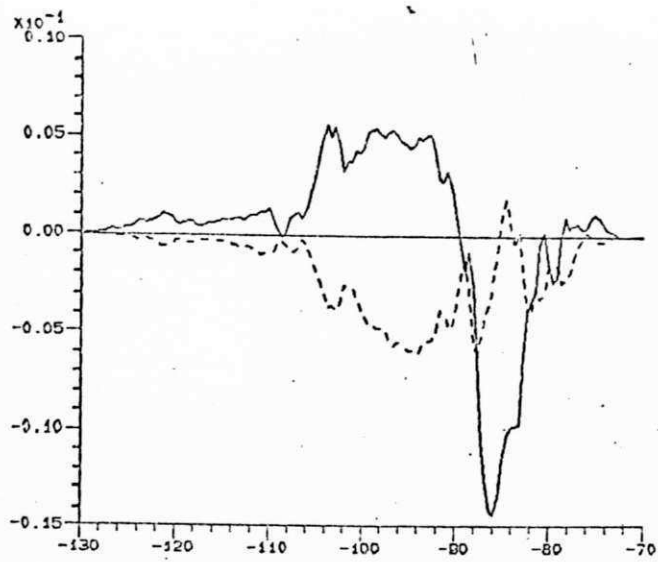


a) Função densidade de probabilidade para $\delta = 8$

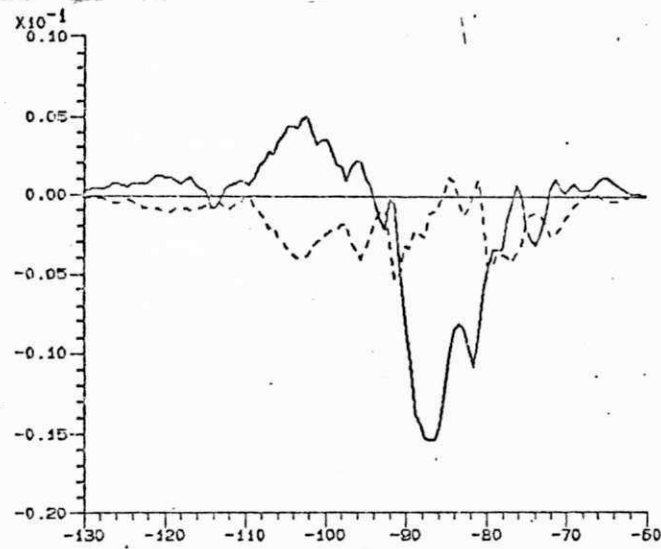


b) Distribuição acumulada para $\delta = 8$

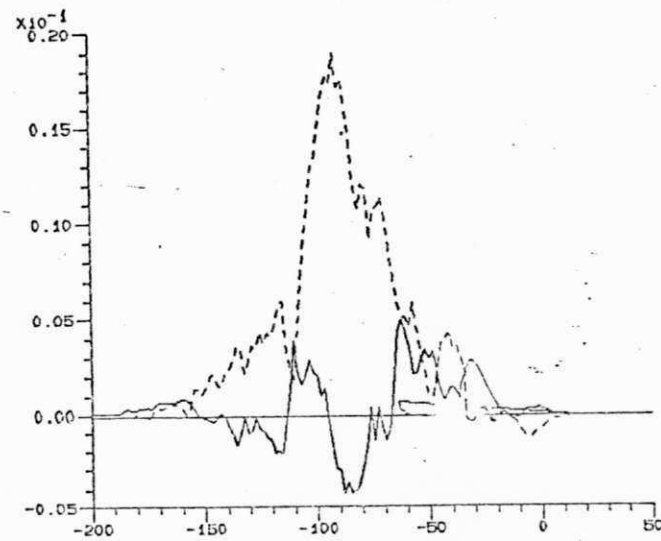
Fig. 6.17 - Fluxo de pot. ativa na linha 2 - 1 (5 bar.) (MW)



a) difer. entre as distr. acumul. para $\delta = 1$



b) difer. entre as distr. acumul. para $\delta = 2$



c) difer. entre as distr. acumul. para $\delta = 8$

Fig. 6.18 - Fluxo de potência ativa na linha 2 - 1

CAPÍTULO 7

REPRESENTAÇÃO PROBABILÍSTICA DOS DADOS REFERENTES ÀS POTÊNCIAS INJETADAS NAS BARRAS

7.1 - INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é fazer uma descrição geral de como modelar as potências injetadas nas barras, através de distribuições de probabilidade.

Nessa modelagem, é necessário definir o horizonte em estudo, para que haja a melhor representação possível da incerteza na carga. Isso é devido ao fato da carga ter:

- 1 - Variação diária associada a fatores ambientais e hábitos característicos de consumidores, e
- 2 - Variação no crescimento anual devido a fatores de origem sócio-econômicas.

Essa modelagem é geralmente feita através de três tipos de distribuições:

- Binomiais;
- Discretas e
- Normais ou Gaussianas.

No ítem 7.3 têm-se a descrição de uma metodologia^[16], que determina como modelar a incerteza associada ao ítem 1. A modelagem do segundo tipo de incerteza ainda não está definida, ficando para um estudo posterior.

Essa metodologia foi aplicada para modelar as injeções de potência nas barras do sistema CHESF.

7.2 - DISTRIBUIÇÕES UTILIZADAS

Tem-se a seguir, uma descrição de cada distribuição.

7.2.1 - DADOS DE BARRA BINOMIAIS

Pode-se aplicar este tipo de distribuição às barras de geração compostas por um conjunto de unidades geradoras similares e independentes. A distribuição binomial será então caracterizada pelo número n de unidades, pela potência unitária R de cada unidade e pela taxa q de saída forçada.

A função densidade de probabilidade de uma distribuição binomial é dada por:

$$(7.1) \quad P(X = kR) = \binom{n}{k} p^k q^{n-k}, \quad k = 0, 1, \dots, n$$

Aplicando a equação (7.1), para as unidades geradoras, tem-se:

n = número de unidades geradoras
 q = taxa de saída forçada de cada unidade
 $p = 1 - q$
 kR = potência de cada unidade multiplicada pelo índice k do impulso.

Exemplificando uma aplicação da eq.(7.1), tem-se, para $n = 3$:

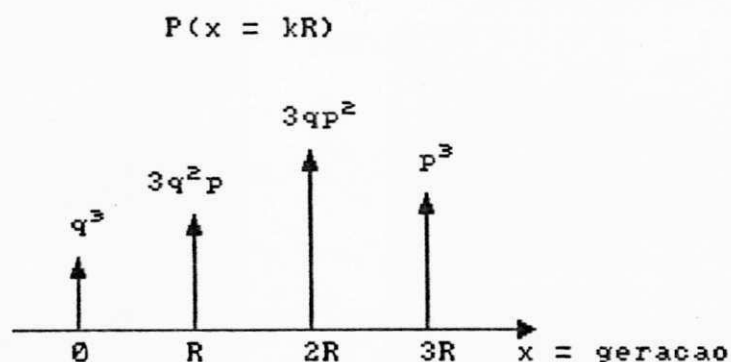


Fig. 7.1 - Distribuição binomial

Vê-se na fig. 7.1 que essa distribuição, embora seja uma distribuição discreta, tem duas características que a tornam uma distribuição especial:

- a) Seus impulsos são igualmente espaçados de R .
- b) Seus impulsos são obtidos através de uma função (eq. (7.1)).

O valor esperado e variância para essa distribuição são dados por:

$$(7.2) \quad u = npR$$

$$(7.3) \quad \sigma^2 = npqR^2$$

7.2.2 - DADOS DE BARRA NORMAIS

Embora refinamentos estejam continuamente sendo incorporados aos métodos de previsão de carga, existem variados graus de diferença entre as cargas previstas e as reais.

Geralmente é assumido que as incertezas advindas da previsão de carga podem ser modeladas adequadamente por meio de uma distribuição normal, cujos parâmetros são determinados de experiências passadas. O valor esperado da distribuição é o pico de carga prevista.

Assim, a incerteza que sempre existe na previsão de carga pode ser facilmente modelada, desde que a distribuição da incerteza da previsão de carga seja conhecida.

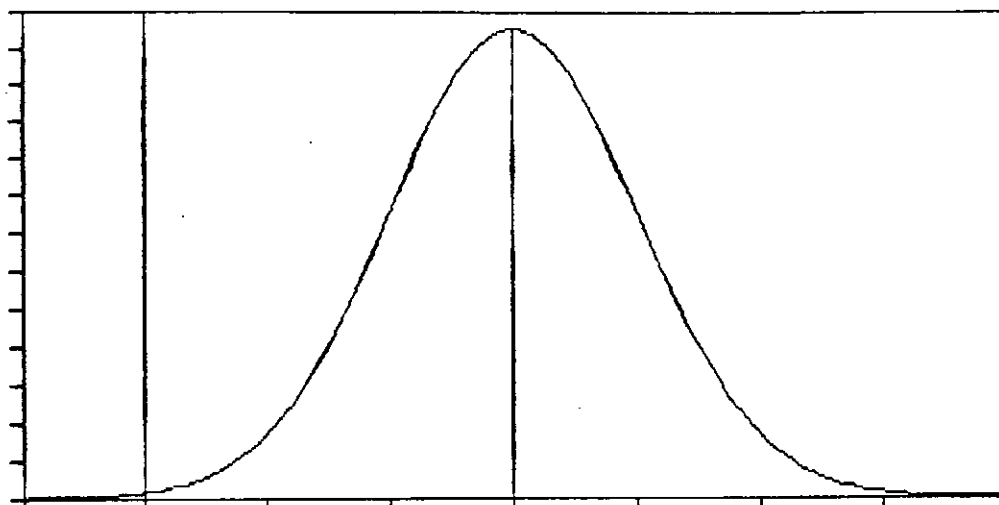


fig. 7.2 - Distribuição normal

A distribuição normal é caracterizada pelo valor esperado e pelo desvio padrão. Sua função densidade de probabilidade é dada por:

$$(7.4) \quad f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-u}{\sigma} \right)^2 \right]$$

Uma interessante característica dessa distribuição pode ser obtida da tab. 4.1.

Seja a variação de uma carga, modelada por uma distribuição normal, com parâmetros μ e σ . Têm-se então aproximadamente 99.73 % de probabilidade da carga estar entre 3σ em torno do valor esperado. Por exemplo, se $\mu = 10$ MW e $\sigma = 3$ MW, têm-se essa probabilidade da carga estar entre 7 MW e 13 MW. Isso dá uma

noção do significado de σ .

7.2.3 - DADOS DE BARRA DISCRETOS

Quando as unidades de geração não tem as características descritas na seção 7.2.1, ou as cargas tem uma variância muito grande, os dados de barra são representados por uma série de impulsos, associados às respectivas probabilidades individuais de ocorrência. A soma dessas probabilidades é igual a unidade.

A função densidade associada a este tipo de distribuição é dada por:

$$(7.5) \quad f_X(x) = \sum_{k=1}^n p_k \delta(x - x_k)$$

onde:

n = número de impulsos

x_k = k -ésimo valor do impulso, associado a

p_k = probabilidade de ocorrência do impulso k .

O valor esperado e a variância σ^2 , são dados por:

$$(7.6) \quad u = \sum_{k=1}^n x_k p_k$$

$$(7.7) \quad \sigma^2 = \sum_{k=1}^n (x_k - u)^2 p_k$$

A fig. 7.3 apresenta uma distribuição discreta típica.

Vê-se que a distribuição apresentada na fig. 7.3 não tem os impulsos igualmente espaçados, nem seu tipo de curva segue uma distribuição normal.

Um caso particular da distribuição discreta é obtido se existe apenas um impulso. Assim, este valor determinístico da potência pode ser modelado probabilisticamente através de uma v.a. normal com valor esperado igual ao valor do impulso e desvio padrão igual a zero. Ou então, por uma v.a. discreta com probabilidade de ocorrência igual a unidade.

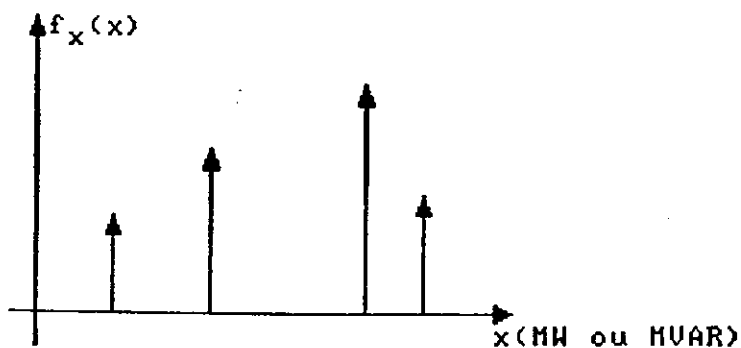


fig. 7.3 - Distribuição discreta

7.3 - MODELAGEM DAS CARGAS

7.3.1 - INTRODUÇÃO

Como já foi descrito no ítem 2.2, os dados referentes à carga e geração no FGP precisam ser modeladas como variáveis aleatórias. Essa modelagem pode ser feita levando-se em consideração a variação diária do consumo, ou seja, hábitos dos consumidores e fatores climáticos, assim como a variação anual da carga para representar o crescimento desta carga, ano a ano, devido a fatores de ordem sócio-econômicas.

A incerteza associada à variação diária do consumo foi modelada, para as cargas do sistema CHESF. A seguir é descrito os procedimentos e os resultados dessa modelagem.

7.3.2 - OBTENÇÃO DOS DADOS DE CARGA

Os dados foram obtidos através de registradores de demanda (RDTD's), para o período de 15/09/86 a 14/11/86. Esse período foi definido por ser o período mais desfavorável, ou seja, está em torno da ponta da carga anual do sistema. Este ano foi escolhido por não haver racionamento de energia, tendo-se uma representação mais realista da variação diária da carga.

Depois de verificado os valores de carga em cada barra, chegou-se a conclusão de que a ponta diária estava entre as 18:15 e 19:00 hs para o horário normal. No período do horário de verão (a partir do dia 25/10/86), esse período é deslocado de uma hora (entre 19:15 e 20:00 hs).

Como os dados foram obtidos através de leitura integralizada de 15 em 15 min., encontrou-se o valor médio desses quatro valores, para a representação da carga num determinado dia.

Quando em uma determinada barra estava faltando um grande número de dados medidos (mais de cinco valores), usou-se os dados referentes ao período de 14/09/87 a 13/11/87, levando em consideração também neste caso, o horário de verão. Isso resultou na modelagem da maioria das barras do sistema CHESF.

Determinados valores da carga diferiam bastante do comportamento tendencioso da carga, fazendo com que estes valores fossem desprezados e substituídos pelo valor médio do período.

Esses valores díspares podiam ser decorrentes de o medidor estar desativado neste determinado dia. Sábados, domingos e feriados também foram desprezados, pois nestes dias o comportamento da carga é atípico.

Isto resultou em 45 valores de MW e MVAR para cada barra de carga.

7.3.3 - A CURVA DE TENDÊNCIA

Tendo-se os dados diários associados a cada barra, já retirados os valores díspares, se tornou necessário retirar a tendenciosidade das séries temporais associadas às variações da carga. Essa tendência é devido ao crescimento natural da carga. Retirada a tendência, têm-se a variação da carga em torno dessa tendência, que é justamente o que será modelado estatisticamente.

Há várias maneiras de se determinar a tendência de uma série temporal. Têm-se, por exemplo:

- Método gráfico;
- Método das médias móveis e
- Método das curvas matemáticas.

Este último método foi o adotado, onde procura-se ajustar uma curva matemática à série temporal. O ajustamento é feito usando o método dos mínimos quadrados, que procura minimizar $(Y - Y_t)^2$, onde Y corresponde às observações medidas e Y_t os valores de tendência definida por uma expressão matemática.

As expressões matemáticas utilizadas no ajuste foram as seguintes:

- | | |
|-----------------|-----------------------|
| 1 - Reta | $Y = a + b*t$ |
| 2 - Parábola | $Y = a + b*t + c*t^2$ |
| 3 - Exponencial | $Y = \exp(a + b*t)$ |

- 4 - Logarítmo $Y = a * \log(b*t)$
- 5 - Hipérbole A $Y = a + b/t$
- 6 - Hipérbole B $Y = 1 / (a + b*t)$
- 7 - Hipérbole C $Y = t / (a + b*t)$
- 8 - Potência de t $Y = a * t^b$

Obtido os valores de tendência da carga, subtrai-se estes valores dos respectivos dados de carga, obtendo-se uma série de diferenças, que resulta na diferença entre o valor medido e a tendência. É esta série que será modelada estatísticamente.

A tab. 7.1 lista os dados de MW e MVAR para determinadas barras, assim como as respectivas tendências e diferenças entre estes valores. As figs. 7.4 a 7.7, (tens a) e b), mostram as curvas associadas a estes valores. Os dados foram os obtidos em 1986, com exceção dos relativos ao barramento em 69 KV - SE Rio Largo (RLD 69 KV / 642), cujos dados são referentes ao período de 1987.

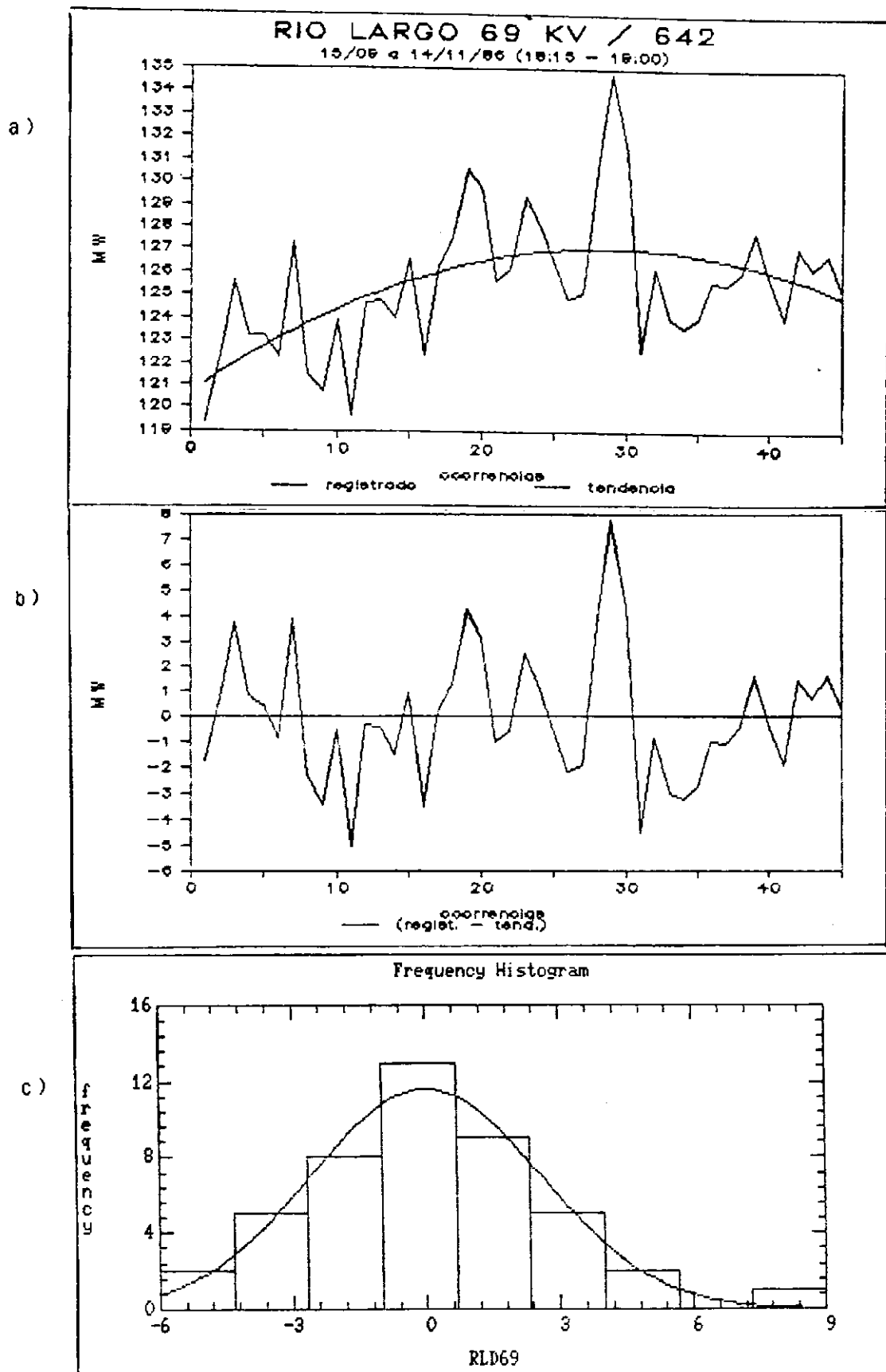
7.3.4 - O TESTE DE ADERÊNCIA

Obtidas as séries que indicam a variação da carga em torno da tendência, é feito um teste de aderência nestas séries para se determinar qual o melhor tipo de distribuição de probabilidade associada a estas séries. Esse teste se limitará a determinar se uma série será modelada por uma distribuição normal, fazendo-se um teste de aderência. Se não satisfizer um critério de aderência, tenta-se então modelar esta série por uma distribuição discreta. O critério é definido pelo tipo de teste de hipótese não-paramétrico empregado. Entre os tipos de teste, têm-se:

- Teste de aderência gráfica;
- Teste de Pearson ou χ^2 ;
- Teste de Kolmogorov-Smirnov e
- Teste de Cramér-von-Mises.

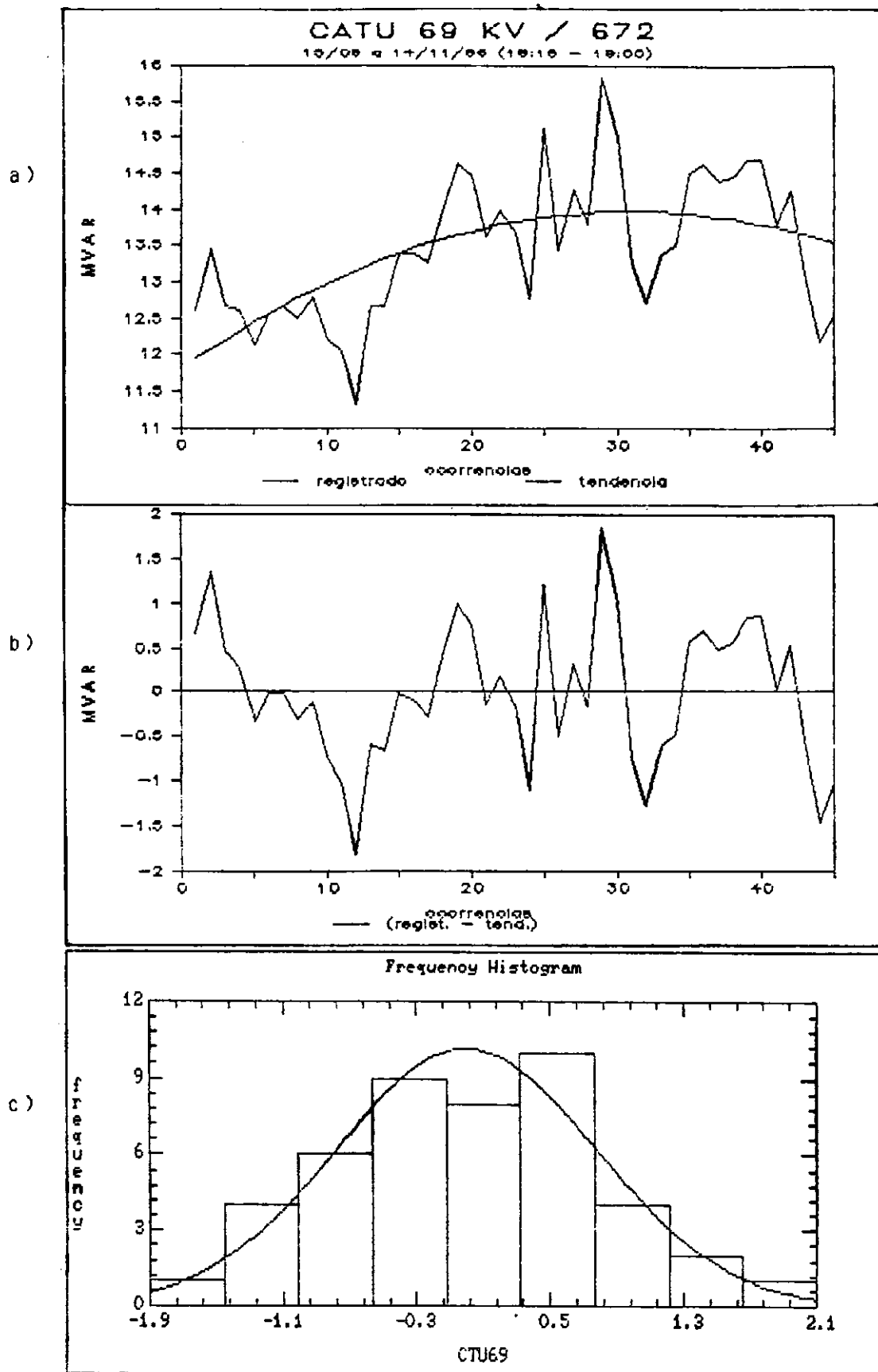
O critério assumido é definido pelo teste de qui-quadrado. Este teste compara as frequências observadas com as esperadas, definidas pela distribuição assumida. A comparação é feita segundo a equação:

$$(7.8) \quad \chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e} = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_{i0})^2}{np_{i0}}$$



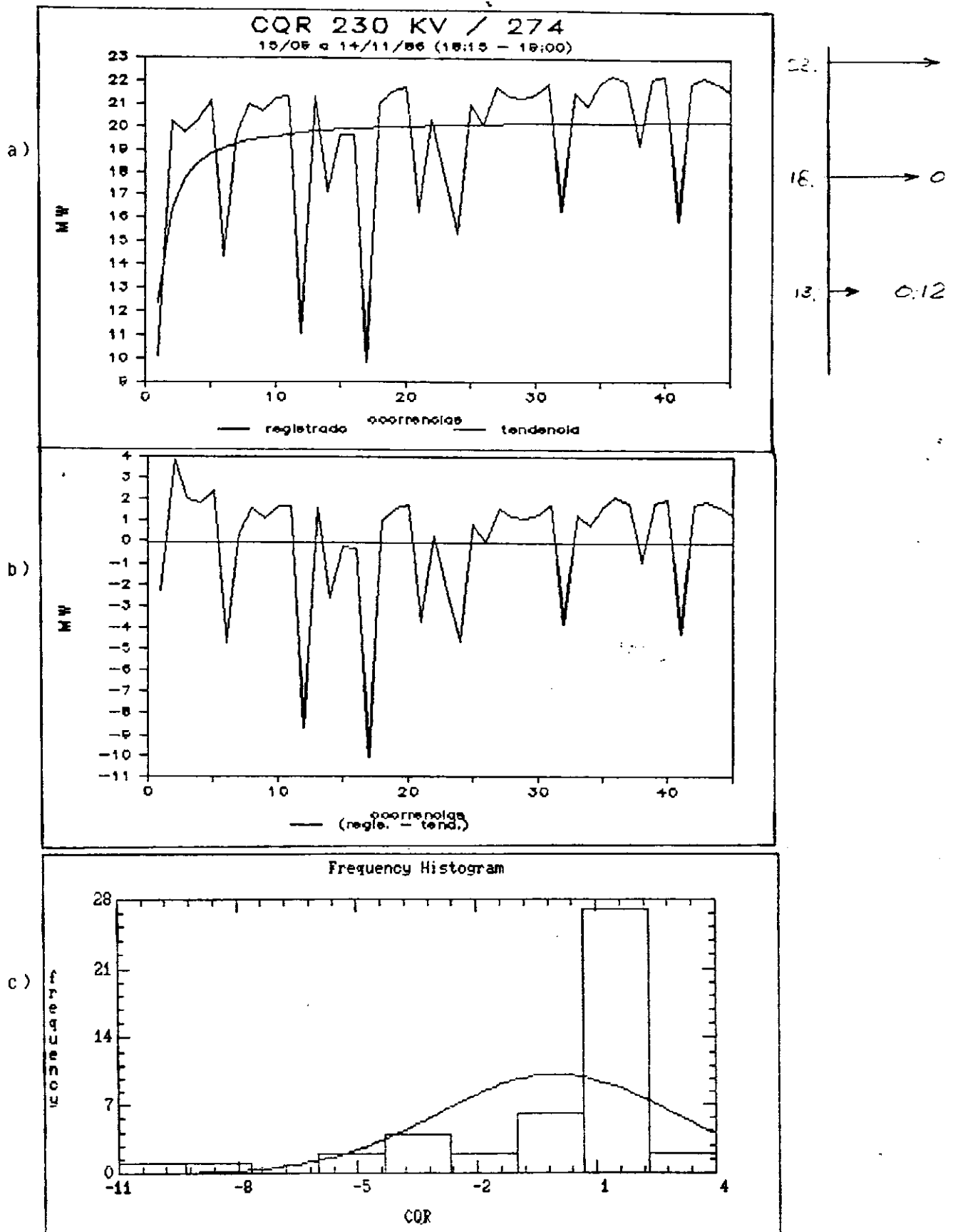
Parâmetros estimados : $\mu = -1.5556E-3$, $\sigma = 2.1745$
 $\chi^2_{crit} = 1.5412$, com 1 grau de liberdade
 $P(\chi^2_{crit} > 1.5412) = 0.21444$

fig. 7.4 - Curvas na barra 675 referentes a (em MW):
 a) observado e tendência
 b) diferença entre observado e tendência
 c) histograma da diferença



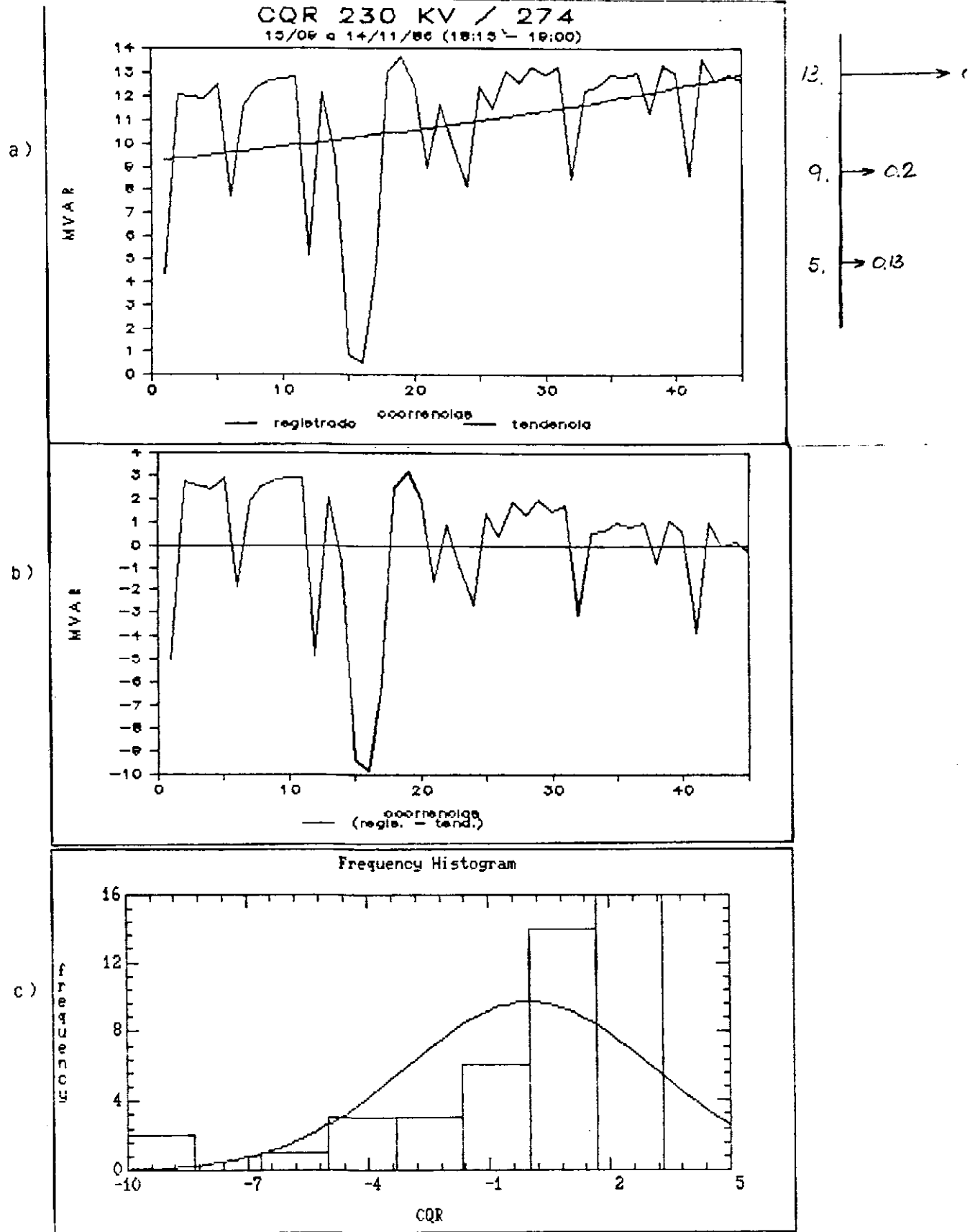
Parâmetros estimados : $\mu = -2.2222E-4$, $\sigma = 0.78508$
 $\chi^2_{n-1} = 0.98568$ com 2 graus de liberdade
 $P(\chi^2_{n-1} > 0.98568) = 0.61089$

fig. 7.5 - Curvas na barra 672 referentes a (em MVAR):
 a) observado e tendência
 b) diferença entre observado e tendência
 c) histograma de frequência



Parâmetros estimados : $\mu = -6.6667E-4$, $\sigma = 2.923$
 $\chi^2 = 45.826$, com 2 graus de liberdade
 $P(\chi^2 > 45.826) = 1.1194E-10$

fig. 7.6 - Curvas na barra 274 referentes a (em MW):
 a) observado e tendência
 b) diferença entre observado e tendência
 c) histograma de frequência



Parâmetros estimados : $\mu = 0.010667$, $\sigma = 3.0812$
 $\chi^2_{0.05} = 8.161$, com 2 graus de liberdade
 $P(\chi^2 > 8.161) = 0.016899$

fig. 7.7 - Curvas na barra 274 referentes a (em MVAR):
 a) observado e tendência
 b) diferença entre observado e tendência
 c) histograma de frequência

CATU 69 KV / 672							RIO LARGO 69 KV / 642						
ocor.	dia	MW	tend.	dif.	MVAR	tend.	dif.	MW	tend.	dif.	MVAR	tend.	dif.
								*****			*****		
1	15/09/86	53.04	53.02	0.02	12.60	11.94	0.66	119.34	121.11	-1.77	42.66	39.75	2.91
2	16/09/86	54.12	53.54	0.58	13.44	12.08	1.36	122.31	121.53	0.78	45.90	40.65	5.25
3	17/09/86	54.00	53.85	0.15	12.66	12.21	0.45	125.6411	121.94	3.70	31.55	41.18	-9.64
4	18/09/86	54.12	54.07	0.05	12.60	12.33	0.27	123.21	122.33	0.88	41.54	41.56	-0.03
5	19/09/86	53.82	54.24	-0.42	12.12	12.45	-0.33	123.17	122.71	0.45	44.06	41.86	2.19
6	22/09/86	54.36	54.37	-0.01	12.54	12.56	-0.02	122.27	123.07	-0.81	41.63	42.11	-0.48
7	23/09/86	54.90	54.49	0.41	12.66	12.67	-0.01	127.31	123.42	3.89	45.99	42.32	3.67
8	24/09/86	53.70	54.59	-0.89	12.48	12.78	-0.30	121.46	123.75	-2.29	41.13	42.50	-1.37
9	25/09/86	52.92	54.68	-1.76	12.78	12.88	-0.10	120.69	124.06	-3.37	37.89	42.66	-4.77
10	26/09/86	54.66	54.76	-0.10	12.24	12.98	-0.74	123.89	124.36	-0.47	40.50	42.81	-2.31
11	29/09/86	52.56	54.83	-2.27	12.06	13.07	-1.01	119.61	124.64	-5.03	38.66	42.94	-4.28
12	30/09/86	52.50	54.90	-2.40	11.34	13.16	-1.82	124.61	124.91	-0.30	45.41	43.06	2.35
13	01/10/86	55.74	54.96	0.78	12.66	13.24	-0.58	124.74	125.16	-0.42	45.54	43.17	2.37
14	02/10/86	55.14	55.02	0.12	12.66	13.32	-0.66	123.93	125.40	-1.47	41.99	43.27	-1.29
15	03/10/86	56.16	55.07	1.09	13.38	13.40	-0.02	126.59	125.62	0.97	42.17	43.37	-1.20
16	06/10/86	56.28	55.12	1.16	13.38	13.47	-0.09	122.36	125.82	-3.47	42.17	43.46	-1.29
17	07/10/86	56.10	55.16	0.94	13.26	13.53	-0.27	126.23	126.01	0.21	45.27	43.54	1.73
18	08/10/86	56.40	55.21	1.19	13.98	13.60	0.38	127.49	126.18	1.30	41.04	43.62	-2.58
19	09/10/86	57.30	55.25	2.05	14.64	13.65	0.99	130.55	126.34	4.20	47.07	43.70	3.37
20	10/10/86	58.02	55.29	2.73	14.46	13.71	0.75	129.65	126.48	3.16	47.07	43.77	3.30
21	13/10/86	54.24	55.32	-1.08	13.62	13.75	-0.13	125.6411	126.61	-0.97	43.6286	43.84	-0.21
22	14/10/86	56.34	55.36	0.98	13.98	13.80	0.18	126.18	126.72	-0.54	42.66	43.90	-1.24
23	15/10/86	55.20	55.39	-0.19	13.68	13.84	-0.16	129.33	126.82	2.51	43.65	43.97	-0.32
24	16/10/86	54.78	55.43	-0.65	12.78	13.87	-1.09	128.07	126.90	1.17	41.85	44.03	-2.18
25	17/10/86	57.36	55.46	1.90	15.12	13.90	1.22	126.45	126.96	-0.51	45.63	44.08	1.55
26	20/10/86	54.96	55.49	-0.53	13.44	13.93	-0.49	124.83	127.01	-2.18	44.33	44.14	0.19
27	21/10/86	56.46	55.52	0.94	14.28	13.95	0.33	125.10	127.05	-1.95	43.07	44.19	-1.13
28	22/10/86	56.22	55.54	0.68	13.80	13.96	-0.16	130.59	127.06	3.53	47.52	44.24	3.28
29	23/10/86	58.20	55.57	2.63	15.84	13.98	1.86	134.78	127.07	7.71	46.94	44.29	2.64
30	24/10/86	56.46	55.60	0.86	15.00	13.99	1.01	131.40	127.05	4.35	49.05	44.34	4.71
31	27/10/86	52.74	55.62	-2.88	13.26	13.99	-0.73	122.54	127.02	-4.49	42.46	44.39	-1.91
32	28/10/86	51.96	55.64	-3.68	12.72	13.99	-1.27	126.18	126.98	-0.80	47.30	44.44	2.86
33	29/10/86	53.22	55.67	-2.45	13.38	13.98	-0.60	123.93	126.92	-2.99	45.72	44.48	1.24
34	30/10/86	54.06	55.69	-1.63	13.50	13.97	-0.47	123.62	126.84	-3.23	43.43	44.52	-1.10
35	31/10/86	55.68	55.71	-0.03	14.52	13.96	0.56	123.98	126.75	-2.78	44.82	44.56	0.26
36	03/11/86	55.74	55.73	0.01	14.64	13.94	0.70	125.6411	126.64	-1.00	43.6286	44.60	-0.98
37	04/11/86	55.62	55.75	-0.13	14.40	13.92	0.48	125.46	126.52	-1.06	39.78	44.64	-4.86
38	05/11/86	56.70	55.77	0.93	14.46	13.89	0.57	125.96	126.38	-0.43	42.21	44.68	-2.47
39	06/11/86	56.76	55.79	0.97	14.70	13.86	0.84	127.85	126.23	1.62	45.14	44.72	0.42
40	07/11/86	56.34	55.81	0.53	14.70	13.82	0.88	125.78	126.06	-0.29	45.50	44.75	0.74
41	10/11/86	54.12	55.83	-1.71	13.80	13.78	0.02	123.98	125.88	-1.90	43.56	44.79	-1.23
42	11/11/86	56.46	55.85	0.61	14.28	13.73	0.55	127.13	125.68	1.45	46.40	44.83	1.57
43	12/11/86	56.64	55.87	0.77	13.14	13.68	-0.54	126.14	125.46	0.68	43.38	44.86	-1.48
44	13/11/86	55.56	55.89	-0.33	12.18	13.63	-1.45	126.81	125.23	1.58	45.99	44.89	1.10
45	14/11/86	55.96	55.96	0.00	12.54	13.57	-1.03	125.24	124.98	0.25	45.50	44.92	0.57
MEDIA		55.192	55.192	0.000	13.460	13.460	0.000	125.501	125.504	-0.003	43.607	43.609	-0.002
DESVIO		1.524	0.661	1.373	0.973	0.585	0.777	3.026	1.638	2.544	3.023	1.199	2.778
DESVIO					2.487%						2.827%		

tab. 7.1 - Resultados de MW, MVAR, tendência e diferença em determinadas barras de carga

ocorrência	dia	NW	tend.	COR / 274			
				dif.	NVAR	tend.	dif.
1	15/09/86	10.07	12.35	-2.28	4.34	9.31	-4.97
2	16/09/86	20.23	16.37	3.86	12.10	9.37	2.73
3	17/09/86	19.74	17.71	2.02	11.99	9.43	2.56
4	18/09/86	20.19	18.38	1.80	11.86	9.49	2.37
5	19/09/86	21.19	18.79	2.40	12.47	9.55	2.92
6	22/09/86	14.34	19.06	-4.71	7.75	9.61	-1.86
7	23/09/86	19.63	19.25	0.39	11.59	9.68	1.92
8	24/09/86	20.94	19.39	1.55	12.33	9.74	2.59
9	25/09/86	20.61	19.50	1.10	12.65	9.80	2.85
10	26/09/86	21.23	19.59	1.63	12.77	9.87	2.90
11	29/09/86	21.36	19.66	1.69	12.82	9.94	2.89
12	30/09/86	11.10	19.73	-8.63	5.17	10.01	-4.84
13	01/10/86	21.35	19.78	1.57	12.11	10.07	2.04
14	02/10/86	17.13	19.82	-2.69	9.45	10.14	-0.70
15	03/10/86	19.6101	19.86	-0.25	0.84	10.22	-9.38
16	06/10/86	19.6101	19.89	-0.28	0.48	10.29	-9.81
17	07/10/86	9.79	19.92	-10.13	4.41	10.36	-5.95
18	08/10/86	20.97	19.95	1.02	12.96	10.43	2.53
19	09/10/86	21.56	19.97	1.59	13.64	10.51	3.14
20	10/10/86	21.77	19.99	1.77	12.53	10.58	1.94
21	13/10/86	16.26	20.01	-3.76	9.00	10.66	-1.66
22	14/10/86	20.32	20.03	0.29	11.66	10.74	0.92
23	15/10/86	17.70	20.05	-2.34	9.02	10.82	-1.00
24	16/10/86	15.39	20.06	-4.67	8.24	10.90	-2.66
25	17/10/86	20.94	20.07	0.87	12.36	10.98	1.38
26	20/10/86	20.03	20.09	-0.06	11.49	11.06	0.43
27	21/10/86	21.72	20.10	1.62	13.06	11.15	1.91
28	22/10/86	21.31	20.11	1.20	12.56	11.23	1.33
29	23/10/86	21.25	20.12	1.14	13.20	11.32	1.96
30	24/10/86	21.41	20.13	1.28	12.91	11.41	1.50
31	27/10/86	21.90	20.14	1.77	13.24	11.50	1.74
32	28/10/86	16.36	20.14	-3.79	8.53	11.59	-3.06
33	29/10/86	21.46	20.15	1.30	12.23	11.68	0.55
34	30/10/86	20.93	20.16	0.77	12.39	11.78	0.62
35	31/10/86	21.87	20.17	1.70	12.87	11.87	1.00
36	03/11/86	22.26	20.17	2.09	12.81	11.97	0.84
37	04/11/86	22.00	20.18	1.82	13.01	12.07	0.94
38	05/11/86	19.22	20.18	-0.96	11.35	12.17	-0.82
39	06/11/86	22.07	20.19	1.88	13.34	12.27	1.07
40	07/11/86	22.22	20.20	2.02	12.97	12.37	0.60
41	10/11/86	15.93	20.20	-4.27	8.71	12.48	-3.77
42	11/11/86	21.92	20.20	1.71	13.58	12.58	0.99
43	12/11/86	22.16	20.21	1.95	12.64	12.69	-0.05
44	13/11/86	21.88	20.21	1.67	12.94	12.80	0.13
45	14/11/86	21.54	20.22	1.32	12.64	12.92	-0.28
MEDIA		19.610	19.610	-0.000	10.930	10.920	0.010
DESVIO		3.174	1.310	2.891	3.220	1.059	3.047
DESVIO (Z)				14.740%			27.872%

tab. 7.1 - Continuação

Nível de tensão	AREA	BARRA	(Z)	T	BARRA	(Z)	T	BARRA	(Z)	T	BARRA	(Z)	T		
69 KV	SUL	A : Camaçari / 4.5 : N	:	:	Cotegipe / 4.3 : N	:	:	Catú / 672 : 2.5 : N	:	:	Gov. Manga- : 2.0 : N	:	:	Itabaiana : 2.4 : N	
		R : II / 674 : 19.9 : D	:	:	679 : 7.7 : N	:	:	5.7 : N	:	:	beira / 675 : 7.9 : N	:	:	/ 671 : 13.3 : N	
	LESTE	A : Jacaracanga : 5.1 : D	:	:	Jardim / : 1.9 : N	:	:	Matatu / : 4.9 : N	:	:	Pituacó / : 1.8 : N	:	:	:	
		R : / 630 : 23.8 : D	:	:	673 : 4.5 : N	:	:	677 : 17.3 : N	:	:	678 : 7.8 : N	:	:	:	
	NORTE	A : Acú II / : 13.4 : D	:	:	Angelim / : 2.0 : N	:	:	Bongí / 643 : 4.4 : D	:	:	Camp. Gran- : 1.7 : N	:	:	Currais No- : 4.0 : N	
		R : 651 : 32.1 : N	:	:	640 : 9.3 : N	:	:	16.4 : N	:	:	de II / 644 : 6.2 : N	:	:	vos / 653 : 14.3 : N	
	OESTE	A : Goianinha : 3.4 : N	:	:	Mussurê II : 2.2 : N	:	:	Kirueira / : 2.7 : N	:	:	Natal II / : 3.5 : D	:	:	Pirapama / : 5.1 : N	
		R : / 647 : 11.2 : N	:	:	/ 648 : 6.2 : N	:	:	648 : 4.3 : N	:	:	646 : 12.0 : N	:	:	649 : 10.8 : N	
	CENTRO	A : Rio Largo : 3.3 : N	:	:	Santana dos : 2.6 : D	:	:	Santa Cruz : 3.3 : D	:	:	Tacaimbó / : 1.7 : N	:	:	:	
		R : / 642 : : :	:	:	Matos / 652 : : :	:	:	/ 645 : : :	:	:	655 : 14.6 : N	:	:	:	
	SUL	A : Banabuid / : 2.2 : N	:	:	Bom Nome / : 2.1 : N	:	:	Fortaleza : 2.7 : N	:	:	Milagres / : 4.1 : D	:	:	Russas II : 2.6 : N	
		R : 622 : : :	:	:	620 : 48.9 : N	:	:	/ 625 : 4.8 : N	:	:	621 : 9.6 : D	:	:	/ 623 : : :	
LESTE	A : Sobral II : 7.9 : N	:	:	Mossoró II : 10.0 : D	:	:	:	:	:	:	:	:	:		
	R : / 626 : : :	:	:	/ 624 : : :	:	:	:	:	:	:	:	:	:		
OESTE	A : Piripirí / : 2.1 : D	:	:	Sao João do : 2.2 : N	:	:	Teresina / : 3.6 : N	:	:	Us. de Boa : 2.6 : N	:	:	:		
	R : 627 : 14.3 : D	:	:	Piauí / 637 : 0.0 : :	:	:	/ 628 : 5.2 : N	:	:	Esper. / 629 : 11.2 : N	:	:	:		
CENTRO	A : Abaixadora : 2.4 : N	:	:	Juazeiro da : 8.5 : D	:	:	Irecê / 683 : 3.2 : N	:	:	Bom Jesus : 5.9 : N	:	:	Senhor do : 3.1 : N		
	R : / 600 : 9.0 : N	:	:	BahiaII/602 : 47.9 : D	:	:	5.5 : N	:	:	da Lapa/685 : 2.4 : N	:	:	Bonfim / 603 : 34.7 : N		
230 KV	SUL	A : Alcan / 280 : 0.3 : N	:	:	Carafba / : 6.1 : D	:	:	Copene / : 9.2 : D	:	:	CGR / 274 : 14.7 : D	:	:	Dow Química : 6.8 : D	
		R : : 3.4 : N	:	:	274 : 11.7 : D	:	:	274 : 17.6 : N	:	:	27.8 : D	:	:	/ 280 : 5.6 : D	
	LESTE	A : Ferbasa / : 1.9 : N	:	:	Nitrofértil : 1.5 : N	:	:	Sibra / : 2.6 : N	:	:	Usiba / : 32.3 : N	:	:	:	
		R : / 272 : 15.2 : N	:	:	/ 273 : 1.8 : N	:	:	279 : 14.3 : N	:	:	279 : 17.3 : N	:	:	:	
	CENTRO	A : Açonorte / : 17.1 : N	:	:	Coperbo / : : :	:	:	Salgema / : : :	:	:	:	:	:	:	
		R : 243 : 85.0 : N	:	:	249 : : :	:	:	242 : : :	:	:	:	:	:	:	
	SUL	A : Carafba / : 24.7 : D	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	
		R : / 207 : 20.9 : N	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	
	OUTROS	LESTE	A : Matatu 11.9 : 2.0 : D	:	:	Datu 13.8 : 5.6 : N	:	:	Funil 13.8 : 6.3 : N	:	:	Funil 115 : 4.8 : D	:	:	Funil 138 : 3.8 : N
			R : / 1027 : 3.5 : D	:	:	/ 1072 : 6.8 : N	:	:	/ 1076 : 6.0 : N	:	:	/ 176 : : :	:	:	/ 976 : 33.6 : N
	OESTE	A : Bongí 13.8 : 2.0 : N	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	
		R : / 1143 : 2.7 : N	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	
OESTE	A : Piripirí : 9.0 : N	:	:	Teresina : 3.1 : N	:	:	:	:	:	:	:	:	:		
	R : 13.8 / 1027 : 5.2 : N	:	:	13.8 / 1028 : 6.8 : N	:	:	:	:	:	:	:	:	:		

tab. 7.2 - Desvio padrão das cargas e respectivos tipos de distribuição de probabilidade associada.

nível de tensão	carga	sul a	leste b	norte c	oeste d	centro e	CHESF a+b+c+d+e
69 KV	ativa	3.3	3.8	4.5	2.6	4.6	3.7
	reativa	12.0	12.5	7.2	10.2	5.6	9.5
230 KV	ativa	5.4	17.1	--	--	24.7	15.7
	reativa	12.7	85.0	--	--	20.9	39.5
outros	ativa	4.5	2.0	--	6.1	--	4.2
	reativa	5.4	2.7	--	6.0	--	4.7
total	ativa	4.4	7.6	4.5	4.3	14.6	7.1
	reativa	10.0	33.4	7.2	8.1	13.2	16.4
relação reat./at.		2.3	4.4	1.6	1.9	0.9	2.3

tab. 7.3 - Médias dos desvios-padrão das cargas ativa e reativa - Sistema CHESF

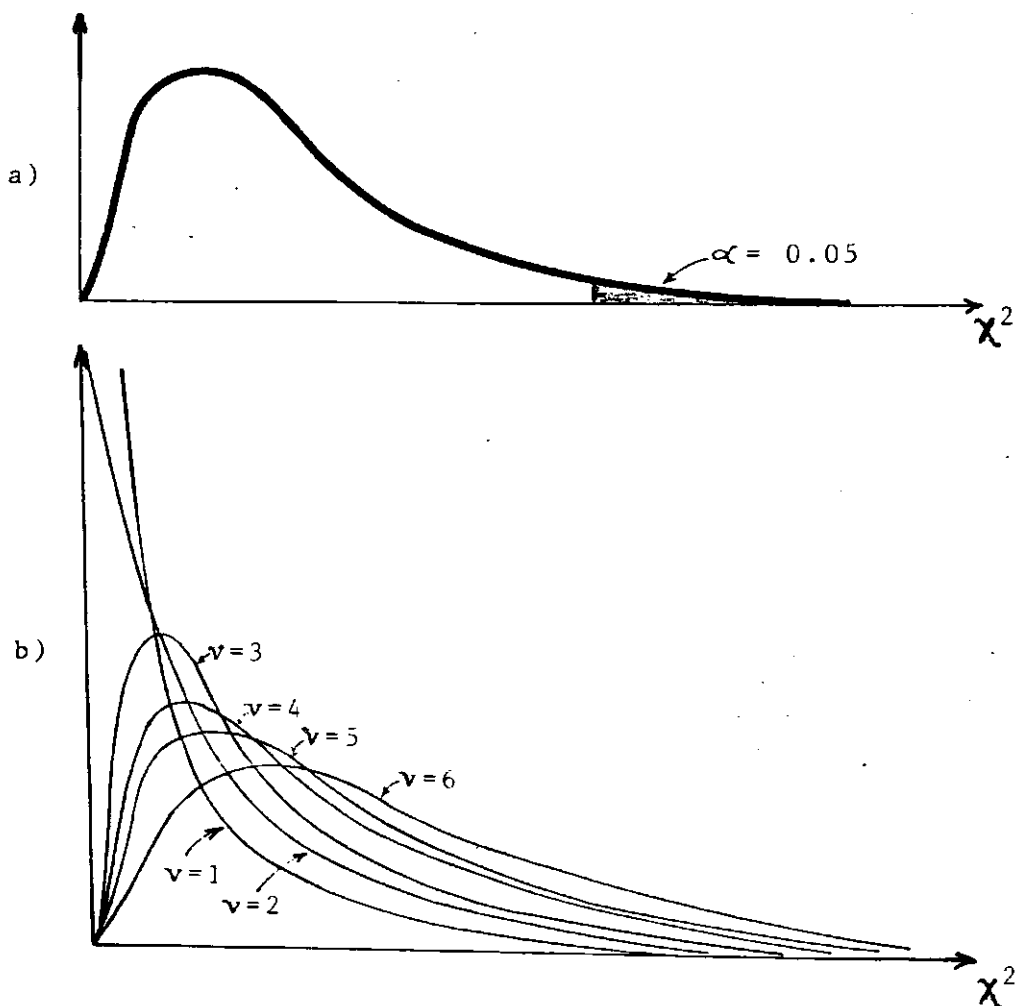


fig. 7.8 - Exemplo de distribuições qui-quadrado

CAPÍTULO 8

CONCLUSÕES

* Objetivo pretendido

O objetivo desta dissertação de tese foi apresentar um algoritmo para o fluxo de carga probabilístico, segundo uma modelagem descrita no cap. 2. Foi desenvolvido, então, um programa computacional, aplicável a grandes sistemas elétricos de potência. Esse programa foi testado, obtendo-se resultados esperados.

* Considerações

O texto apresentado nesta dissertação de tese fez abordagens sobre alguns aspectos do FCP, que se resume em:

- No capítulo 2, obteve-se uma formulação em que cada v.a. dos vetores de estado e de saída, X e Z , podem ser obtidos através de uma soma ponderada do vetor de entrada Y . Esta soma de v.a. supostas independentes é obtida através de técnicas matemáticas de convolução.
- No capítulo 3 foram apresentadas duas outras formulações para o FCP. Entretanto, estas formulações apresentam deficiências, pois a primeira possui uma complexidade grande, proporcionando um tempo computacional muito grande. A segunda tem como desvantagem a aplicação do TLC, para obter as fdp's das variáveis de saída.

O aumento na dimensão do sistema resulta no aumento do desvio-padrão das variáveis de saída, devido ao aumento no número de v.a. a serem somadas. Devido ao fato de se poder ter informações adicionais para o estudo de um sistema dividido em áreas, a formulação descrita na seção 3.3 pode ser utilizada, pois esta formulação permite este tipo de análise. Além disso, o TLC é mais realista neste caso. Assim, as variâncias das v.a. são diminuídas, reduzindo assim erros nas extremidades das fdp's. A aplicação do TLC também evita erros oriundos do processo de convolução, usados nas outras formulações.

- No capítulo 5 foi feita a análise do algoritmo apresentado no cap. 2, através da execução de um programa computacional de um FCP em dois sistemas testes, chegando-se às seguintes conclusões:

a) A aplicação do TLC é possível quando o sistema é muito grande, ou seja, possui um grande número de barras.

- b) A análise somente do valor esperado de uma variável, tal como é feita na análise determinística, pode conduzir a erros na análise dos resultados, aplicados ao planejamento da expansão e operação de sistemas elétricos.
 - c) Os resultados obtidos pela formulação do cap. 2, são iguais aos obtidos pela formulação descrita na seção 3.2.3.2, sendo considerado o acoplamento entre as partes P θ e QV. Isso já era de se esperar, como demonstrado na seção 6.3.
- O capítulo 6 mostrou erros introduzidos pela linearização do cap. 2, assim como os da aplicação do TLC, para sistemas pequenos. Descreveu também, técnicas para modelar contingências no sistema, transformadores em fase e a dependência entre as injeções de potência nas barras. Comparando-se os resultados do FCP com a simulação de Monte Carlo. Foi também descrito neste capítulo, como analisar um resultado do FCP, para um ponto afastado do valor esperado desta variável.
 - No cap. 7 foi apresentado uma metodologia para a modelagem da incerteza nas cargas ativa e reativa, levando em consideração, hábitos dos consumidores e fatores climáticos.

* Avanços alcançados neste trabalho

Os avanços obtidos neste trabalho são identificados como:

- Desenvolvimento de um programa computacional, que fosse aplicável em grandes sistemas elétricos. Foi usado no algoritmo, a Transformada Rápida de Fourier para o processo de convolução.
- Apresentar uma metodologia para a modelagem estatística da incerteza nas cargas. Isso torna o uso do algoritmo do FCP mais prático, pois essa modelagem pode ser feita para qualquer sistema de potência.

* Sugestões para estudos futuros

O algoritmo se tornará mais realista, se for levado em consideração a influência de determinados aspectos, tais como:

- Contingências no sistema. Deve ser determinado então, a influência da perda de alguma linha de transmissão, nas variáveis aleatórias de saída.
- Correlação entre carga/carga, carga/geração e geração/geração. Essa análise na correlação tornará mais realista o processo de convolução, pois foi assumido a independência

entre as cargas na modelagem destas cargas.

- Posição da barra de balanço. É assumido que a barra de balanço de potência, esteja numa determinada barra do sistema, que possa absorver uma maior carga. Mas essa hipótese não se mostra muito realista, quando o sistema possui vários geradores, havendo um despacho de potência entre estas unidades geradoras.

Por fim, espera-se que este trabalho possa ser uma referência para aqueles que desejam ter informações sobre o FCP, assim como para aqueles que desejam uma aplicação prática da análise do fluxo de carga probabilísticamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - Borkowska, B., "PROBABILISTIC LOAD FLOW", IEEE Trans., vol. PAS - 93, núm. 3, pp. 752 - 759, May/June, 1974.
- 2 - Allan, R. N., Borkowska, B. and Grigg, C. H., "PROBABILISTIC ANALYSIS OF POWER FLOWS", Proc. IEEE, vol. 121, núm. 12, pp. 1551 - 1556, December, 1974.
- 3 - Dopazo, J. F., Klitin, O. A. and Sasson, A. M., "STOCHASTIC LOAD FLOWS", IEEE Trans., vol. PAS - 94, núm. 2, pp. 299 - 309, March/April, 1975.
- 4 - Allan, R. N. and Al-Shakarchi, M. R. G., "PROBABILISTIC A.C. LOAD FLOW", proc. IEE, vol. 123, núm. 6, pp. 531 - 536, June, 1976.
- 5 - Allan, R. N., Grigg, C. H., Newey, D. A. and Simmons, R. F., "PROBABILISTIC POWER-FLOW TECHNIQUES EXTENDED AND APPLIED TO OPERATIONAL DECISION MAKING", proc. IEE, vol. 123, núm. 12, pp. 1317 - 1324, December, 1976.
- 6 - Allan, R. N. and Al-Shakarchi, M. R. G., "PROBABILISTIC TECHNIQUES IN A.C. LOAD FLOW ANALYSIS", proc. IEE, vol. 124, núm. 2, pp. 154 - 160, February, 1977.
- 7 - Allan, R. N. and Al-Shakarchi, M. R. G., "LINEAR DEPENDENCE BETWEEN NODAL POWERS IN PROBABILISTIC A.C. LOAD FLOW", proc. IEE, vol. 124, núm. 6, pp. 529 - 534, June, 1977.
- 8 - Leite da Silva, A. M., "FLUXO DE CARGA PROBABILISTICO - Uma solução alternativa", Tese de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro - COOPE, Rio de Janeiro, Brasil, 1977.
- 9 - Allan, R. N., Grigg, C. H. and Prato-Garcia, J. A., "EFFECT OF NETWORK OUTAGES IN PROBABILISTIC LOAD FLOW ANALYSIS", IEEE Winter Power Meeting, paper A79-018, pp. 1-7, New York, 1979.
- 10 - Allan, R. N., Leite da Silva, A. M., and Burchett, R. C., "EVALUATION METHODS AND ACCURACY IN PROBABILISTIC LOAD FLOW SOLUTIONS", IEEE Trans., vol. PAS - 100, núm. 5, pp. 2539 - 2546, May, 1981.
- 11 - Allan, R. N. and Leite da Silva, A. M., "PROBABILISTIC LOAD FLOW USING MULTILINEARISATIONS", proc. IEE, vol. 128, pt. C, núm. 5, pp. 280 - 287, September, 1981.
- 12 - Leite da Silva, A. M., Arienti, V. L. and Allan, R. N., "PROBABILISTIC LOAD FLOW CONSIDERING DEPENDENCE BETWEEN INPUT NODAL POWERS", IEEE Trans., vol. PAS - 103, núm. 6, pp. 1524 - 1530, June, 1984.

- 13 - Leite da Silva, A. M., Soares, S. M. e Arienti, V. L., "FLUXO DE CARGA PROBABILISTICO COM ANÁLISE DE CONTINGÊNCIAS", Quinto Congresso Brasileiro de Automática/Primeiro Congresso Lat.-Am. de Automática, Campina Grande, pp. 189 - 194, Setembro, 1984.
- 14 - Allan, R. N., Grigg, C. H. and Al-Shakarchi, M. R. G., "NUMERICAL TECHNIQUES IN PROBABILISTIC LOAD FLOW", Int. Journal Numerical Methods Eng., vol. 10, núm. 10, pp. 853 - 860, March, 1976.
- 15 - Allan, R. N., Leite da Silva, A. M., Abu-Nasser, A. A. and Burchett, R. C., "DISCRETE CONVOLUTION IN POWER SYSTEMS RELIABILITY", IEEE Trans., vol. R - 30, núm. 5, pp. 452 - 456, December, 1981.
- 16 - Leite da Silva, A. M., Arienti, V. L., Soares, S. M., "FLUXO DE CARGA PROBABILISTICO", Relatório Final - ELETROBRAS, pp. 25 - 68, Maio, 1988.
- 17 - Hou, H. S., "THE FAST HARTLEY TRANSFORM ALGORITHM", IEEE Trans., vol. C - 36, núm. 2, pp. 147 - 156, February, 1987.
- 18 - Mohan, P., Balasubramanian, R. and Prakasa Rao, K. S., "A NEW FOURIER METHOD FOR EVALUATING GENERATION SYSTEM RELIABILITY INDICES", IEEE Trans., vol. PES - 2, núm. 1, pp. 88 - 94, March, 1986.
- 19 - Poige, R. J. and Bhagavan. B. K. "EFFICIENT FAST FOURIER TRANSFORM PROGRAMS FOR ARBITRARY FACTORES WITH ONE STEP LOOP UNSCRAMBLING", IEEE Trans., vol. C, pp. 534 - 539, May, 1976.
- 20 - Singleton, R. C., "AN ALGOL CONVOLUTION PROCEDURE BASED ON THE FAST FOURIER TRANSFORM", Communications of the ACM, vol. 12, núm. 3, pp. 179 - 185, March, 1969.
- 21 - Brigham, E. O., "THE FAST FOURIER TRANSFORM", Prentice - Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1974.
- 22 - Papoulis, A. "PROBABILITY, RANDOM VARIABLES AND STOCHASTIC PROCESSES", McGraw - Hill Book Company, New York, 1965.
- 23 - Billinton, R., "POWER SYSTEM RELIABILITY EVALUATION", Gordon and Breach, Science Publishers, New York, 1970.
- 24 - Meyer, P. L., "INTRODUCTORY PROBABILITY AND STATISTICAL APPLICATIONS", Addison - Wesley Publishing Company, Inc., Massachusetts, 1965.
- 25 - Cooley, J. W., Lewis, A. W. and Welch, P. D., "THE FAST FOURIER TRANSFORM AND ITS APPLICATIONS", IEEE Trans., vol. E - 12, núm. 1, pp. 27 - 34, March, 1969.

APÊNDICES

- 26 - Ramos, D. S. e Dias, E. M., "SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA - Regime Permanente", Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1982.
- 27 - Dahlquist, G. and Björck, A., "NUMERICAL METHODS", Prentice - Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1974.
- 28 - Stagg, G. W, and El - Ablad, A. H., "COMPUTER METHODS IN POWER SYSTEM ANALYSES", McGraw - Hill, Inc., New York, 1968.
- 29 - Elgerd. O. I., "ELECTRIC ENERGY SYSTEMS THEORY - AN INTRODUCTION", McGraw - Hill, Inc., New York, 1971.
- 30 - Monticelli, A., "FLUXO DE CARGA EM REDES DE ENERGIA ELÉTRICA", Editora Edgard Blucher Ltda, 1983.
- 31 - Peterson, N. M. and Meyer, W. S., "AUTOMATIC ADJUSTMENT OF TRANSFORMER AND PHASE - SHIFTER TAPS IN THE NEWTON POWER FLOW", IEEE Trans., vol. PAS - 90, núm. 1, pp. 103 - 108, January/February, 1971.
- 32 - Peschon, J., Piercy, D. S., Tinney, W. F. and Tveit, O. J. "SENSITIVITY IN POWER SYSTEMS", IEEE Trans., vol. PAS - 87, núm. 8, pp. 1687 - 1696, August, 1968.
- 33 - Stott, B., "REVIEW OF LOAD FLOW CALCULATION METHODS", IEEE Proc., vol. 62, núm. 7, pp. 916 - 930, July, 1974.
- 34 - Zollenkopf, K., "BI - FACTORISATION - BASIC COMPUTACIONAL ALGORITHM AND PROGRAMMING TECHNIQUES"
- 35 - Sullivan, R. L. "POWER SYSTEM PLANING", McGraw Hill Book Company, New York, 1977.

- Seja X uma variável aleatória contínua. A função densidade de probabilidade f , é uma função que satisfaz às seguintes condições:

a) $f(x) \geq 0$ para todo x

b) $\int f(x)dx = 1$

A.3.2 - FUNÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA

Seja X uma variável aleatória, discreta ou contínua. Define-se a função F como a função de distribuição acumulada da variável aleatória X . Assim,

(A.1) $F(x) = P(X \leq x)$

a) Se X for uma v.a. discreta:

(A.2) $F(x) = \sum_j p(x_j)$

onde o somatório é para todos os índices j que satisfaçam à condição $x_j \leq x$.

b) Se X for uma v.a. contínua.

(A.3) $F(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx = P(X \leq x)$

Assim, para qualquer $c < d$, tem-se:

(A.4) $P(c \leq x \leq d) = \int_c^d f(x)dx$

Esta integral representa a área sob a curva esboçada na fig. A.1 da função densidade de probabilidade f , entre $x = c$ e $x = d$.

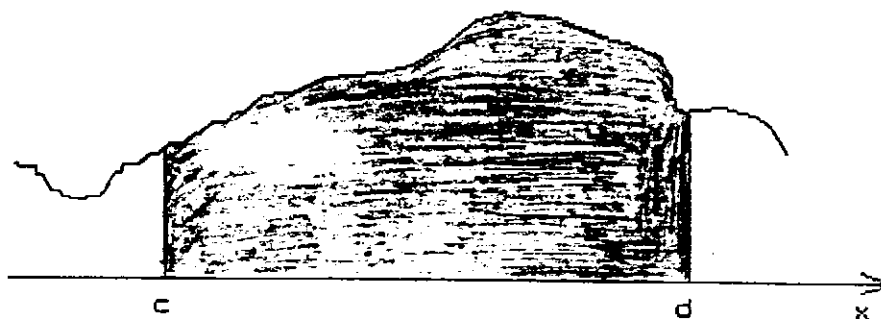


fig. A.1 - Área sob a curva de uma função densidade de probabilidade

A.3.3 - VARIÁVEIS ALEATÓRIAS INDEPENDENTES

As v.a. X e Y são independentes quando o resultado de X não influencia o resultado de Y e vice-versa.

A.3.4 - VALOR ESPERADO E A VARIÂNCIA

- O valor esperado

Seja X uma v.a. discreta ou contínua. O valor esperado de X, denotado por $E[X]$, é definido como:

a) Se X for uma v.a discreta:

$$(A.5) \quad E[X] = \sum_i x_i p(x_i)$$

b) Se X for uma v.a contínua:

$$(A.6) \quad E[X] = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx$$

- Propriedades do valor esperado

Seja C uma constante. Assim:

a) Para $X = C$, $E[X] = C$

b) $E[X + C] = C + E[X]$

c) $E[CX] = C.E[X]$

d) Sejam n v.a. independentes X_1, \dots, X_n :

$$E[X_1 + \dots + X_n] = E[X_1] + \dots + E[X_n]$$

- A variância

Seja X uma v.a. discreta ou contínua. A variância de X, denotada por $V[X]$, é definida como:

$$(A.7) \quad V[X] = E[X - E[X]]^2$$

ou

$$(A.8) \quad V[X] = E[X^2] - (E[X])^2$$

A raiz quadrada positiva de $V[X]$ é denominada o desvio padrão de X, e é denotada por σ_x .

Tem-se a variância como uma medida de dispersão da distribuição de X, em torno do valor esperado. Assim, quanto

maior a tendência de X se afastar do seu valor médio, maior será a variância.

- Propriedades da variância

Seja C uma constante, X e Y duas variáveis aleatórias. Então:

a) Se $X = C$, $V[X] = 0$

b) $V[X + C] = V[X]$

c) $V[CX] = C^2 V[X]$

d) Sejam n v.a. independentes X_1, \dots, X_n :

$$V[X_1 + \dots + X_n] = V[X_1] + \dots + V[X_n]$$

e) $V[X] = E[(X - E[X])^2] = E[X^2] - (E[X])^2$

Em relação às propriedades d) e e), é importante observar que:

$$\begin{aligned} V[X + Y] &= E[(X + Y) - E[X + Y]]^2 \\ &= E[(X - E[X]) + (Y - E[Y])]^2 \\ &= E[X - E[X]]^2 + E[Y - E[Y]]^2 + \\ &\quad + 2E[(X - E[X])(Y - E[Y])] \end{aligned}$$

Logo:

$$(A.9) \quad V[X + Y] = V[X] + V[Y] + 2E[(X - E[X])(Y - E[Y])]$$

A quantidade $E[(X - E[X])(Y - E[Y])]$ chama-se covariância de X e Y e é representado por $cov(X, Y)$.

Assim:

$$(A.10) \quad cov(X, Y) = E[(X - E[X])(Y - E[Y])]$$

A.4 - ALGUMAS DISTRIBUIÇÕES

É descrito neste ítem, características das distribuições de probabilidade, associadas às variáveis aleatórias utilizadas nos capítulos anteriores.

- Distribuição binomial

Existem alguns experimentos que consistem de repetições de tentativas independentes, cada uma delas com dois resultados

possíveis.

Em n tentativas de um experimento, a distribuição das duas classes de saída possíveis é discreta e do tipo binomial.

Sejam:

p = probabilidade de sucesso

q = probabilidade de falha = $1 - p$

A probabilidade de exatamente x sucessos em x tentativas será p^x e de $(n-x)$ falhas em $(n-x)$ tentativas será $q^{(n-x)} = (1-p)^{(n-x)}$.

O número de vezes em que podem ocorrer exatamente x sucessos e $(n-x)$ falhas será:

$$(A.11) \quad C_x^n = \frac{n!}{x! (n-x)!}$$

Então, a probabilidade de exatamente x sucessos em n tentativas será:

$$(A.12) \quad P_x = \frac{n!}{n! (n-x)!} p^x (1-p)^{(n-x)} = C_x^n p^x q^{(n-x)}$$

ou seja:

$$(A.13) \quad P(X = k) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{(n-k)}, \quad k = 0, 1, \dots, n$$

Um experimento deverá possuir quatro propriedades para a distribuição binomial poder ser aplicável:

- a) Número fixo de tentativas;
- b) Cada tentativa deve resultar numa falha ou num sucesso;
- c) Todas as tentativas devem ter idênticas probabilidades de sucesso e
- d) Todas as tentativas devem ser independentes.

O valor esperado de uma variável aleatória binomialmente distribuída é:

$$(A.14) \quad E\{X\} = np$$

e a variância é

$$(A.15) \quad V[x] = npq$$

- Distribuição normal ou Gaussiana

A v.a. X , que tome todos os valores reais $-\infty < x < \infty$, tem uma distribuição normal ou Gaussiana se sua fdp for da forma:

$$(A.16) \quad f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2} \left[\frac{x-u}{\sigma}\right]^2\right)$$

onde:

u - valor esperado ($-\infty < u < \infty$)

σ - desvio padrão ($\sigma > 0$)

Este tipo de distribuição apresenta uma fdp com a forma de um sino, como ilustrado na fig. A.2. Pode-se observar que esta fdp é simétrica em relação ao valor esperado u .

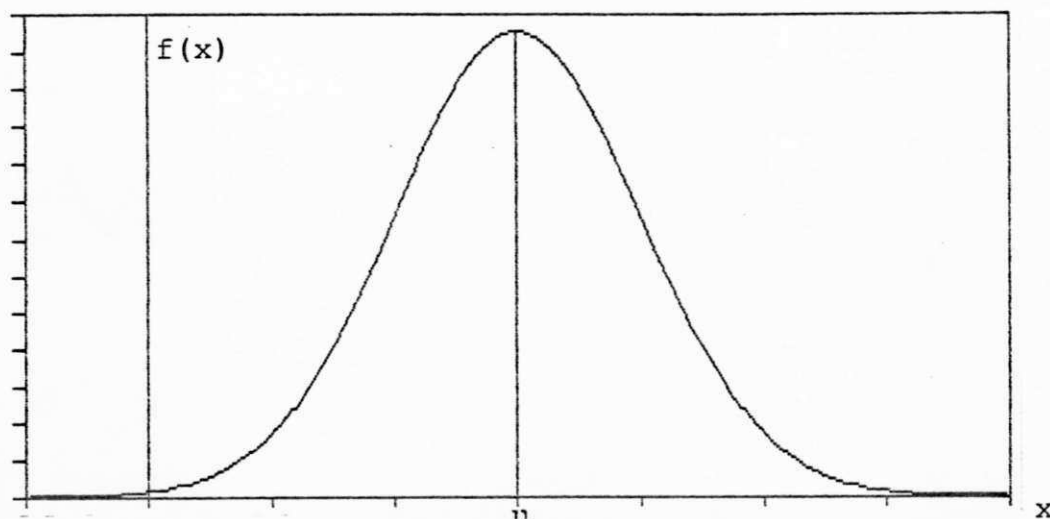


Fig. A.2 - Função densidade de probabilidade de uma distribuição normal

Características da distribuição normal:

- Se X tiver uma distribuição normal, com parâmetros u e σ , e se $Y = aX + b$, para a e b constantes, então Y terá uma distribuição normal com parâmetros $u_e = au + b$ e $\sigma_e = a\sigma$.
- A função de distribuição acumulada de uma v.a. X normal, é definida como:

$$(A.17) \quad P(a \leq X \leq b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_a^b \exp\left(-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}\right) dx$$

A integral acima não pode ser calculada pelos métodos convencionais, mas por métodos de integração numérica.

A fig. A.3 ilustra a área definida pela integral acima.

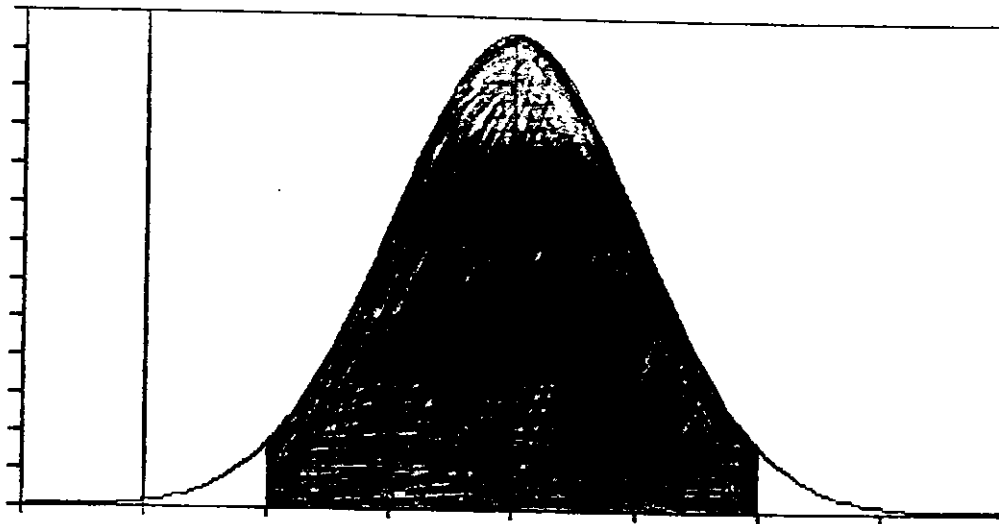


fig. A.3 - Área entre os limites de uma função densidade de probabilidade de determinada distribuição normal.

c) Seja X uma v.a. com distribuição normal, com parâmetros u e σ^2 .

Assim:

$$E[X] = u$$

$$E[X^2] = V[X] + E[X]^2 = \sigma^2 + u^2$$

$$(A.18) \quad E[X^3] = 3V[X]E[X] + E[X]^3 = 3\sigma^2u + u^3$$

$$E[X^4] = 3V[X]^2 + 6V[X]E[X] + E[X]^4 = 3\sigma^4 + 6\sigma^2u^2 + u^4$$

Seja Y uma distribuição normal com parâmetros $u_e = 0$ e $\sigma_e = 1$.

$$Y(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right)$$

A função erro, erf, é definida como:

$$(A.19) \quad \text{erf}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right) dy$$

Assim, com uma mudança de variáveis, obtem-se:

$$(A.20) \quad P(a \leq X \leq b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \int_a^b \exp\left(-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}\right) dx$$

$$= \text{erf}\left(\frac{b-u}{\sigma}\right) - \text{erf}\left(\frac{a-u}{\sigma}\right)$$

OBS.: Suponha que X tenha distribuição normal com parâmetros $u = 0$ e $\sigma = 1$. Então X possui a distribuição normal reduzida.

Assim:

$$(A.21) \quad P(a \leq X \leq b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_a^b \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx$$

Esta integral não pode ser calculada através de procedimentos comuns, mas por métodos de integração numérica. Existem tabelas contendo $P(X \leq s)$.

A função densidade da distribuição normal reduzida é coerentemente denotada por ϕ . Assim,

$$(A.22) \quad \phi(s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^s \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx$$

Pode-se então utilizar a tabulação da função ϕ , a fim de calcular $P(a \leq X \leq b)$. Assim, se X tiver parâmetros u e σ quaisquer, é válido a seguinte igualdade:

$$(A.23) \quad P(a \leq X \leq b) = \Phi\left(\frac{b-u}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a-u}{\sigma}\right)$$

A.5 - O TEOREMA DO LIMITE CENTRAL

Se uma variável aleatória X puder ser representada pela soma de quaisquer n variáveis aleatórias independentes, então esta soma terá uma distribuição semelhante a uma distribuição normal, se n for suficientemente grande. Tem-se então, o seguinte teorema:

TEOREMA DO LIMITE CENTRAL: Sejam X_1, X_2, \dots, X_n variáveis aleatórias independentes, identicamente distribuídas com valor esperado μ e variância finita não-nula σ^2 . Seja $X = X_1 + X_2 + \dots + X_n$. Então, sob determinadas condições gerais (não enunciadas aqui):

$$(A.24) \quad Z_n = \frac{X - \sum_{i=1}^n \mu_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}} \quad \text{tem aproximadamente uma distribuição normal.}$$

As variáveis aleatórias X_i podem ser discretas, contínuas ou mistas, embora a distribuição resultante independa da distribuição específica de X_i (contanto que as hipóteses do teorema sejam satisfeitas).

Na fig. A.4 é mostrado um exemplo da aplicação deste teorema, onde X_1, X_2, \dots, X_n são 100 v.a. iguais e independentes, cada uma com distribuição discreta, descritas na seção D.3. É evidenciado nesta figura a precisão da aproximação do TLC para a soma das v.a., em relação à distribuição acumulada real, obtida através do processo de convolução.

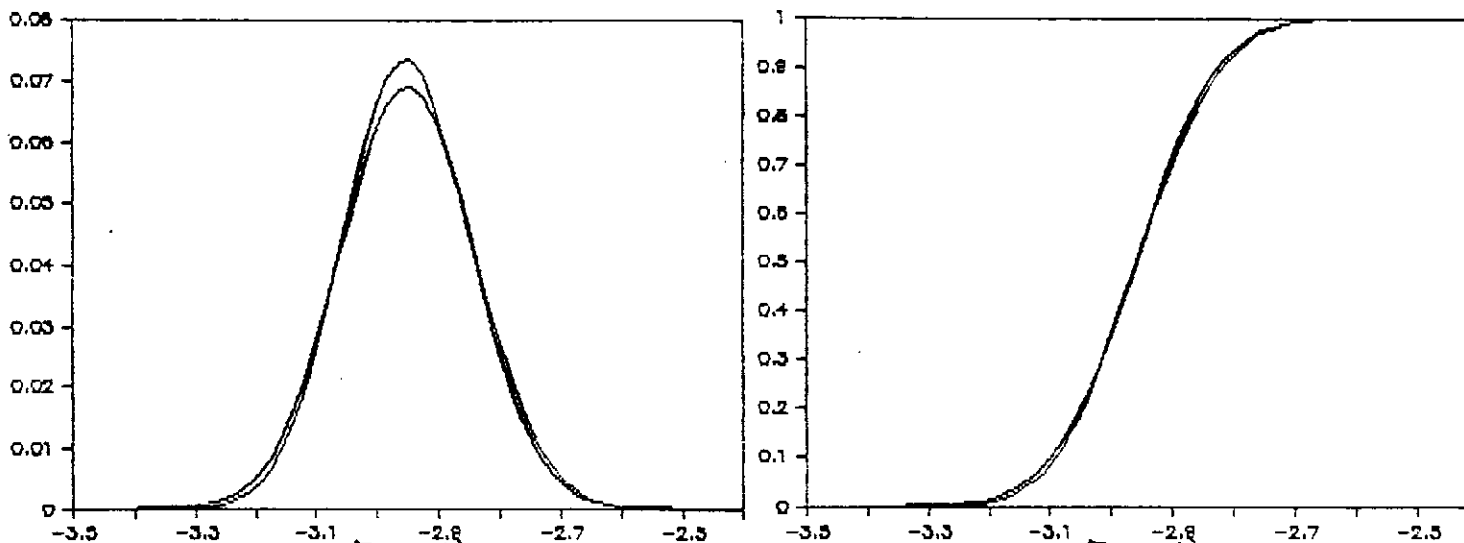


fig. A.4 - Exemplo de precisão da aproximação do TLC.

A.6 - DISTRIBUIÇÕES TRUNCADAS

- Diz-se que uma variável aleatória X tem uma distribuição normal truncada à direita de $X = \tau$, se sua fdp for da forma:

$$(A.25) \quad f(x) = 0 \quad \text{se } x > \tau$$

$$= K \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp \left(-\frac{1}{2} \left[\frac{x-u}{\sigma} \right]^2 \right) \quad \text{se } x \leq \tau$$

onde K é determinado pela condição $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$.

Logo:

$$(A.26) \quad K = \frac{1}{P(X \leq \tau)} = \frac{1}{\Phi[(\tau - u)/\sigma]}$$

- Diz-se que uma variável aleatória X tem uma distribuição normal truncada à esquerda de $X = \gamma$, se sua fdp for da forma:

$$(A.27) \quad f(x) = 0 \quad \text{se } x < \gamma$$

$$= K \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp \left(-\frac{1}{2} \left[\frac{x-u}{\sigma} \right]^2 \right) \quad \text{se } x \geq \gamma$$

onde:

$$(A.28) \quad K = \frac{1}{1 - P(X \leq \gamma)} = \left[1 - \Phi \left(\frac{\gamma - u}{\sigma} \right) \right]^{-1}$$

Assim, se uma variável aleatória X tem uma distribuição normal truncada a esquerda e à direita, de $X = \pm \beta$, então sua fdp é da forma (devido a simetria da distribuição normal):

$$(A.29) \quad f(x) = 0 \quad \text{se } |x| > \beta$$

$$= K \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp \left(-\frac{1}{2} \left[\frac{x-u}{\sigma} \right]^2 \right) \quad \text{se } |x| \leq \beta$$

onde:

$$K = \frac{1}{2(1 - P(X \leq \beta))}$$

A.7 - CORRELAÇÃO ENTRE DUAS VARIÁVEIS ALEATÓRIAS

A.7.1 - DEPENDÊNCIA LINEAR

Seja a equação:

$$(A.30) \quad Y = aX + b$$

Então:

$$(A.31) \quad u_y = au_x + b$$

e

$$(A.32) \quad \sigma_x^2 = E[(X - u_x)^2] = E[X^2] - u_x^2$$

Assim:

$$\sigma_y^2 = E[(Y - u_y)^2] = E[(aX + b - au_x - b)^2] = a^2 \sigma_x^2$$

Logo:

$$(A.33) \quad \sigma_y^2 = a^2 \sigma_x^2$$

Como σ_x e σ_y são sempre positivos:

$$(A.34) \quad \begin{aligned} \sigma_y &= a \sigma_x && \text{para correlação positiva (a > 0)} \\ \sigma_y &= -a \sigma_x && \text{para correlação negativa (a < 0)} \end{aligned}$$

Para o produto XY, chega-se:

$$(A.35) \quad E[XY] = E[aX^2 + bX] = aE[X^2] + bu_x$$

ou, das eq. (A.32) e (A.35):

$$(A.36) \quad E[XY] = a \sigma_x^2 + u_x (au_x + b)$$

ou, das eq. (A.32) e (A.36):

$$(A.37) \quad E[XY] = a \sigma_x^2 + u_x u_y$$

A covariância definida na eq. (A.10), pode então ser escrita como:

$$(A.38) \quad \text{cov}(X, Y) = E[XY] - u_x u_y$$

Substituindo a eq. (A.37) em (A.38), tem-se:

$$(A.39) \quad \text{cov}(X, Y) = a \sigma_x^2 = \sigma_x (a \sigma_x)$$

Das eq. (A.34) e (A.39), chega-se a:

$$(A.40) \quad \begin{aligned} \text{cov}(X, Y) &= + \sigma_x \sigma_y \quad (\text{para correlação positiva}) \\ \text{cov}(X, Y) &= - \sigma_x \sigma_y \quad (\text{para correlação negativa}) \end{aligned}$$

A.7.2 - COMBINAÇÃO LINEAR ENTRE DUAS VARIÁVEIS ALEATÓRIAS DEPENDENTES

Seja agora uma v.a. Z, definida por:

$$(A.41) \quad Z = cX + dY + e$$

Assim:

$$(A.42) \quad \begin{aligned} u_z &= \sum_i f_i z_i = \sum_i f_i (cx_i + dy_i + e) = \\ &= cu_x + du_y + e \\ \sigma_z^2 &= \sum_i f_i (z_i - u_z)^2 \end{aligned}$$

sendo:

$$z_i = cx_i + dy_i + e$$

têm-se:

$$(A.43) \quad \begin{aligned} \sigma_z^2 &= \sum_i f_i [c^2(x_i - u_x)^2 + d^2(y_i - u_y)^2 + \\ &+ 2cd(x_i - u_x)(y_i - u_y)] \end{aligned}$$

ou:

$$(A.44) \quad \sigma_z^2 = c^2 \sigma_x^2 + d^2 \sigma_y^2 + 2cd \sum_i f_i (x_i - u_x)(y_i - u_y)$$

Da eq. (A.10), chega-se a:

$$(A.45) \quad \text{cov}(X,Y) = \sum_i f_i (x_i - u_x)(y_i - u_y)$$

Assim, das eq. (A.44) e (A.45), tem-se:

$$(A.46) \quad \sigma_z^2 = c^2 \sigma_x^2 + d^2 \sigma_y^2 + 2cd \cdot \text{cov}(X,Y)$$

ou

$$(A.47) \quad \sigma_z^2 = c^2 \sigma_x^2 + d^2 \sigma_y^2 + /- 2cd \sigma_x \sigma_y = (c \sigma_x + /- d \sigma_y)^2$$

Logo:

$$(A.48) \quad \begin{aligned} \sigma_z &= c \sigma_x + d \sigma_y && \text{(para correlação positiva)} \\ \sigma_z &= c \sigma_x - d \sigma_y && \text{(para correlação negativa)} \end{aligned}$$

APÊNDICE B

O FLUXO DE CARGA CONVENCIONAL

B.1 - INTRODUÇÃO

O fluxo de carga convencional ou determinístico, consiste essencialmente na determinação do estado do sistema, da distribuição dos fluxos e de algumas outras grandezas de interesse. Neste tipo de problema, a modelagem do sistema não varia, sendo os seus parâmetros representados por determinados valores. Isso resulta na representação matemática do sistema por um conjunto de equações e/ou inequações algébricas.

As equações básicas do fluxo de carga são obtidas impondo-se a conservação das potências ativa e reativa em cada barra do sistema, ou seja, a potência líquida injetada numa determinada barra deve ser igual à soma das potências que fluem desta barra.

Estudos de fluxo de carga são necessários em várias etapas do planejamento da expansão e da operação, para:

- expansão do sistema de potência a médio e longo prazo;
- alocação e quantificação da compensação de potência reativa;
- troca de energia entre sistemas interligados, etc.

B.2 - FORMULAÇÃO BÁSICA DO PROBLEMA

Na formulação básica do fluxo de carga, a cada barra da rede são associados quatro variáveis, sendo que duas delas entram no problema como dados e duas como incógnitas, numa determinada barra k :

V_k - magnitude da tensão

θ_k - ângulo da tensão

P_k - geração líquida (geração menos carga) de potência ativa

Q_k - injeção líquida de potência reativa

Dependendo de quais variáveis de barra entram como dados e quais são consideradas incógnitas, definem-se três tipos de barras:

PQ - são dados P_k e Q_k , e calculados V_k e θ_k (barras de carga).

As cargas foram modeladas tendo sido P_k e Q_k considerados constantes (potência constante), e não P_k^k e Q_k^k variando em função da magnitude da tensão na barra "k" (impedância constante).

PV - são dados P_k e V_k , e calculados Q_k e θ_k (barras de tensão controlada).

Este tipo de barra está associada às barras de geração do sistema.

SW - são dados V_k e θ_k , e calculados P_k e Q_k (barra de balanço ou referência).

Os ângulos θ_k e θ_m aparecem sempre na forma $\theta_{km} = \theta_k - \theta_m$. Isto torna o problema do fluxo de carga indeterminado nas variáveis θ , pois, se for somada uma constante qualquer a todos os ângulos das barras, obtêm-se uma mesma distribuição de fluxos no sistema. Isto torna necessário uma referência angular para o sistema. - A barra de balanço fornece esta referência.

Tem-se então, a seguinte classificação, para as variáveis relacionadas ao problema básico de fluxo de carga:

- Variáveis de entrada: vetor de variáveis de entrada

$$(B.1) \quad Y = [P_k, Q_k, V_k, \theta_k]^t, \text{ sendo:}$$

P_k - Potência ativa injetada em todas as barras "k" do sistema, exceto na barra de balanço;

Q_k - Potência reativa injetada em todas as barras "k" de carga do sistema;

V_k - Magnitude da tensão nas barras "k" de tensão controlada e de balanço e

θ_k - Ângulo da tensão na barra de balanço.

- Variável de estado: vetor de variáveis de estado

$$(B.2) \quad X = [V_k, \theta_k]^t, \text{ sendo:}$$

V_k - Magnitude da tensão nas barras "k" do sistema e

θ_k - Ângulo da tensão nas barras "k" do sistema.

- Variáveis de saída: vetor de variáveis de saída

$$(B.3) \quad Z = [P_b, Q_k, Q_{k(sh)}, P_{km}, Q_{km}, S_{km}]^t, \text{ sendo:}$$

P_b - Potência ativa injetada na barra de balanço do sistema;

Q_k - Potência reativa injetada nas barras "k" de tensão controlada e de balanço;

$Q_{k(sh)}$ - Potência reativa shunt injetada em todas as barras "k" do sistema;

P_{km} - Fluxo de potência ativa em todas as linhas "k-m" do sistema;

Q_{km} - Fluxo de potência reativa em todas as linhas "k-m" do sistema;

S_{km} - Fluxo de potência aparente em todas as linhas "k-m" do sistema;

O conjunto de equações do problema do fluxo de carga é formado por duas equações para cada barra, e pode ser expresso matematicamente como se segue:

$$(B.4) \quad P_k = \sum_{m \in \Omega_k} P_{km}(V_k, V_m, \theta_k, \theta_m)$$

$$(B.5) \quad Q_k + Q_{k(sh)} = \sum_{m \in \Omega_k} Q_{km}(V_k, V_m, \theta_k, \theta_m)$$

onde:

$$k = 1, \dots, NB$$

O problema do fluxo de carga determinístico, pode então ser dividido em duas etapas.

Primeira etapa:

São dados P e Q nas barras PQ e P_k e V_k nas barras PV. Calcula-se então V_k e θ_k nas barras PQ e θ_k nas barras PV, ou seja, encontra-se o estado do sistema. Trata-se então de um conjunto de $2NPQ + NPV$ equações algébricas não lineares, com o mesmo número de incógnitas. É necessário então, resolver:

$$P_k^{esp} - V_k \sum_{m \in \Omega_k} V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km}) = 0$$

para as barras PQ e PV

$$Q_k^{esp} - V_k \sum_{m \in \Omega_k} V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km}) = 0$$

para as barras PQ

Segunda etapa:

Tendo sido encontrado o estado do sistema, ou seja, V_k e θ_k para todas as barras do sistema, calcula-se então, de uma maneira direta, P_k e Q_k na barra de balanço e Q_k nas barras PV.

A seguir é apresentado a modelagem matemática, das variáveis de saída de um fluxo de carga.

B.3 - LINHAS E TRANSFORMADORES

B.3.1 - MODELAGEM

É apresentado neste ítem, os modelos de linhas de transmissão e transformadores em fase.

O modelo equivalente π de uma linha de transmissão média, representado na fig. B.1, é definido por tres parâmetros: a resistência série r_{km} ; a reatância série x_{km} e a susceptância shunt B_{km} .

A impedância do elemento série é:

$$z_{km} = r_{km} + jx_{km}$$

enquanto a admitância série é:

$$(B.6) \quad y_{km} = G_{km} + jB_{km} = z_{km}^{-1} = \frac{r_{km}}{r_{km}^2 + x_{km}^2} - j \frac{x_{km}}{r_{km}^2 + x_{km}^2}$$

Assim:

$$G_{km} = \frac{r_{km}}{r_{km}^2 + x_{km}^2}$$

$$B_{km} = \frac{-x_{km}}{r_{km}^2 + x_{km}^2} \quad (\text{tipo indutivo})$$

O elemento B_{km}' é positivo, pois o elemento shunt é do tipo capacitivo.

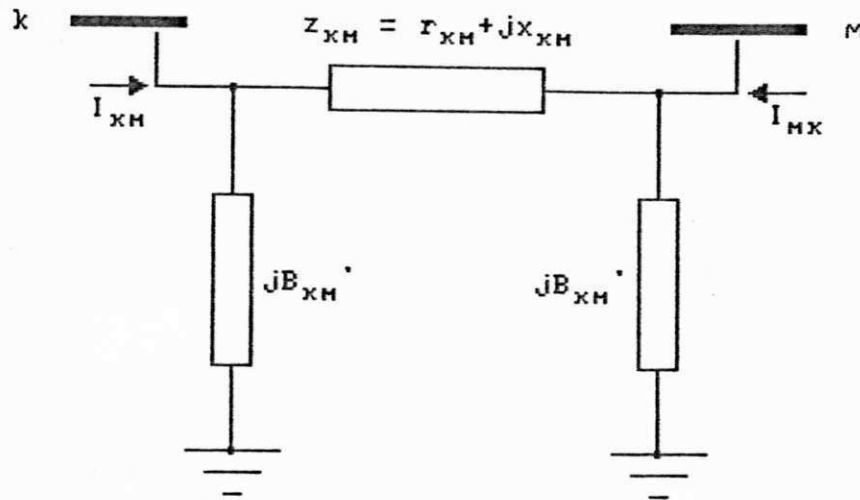


fig. B.1 - Modelo equivalente de uma linha de transmissão média

Tem-se então:

$$(B.7) \quad I_{km} = y_{km} (V_k - V_m) + jB_{km}' V_k$$

$$(B.8) \quad I_{mk} = y_{km} (V_m - V_k) + jB_{km}' V_m$$

A representação de transformadores em fase, mostrada na fig. B.2a, consiste basicamente em uma admitância série y_{km} e um auto-transformador ideal com relação de transformação $1:a_{km}$.

O transformador-em-fase pode ser representado por um circuito equivalente do tipo Π , como ilustrado na fig. B.2b.

onde:

$$A = a_{km} y_{km}$$

$$B = a_{km} (a_{km} - 1) y_{km}$$

$$C = (1 - a_{km}) y_{km}$$

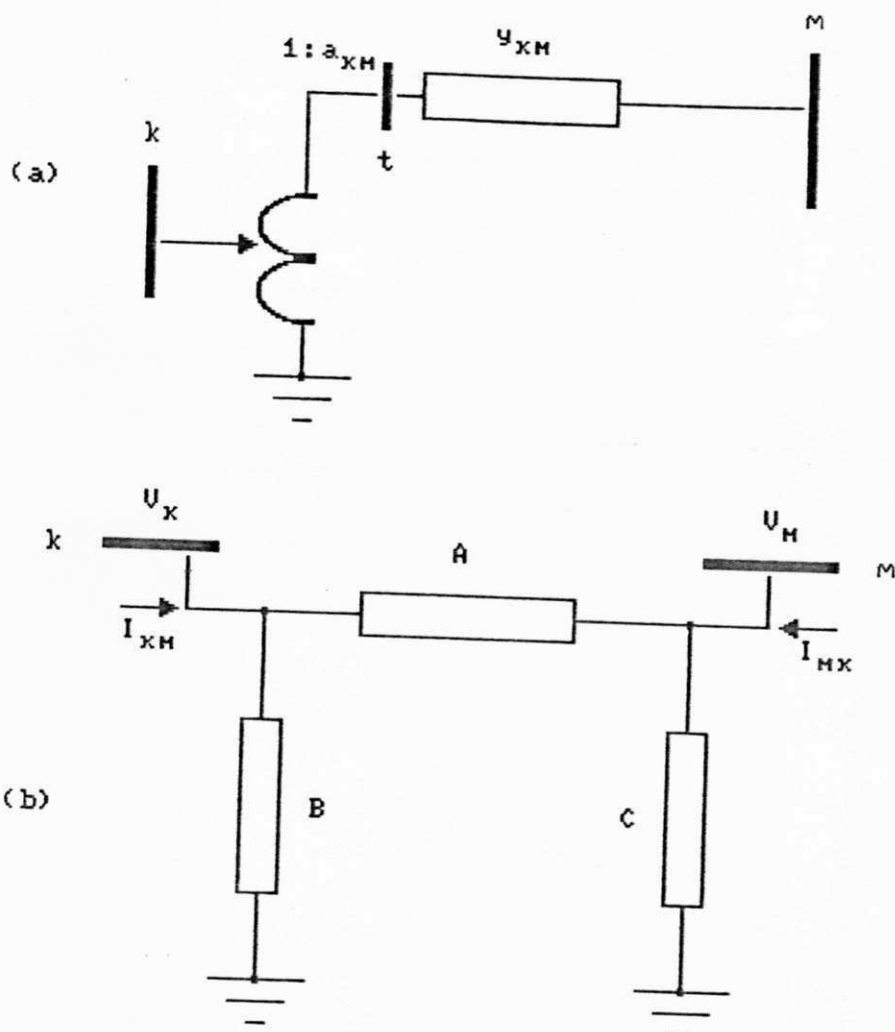


fig. B.2 - Representação de transformadores
 (a) circuito equivalente
 (b) circuito π equivalente

Tem-se, então:

$$(B.9) \quad I_{km} = (a_{km}^2 y_{km}) V_k + (- a_{km} y_{km}) V_m$$

$$(B.10) \quad I_{mk} = (- a_{km} y_{km}) V_k + (y_{km}) V_m$$

B.3.2 - FLUXOS DE POTÊNCIA ATIVA, REATIVA E APARENTE

As expressões dos fluxos de potência podem ser obtidas a partir dos modelos apresentados no ítem precedente, como é demonstrado a seguir.

Para as linhas de transmissão:

$$S_{km}^* = P_{km} - jQ_{km} = V_k^* I_{km}$$

Da eq. (B.7) resulta:

$$(B.11) \quad S_{km}^* = y_{km} V_k e^{-j\theta_k} (V_k e^{j\theta_k} - V_m e^{j\theta_m}) + jB_{km}' V_k^2$$

Para se obter P_{km} e Q_{km} , basta identificar as partes real e imaginária da eq. (B.11), resultando em:

$$(B.12) \quad P_{km} = -V_k^2 G_{km} + V_k V_m G_{km} \cos\theta_{km} + V_k V_m B_{km} \sin\theta_{km}$$

$$(B.13) \quad Q_{km} = V_k^2 (B_{km} - B_{km}') - V_k V_m B_{km} \cos\theta_{km} + V_k V_m G_{km} \sin\theta_{km}$$

Analogamente se obtém P_{mk} e Q_{mk} :

$$(B.14) \quad P_{mk} = -V_m^2 G_{km} + V_k V_m G_{km} \cos\theta_{km} - V_k V_m B_{km} \sin\theta_{km}$$

$$(B.15) \quad Q_{mk} = V_m^2 (B_{km} - B_{km}') - V_k V_m B_{km} \cos\theta_{km} - V_k V_m G_{km} \sin\theta_{km}$$

Para os transformadores em fase:

$$S_{km}^* = P_{km} - jQ_{km} = V_k^* I_{km}$$

Da eq. (B.9), chega-se a:

$$(B.16) \quad S_{km}^* = y_{km} a_{km} V_k e^{-j\theta_k} (a_{km} V_k e^{j\theta_k} - V_m e^{j\theta_m})$$

De maneira análoga às eq. (B.12) e (B.13), tem-se:

$$(B.17) \quad P_{km} = -a_{km} G_{km} V_k^2 + V_k V_m G_{km} \cos\theta_{km} + V_k V_m B_{km} \sin\theta_{km}$$

$$(B.18) \quad Q_{km} = V_k^2 (a_{km} B_{km} - B_{km}') - V_k V_m B_{km} \cos\theta_{km} + V_k V_m G_{km} \sin\theta_{km}$$

e

$$(B.19) \quad P_{mk} = -a_{mk} V_m^2 G_{km} + V_k V_m G_{km} \cos\theta_{km} - V_k V_m B_{km} \sin\theta_{km}$$

$$(B.20) \quad Q_{mk} = V_m^2 (a_{mk} B_{km} - B_{km}') - V_k V_m B_{km} \cos\theta_{km} - V_k V_m G_{km} \sin\theta_{km}$$

Generalizando as eq. (B.12) - (B.15) e (B.17) - (B.20), tem-se

$$(B.21) \quad P_{km} = -a_{km} G_{km} V_k^2 + V_k V_m G_{km} \cos\theta_{km} + V_k V_m B_{km} \sin\theta_{km}$$

$$(B.22) \quad Q_{km} = V_k^2 (a_{km} B_{km} - B_{km}') - V_k V_m B_{km} \cos\theta_{km} + V_k V_m G_{km} \sin\theta_{km}$$

$$(B.23) \quad P_{mk} = -a_{mk} V_m^2 G_{km} + V_k V_m G_{km} \cos \theta_{km} - V_k V_m B_{km} \sin \theta_{km}$$

$$(B.24) \quad Q_{mk} = V_m^2 (a_{mk} B_{km} - B_{km}') - V_k V_m B_{km} \cos \theta_{km} - V_k V_m G_{km} \sin \theta_{km}$$

onde:

$$a_{km} = 1 \quad , \quad \text{para linhas de transmissão}$$

$$a_{mk} = (a_{km})^{-1}$$

Das eq. (B.21) - (B.24) e fazendo $Y_{km}^2 = B_{km}^2 + G_{km}^2$, obtem-se:

$$(B.25) \quad S_{km} = [P_{km}^2 + Q_{km}^2]^{1/2} = V_k \{ [(a_{km} G_{km})^2 + (a_{km} B_{km} - B_{km}')^2] V_k^2 - 2V_m [a_{km} \cos \theta_{km} Y_{km}^2 + B_{km}' (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km})] V_k + [Y_{km}^2 V_m^2] \}^{1/2}$$

$$(B.26) \quad S_{mk} = [P_{mk}^2 + Q_{mk}^2]^{1/2} = V_m \{ [(a_{mk} G_{km})^2 + (a_{mk} B_{km} - B_{km}')^2] V_m^2 - 2V_k [a_{mk} \cos \theta_{km} Y_{km}^2 + B_{km}' (G_{km} \sin \theta_{km} + B_{km} \cos \theta_{km})] V_m + [Y_{km}^2 V_k^2] \}^{1/2}$$

B.4 - POTÊNCIAS INJETADAS NAS BARRAS

As ligações físicas de uma determinada barra "k" às outras barras do sistema estão representadas na fig. B.3.

B.4.1 - POÊNCIA ATIVA E REATIVA - S_k

Da fig. B.3, obtem-se:

$$(B.27) \quad S_k = \sum_{m \in \Omega_k} S_{km} \quad , \quad m = 1, \dots, NB$$

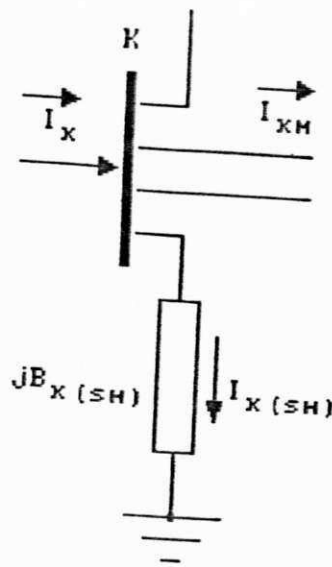


fig. B.3 - Convenção de sinais para fluxos e injeções de corrente, potência ativa e reativa

Como

$$S_k = P_k + jQ_k \quad e$$

$$S_{km} = P_{km} + jQ_{km}, \text{ tem-se}$$

$$(B.28) \quad P_k = \sum_{m \in \Omega_k} P_{km} \quad e$$

$$(B.29) \quad Q_k = \sum_{m \in \Omega_k} Q_{km}$$

Substituindo as eq. (B.23) e (B.24) em (B.29), obtem-se:

$$(B.30) \quad P_k = \sum_{m \in \Omega_k} [-a_{km} G_{km} V_k^2 + V_k V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km})]$$

e

$$(B.31) \quad Q_k = \sum_{m \in \Omega_k} [(a_{km} B_{km} - B_{km}') V_k^2 + V_k V_m (G_{km} \sin \theta_{km} + B_{km} \cos \theta_{km})]$$

Sabendo que:

$$(B.32) \quad \sum_{m \in \Omega_k} (-a_{km} G_{km}) = G_{kk}$$

e

$$(B.33) \quad \sum_{m \in \Omega_k} (a_{km} B_{km} - B_{km}') = B_{kk}$$

e aplicando as eq. (B.32) e (B.33) em (B.30) e (B.31) respectivamente, vem:

$$(B.34) \quad P_k = V_k \sum_{m=1}^{NB} V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km})$$

e

$$(B.35) \quad Q_k = V_k \sum_{m=1}^{NB} V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km})$$

B.4.2 - POTÊNCIA REATIVA SHUNT INJETADA - $Q_{k(sh)}$

Da fig. B.3, tem-se

$$I_{k(sh)} = j B_{k(sh)} V_k$$

Logo:

$$(B.36) \quad Q_{k(sh)} = B_{k(sh)} V_k^2$$

B.5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em resumo, o problema do fluxo de carga convencional é o seguinte:

Têm-se um conjunto de equações não lineares representados matematicamente e de uma forma compacta, por:

$$(B.37) \quad Y = f(X)$$

$$(B.38) \quad Z = h(X)$$

para Y, X e Z definidos em (B.1) - (B.3).

Da eq. (B.37), determina-se o vetor X, resultando então na definição do estado do sistema. Assim, a eq. (B.38) é determinada a partir do conhecimento do estado do sistema X e das eq. (B.21) - (B.26), (B.34) - (B.36).

APÊNDICE C

A TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER - FFT

C.1 - INTRODUÇÃO

O objetivo deste apêndice é descrever os conceitos gerais da teoria da Transformada Rápida de Fourier.

C.2 - A TRANSFORMADA DE FOURIER

Seja $h(t)$ uma função, definida em um período T . A função complexa $H(f)$ definida no domínio da frequência com período T_f , obtida pela integral:

$$(C.1) \quad H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(x) e^{-j2\pi f x} dx$$

é dita Transformada de Fourier.

Sua transformada inversa é obtida por:

$$(C.2) \quad h(x) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f) e^{j2\pi f x} df$$

ou

$$(C.3) \quad h(x) = \left[\int_{-\infty}^{\infty} H^*(f) e^{-j2\pi f x} df \right]^*$$

onde:

'*' significa conjugado complexo.

C.3 - PROPRIEDADES DA TRANSFORMADA DE FOURIER

OBS:

. O símbolo \Rightarrow quer dizer 'equivalente'.

. $h(x) \Rightarrow H(f)$, ou seja, $h(x)$ tem como transformada para o domínio da frequência, a função $H(f)$.

a) Linearidade

$$t(x) + y(x) \Rightarrow T(f) + Y(f)$$

b) Simetria

$$H(x) \Rightarrow h(-f)$$

c) Multiplicação no tempo

$$h(kx) \Rightarrow \frac{1}{k} H\left(\frac{f}{k}\right)$$

d) Multiplicação na frequência

$$H(kf) \Rightarrow \frac{1}{|k|} h\left(\frac{x}{k}\right)$$

e) Deslocamento no tempo

$$h(x-x_0) \Rightarrow H(f)e^{-j2\pi f x_0}$$

f) Deslocamento na frequência

$$h(x)e^{j2\pi x f_0} \Rightarrow H(f-f_0)$$

g) Função pares e ímpares

Se $h(x)$ é uma função par, então $H(f)$ será uma função par e real.

Se $h(x)$ é uma função ímpar, então $H(f)$ será uma função ímpar e imaginária.

C.4 - A TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER

Suponha agora, que $h(x)$ é uma função discreta ou discretizada, com N impulsos e com um espaço entre qualquer dois impulsos consecutivos igual a T . Essa função é definida por:

$$(C.4) \quad h(x) = \sum_{k=0}^{N-1} \alpha_k \delta(x-kT)$$

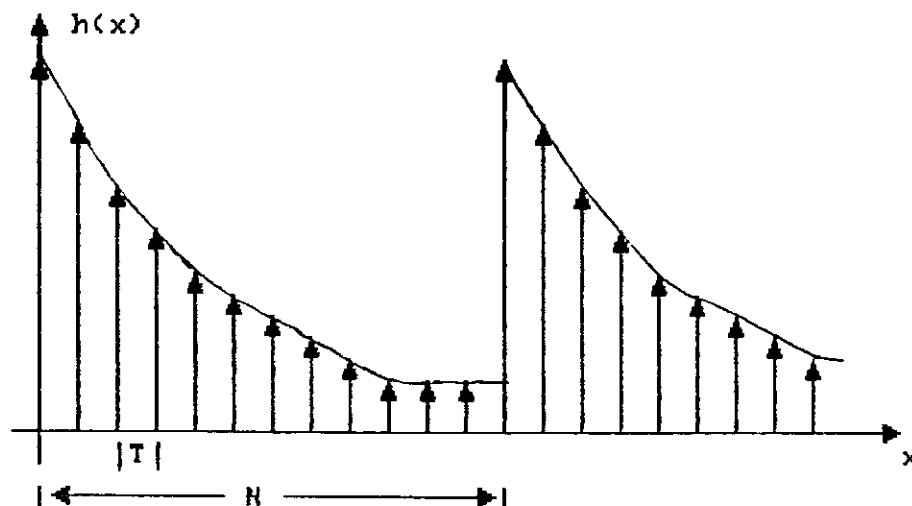


fig. C.1 - Discretização de uma função

onde:

α_k - valor do impulso no ponto k

δ - função impulso

De (C.1) e (C.4), resulta:

$$(C.5) \quad H(f) = \sum_{k=0}^{N-1} \alpha_k e^{-j\pi f k T}$$

Devido ao fato de $H(f)$ ser uma função periódica, com período $T_0 = \frac{2\pi}{T}$, $H(f)$ pode ser representada pela seguinte função discreta:

$$(C.6) \quad H\left(\frac{n}{NT}\right) = \sum_{k=0}^{N-1} \alpha_k e^{-j2\pi nk/N}, \quad n=0,1,\dots,N-1$$

Sua transformada inversa é obtida por:

$$(C.7) \quad \alpha_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} H\left(\frac{n}{NT}\right) e^{j2\pi nk/N}, \quad k=0,1,\dots,N-1$$

Resultando em:

$$(C.8) \quad f(x) = \sum_{k=0}^{N-1} \alpha_k (x - kT)$$

As propriedades da transformada discreta de Fourier é uma extensão das propriedades da transformada de Fourier.

Isto é devido ao fato de a transformada discreta de Fourier ser simplesmente um caso especial da transformada de Fourier.

C.5 - A TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER - FFT

A FFT é simplesmente um algoritmo que pode computar a transformada discreta de Fourier muito mais rapidamente que qualquer um outro algoritmo. E feito a seguir uma rápida discussão do aspecto computacional deste algoritmo.

C.5.1 - FORMULAÇÃO MATRICIAL

É mostrado a seguir um procedimento de fatorização de uma matriz, para que se tenha uma idéia do princípio do algoritmo da FFT.

Considere a transformada discreta de Fourier:

$$(C.9) \quad X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x_0(k) e^{-j2\pi nk/N}, \quad n=0,1,\dots,N-1$$

Fazendo $N = 4$ e $W = e^{-j2\pi/N}$, tem-se:

$$(C.10) \quad \begin{aligned} X(0) &= x_0(0)W^0 + x_0(1)W^0 + x_0(2)W^0 + x_0(3)W^0 \\ X(1) &= x_0(0)W^0 + x_0(1)W^1 + x_0(2)W^2 + x_0(3)W^3 \\ X(2) &= x_0(0)W^0 + x_0(1)W^2 + x_0(2)W^4 + x_0(3)W^6 \\ X(3) &= x_0(0)W^0 + x_0(1)W^3 + x_0(2)W^6 + x_0(3)W^9 \end{aligned}$$

ou, na forma matricial

$$(C.11) \quad \begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ X(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W^0 & W^0 & W^0 & W^0 \\ W^0 & W^1 & W^2 & W^3 \\ W^0 & W^2 & W^4 & W^6 \\ W^0 & W^3 & W^6 & W^9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0(0) \\ x_0(1) \\ x_0(2) \\ x_0(3) \end{bmatrix}$$

ou

$$(C.12) \quad X(n) = W^{nk} x_0(K)$$

Para uma transformação complexa, N^2 multiplicações complexas e $N^2 - N$ adições complexas são necessárias para realizar a computação da eq. (C.11).

O algoritmo da FFT reduz esse número de multiplicações e adições, como evidenciado a seguir.

Faz-se $N = 2^\gamma$, onde γ é um número inteiro, (então $\gamma = 2$ para o exemplo da eq. (C.11)).

Fazendo $W^{nk} = W^{nk \text{ mod}(N)}$ onde $[nk \text{ mod}(N)]$ é o quociente da divisão de nk por N , e reescrevendo a eq. (C.11), chega-se a:

$$(C.13) \quad \begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ X(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W^1 & W^2 & W^3 \\ 1 & W^2 & W^0 & W^2 \\ 1 & W^3 & W^2 & W^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_0(0) \\ X_0(1) \\ X_0(2) \\ X_0(3) \end{bmatrix}$$

Fatorizando a matriz quadrada definida na eq. (C.13), chega-se a:

$$(C.14) \quad \begin{bmatrix} X(0) \\ X(2) \\ X(1) \\ X(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & W^0 & 0 & 0 \\ 1 & W^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & W^1 \\ 0 & 0 & 1 & W^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & W^0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & W^0 \\ 1 & 0 & W^2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & W^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0(0) \\ x_0(1) \\ x_0(2) \\ x_0(3) \end{bmatrix}$$

Esta fatorização é o artifício que torna o algoritmo da FFT eficiente. Observe que houve uma mudança na estrutura do vetor $X(n)$, onde foram trocados as linhas 1 e 2, resultando em um vetor $\overline{x(n)}$:

Onde:

$$\overline{x(n)} = \begin{bmatrix} X(0) \\ X(2) \\ X(1) \\ X(3) \end{bmatrix}$$

Prosseguindo, façamos:

$$(C.15) \quad \begin{bmatrix} x_1(0) \\ x_1(1) \\ x_1(2) \\ x_1(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & w^0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & w^0 \\ 1 & 0 & w^2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & w^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0(0) \\ x_0(1) \\ x_0(2) \\ x_0(3) \end{bmatrix}$$

Os elementos $x_1(0)$ e $x_1(1)$ são calculados por uma multiplicação e uma adição complexas. Os elementos $x_1(2)$ e $x_1(3)$ necessitam apenas de uma adição complexa. Isto é devido ao fato de $w^2 = -w^0$. logo:

$$x_1(2) = x_0(0) + w^2 x_0(2) = x_0(0) - w^0 x_0(2)$$

$$x_1(3) = x_0(1) + w^2 x_0(3) = x_0(1) - w^0 x_0(3)$$

Essas multiplicações, necessárias nas equações acima, já foram feitas para os elementos $x_1(0)$ e $x_1(1)$ respectivamente.

O vetor intermediário $x_1(k)$ definido na eq. (C.15), é então determinado por quatro adições complexas e duas multiplicações complexas.

Fazendo:

$$(C.16) \quad \begin{bmatrix} x(0) \\ x(2) \\ x(1) \\ x(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2(0) \\ x_2(1) \\ x_2(2) \\ x_2(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & w^0 & 0 & 0 \\ 1 & w^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & w^1 \\ 0 & 0 & 1 & w^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(0) \\ x_1(1) \\ x_1(2) \\ x_1(3) \end{bmatrix}$$

Os elementos $x_2(0)$ e $x_2(2)$ são determinados por uma multiplicação e uma adição complexas. Os elementos $x_2(1)$ e $x_2(3)$ são obtidos através de apenas uma adição complexa.

Tem-se que, o cálculo do vetor $\overline{x(n)}$ requer um total de quatro multiplicações complexas e oito adições complexas. Se a

obtenção deste vetor fosse através da eq. (C.13), seriam necessários dezesseis multiplicações complexas e doze adições complexas. Assim, o processo de fatorização reduziu o número de multiplicações e adições, conseqüentemente, reduzindo o tempo computacional.

Generalizando, temos:

método	adições complexas	multiplicações complexas
FFT	γN	$N \gamma/2$
direto	$N(N-1)$	N^2

tab. C.1 - Multiplicações e adições necessárias aos dois métodos: FFT e Direto.

Para $N = 2^Y$, o algoritmo para a FFT é simplesmente um procedimento para fatorar uma matriz $N \times N$ em matrizes $N \times N$ tal que cada matriz fatorada tem a propriedade de minimizar o número de multiplicações e adições complexas.

Se é assumido que o tempo de computação é proporcional ao número de multiplicações, então a relação entre o tempo de computação gasto na FFT e no método direto, é dado por:

$$(C.17) \quad \frac{N^2}{N\gamma/2} = \frac{2N}{\gamma}$$

Se por exemplo, $N = 1024 = 2^{10}$, então há uma redução no tempo computacional maior que 200 para 1.

C.6 - CONSIDERAÇÕES

Em problemas envolvendo somente funções reais, algumas vantagens podem ser obtidas de algumas propriedades do algoritmo da FFT, para se ter uma melhor utilização deste algoritmo.

- Devido ao fato de funções reais serem simétricas no domínio da frequência, isto é, a segunda metade da função complexa neste domínio é igual ao conjugado complexo da primeira metade, a convolução pode ser feita somente para a primeira metade da sequência.
- Quando se tem um algoritmo que seja capaz de transformar uma função para o domínio da frequência, a parte imaginária da função pode ser usada para calcular mais eficientemente a

função no domínio da frequência.

- c) Considere que é desejado realizar a convolução discreta de $h(x)$ e $g(x)$ na metade do tempo, usando a parte imaginária do algoritmo da FFT. Assuma que $h(x)$ é descrita por $2N$ pontos, e defina:

$$\begin{aligned} r(x) &= h(2x) \quad , \quad x = 0, 1, \dots, N - 1 \\ (C.18) \quad s(x) &= h(2x+1) \quad , \quad x = 0, 1, \dots, N - 1 \\ t(x) &= r(x) + j s(x) \quad , \quad x = 0, 1, \dots, N - 1 \end{aligned}$$

Assim a convolução das funções $t(x)$ e $g(x)$ resulta em:

$$(C.19) \quad z(x) = Z_r(x) + j Z_i(x) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} T(n) G(n) e^{j2\pi nx/N}$$

Onde a convolução desejada de $h(x)$ e $g(x)$ é definida por $y(x)$, para:

$$\begin{aligned} y(2x) &= Z_r(x) \quad x = 0, 1, \dots, N - 1 \\ y(2x+1) &= Z_i(x) \quad x = 0, 1, \dots, N - 1 \end{aligned}$$

APÊNDICE D

DADOS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA

D.1 - INTRODUÇÃO

É apresentado neste apêndice, os dados dos sistemas de 5, 14 e de 39 barras, usados para testar o programa de fluxo de carga probabilístico. A potência base é de 100 MVA. Geração e cargas são representados por valores positivos e negativos, respectivamente.

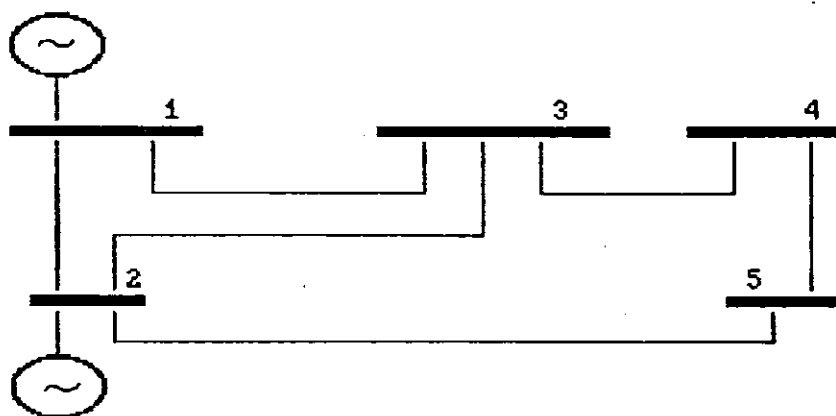
Os desvios padrão das distribuições normais são dados como percentagem dos respectivos valores esperados.

Os dados são apresentados da seguinte maneira:

- a) Configuração do sistema;
- b) Dados de linha;
- c) Dados determinísticos de barra e
- d) Dados probabilísticos de barra.

D.2 - SISTEMA TESTE DE 5 BARRAS (28)

- a) Configuração do sistema



- b) Dados de linha

Barra	resistência	reatância	susceptância	tap do trans-
de | para |	pu	pu	pu	formador (pu)
1 | 2 |	0.02	0.06	0.06	|
1 | 3 |	0.08	0.24	0.05	|
2 | 3 |	0.06	0.18	0.04	|
2 | 4 |	0.06	0.18	0.04	|
2 | 5 |	0.04	0.12	0.03	|
3 | 4 |	0.01	0.03	0.02	|
4 | 5 |	0.08	0.24	0.05	|

c) Dados determinísticos de barra

barra		tensão		pot.ativa		pot.reativa
número	tipo	magnitude pu	ângulo graus	geração MW	carga MW	carga MVAR
1	SW	1.0600				
2	PQ	1.0474	- 2.81	40.00	20.00	-20.00
3	PQ	1.0242	- 5.00		45.00	15.00
4	PQ	1.0236	- 5.33		40.00	5.00
5	PQ	1.0179	- 6.15		60.00	10.00

d) Dados probabilísticos de barra

- Distribuições normais

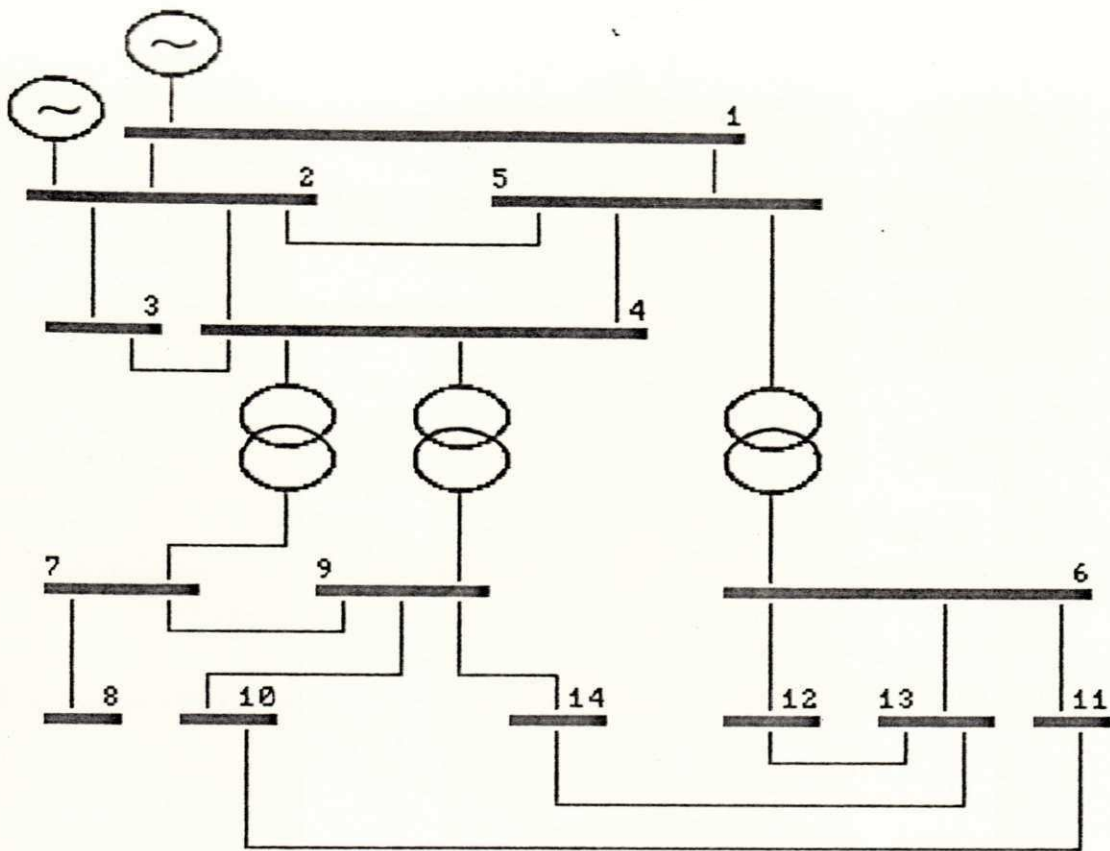
barra	pot. ativa		pot. reativa	
número	(MW)	(%)	(MVAR)	(%)
2	-20.00	5.00	20.00	5.00
3	-45.00	5.00	-15.00	5.00
4	-40.00	5.00	- 5.00	5.00
5	-60.00	5.00	-10.00	5.00

- Distribuições binomiais

barra	Potência de cada unidade(MW)	Taxa de saída forçada	Número de unidades
2	21.50	0.07	2

D.3 - SISTEMA TESTE DE 14 BARRAS DO IEEE

a) Configuração do sistema



b) Dados de linha

Barra de	Barra para	resistência pu	reatância pu	susceptância pu	tap do transformador (pu)
1	2	0.01938	0.05917	0.02640	
1	5	0.05403	0.22304	0.02640	
2	3	0.04699	0.19797	0.02190	
2	4	0.05811	0.17632	0.01870	
2	5	0.05695	0.17388	0.01700	
3	4	0.06701	0.17103	0.01730	
4	5	0.01335	0.04211	0.00640	
4	7		0.20912		0.978
4	9		0.55618		0.969
5	6		0.25202		0.932
6	11	0.09498	0.19890		
6	12	0.12291	0.25581		
6	13	0.06615	0.13027		
7	8		0.17615		
7	9		0.11001		
9	10	0.03181	0.08450		
9	14	0.12711	0.27038		
10	11	0.08205	0.19207		
12	13	0.22092	0.19988		
13	14	0.17093	0.34802		
9	9		-5.26000		

c) Dados determinísticos de barra

barra		tensão		pot.ativa		pot.reativa
número	tipo	magnitude pu	ângulo graus	geração MW	carga MW	carga MVAR
1	SW	1.0600				
2	PV	1.0450	- 4.98	40.04	21.74	12.70
3	PV	1.0100	-12.72		94.20	19.00
4	PQ	1.0171	-10.30		47.80	-3.90
5	PQ	1.0187	- 8.76		7.60	1.60
6	PV	1.0700	-13.35		11.20	7.50
7	PQ	1.0613	-13.35			
8	PV	1.0900	-13.35			
9	PQ	1.0557	-14.93		29.50	16.60
10	PQ	1.0508	-15.09		9.00	5.80
11	PQ	1.0568	-14.79		3.50	1.80
12	PQ	1.0552	-15.07		6.10	1.60
13	PQ	1.0503	-15.15		13.50	5.80
14	PQ	1.0354	-16.03		14.90	5.00

d) Dados probabilísticos de barra

- Distribuições normais

barra	pot. ativa		pot. reativa	
	(MW)	(%)	(MVar)	(%)
2	-21.74	9.00	-12.70	9.20
3	-94.20	10.00	-19.00	10.50
4	-47.80	11.00	3.90	9.70
5	- 7.60	5.00	- 1.60	5.00
6	-11.20	6.00	- 7.50	6.30
7	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00
10	- 9.00	10.00	- 5.80	10.00
11	- 3.50	9.50	- 1.80	9.50
12	- 6.10	7.60	- 1.60	8.60
13	-13.50	10.50	- 5.80	9.50
14	-14.90	8.60	- 5.00	8.60

- Distribuições discretas -

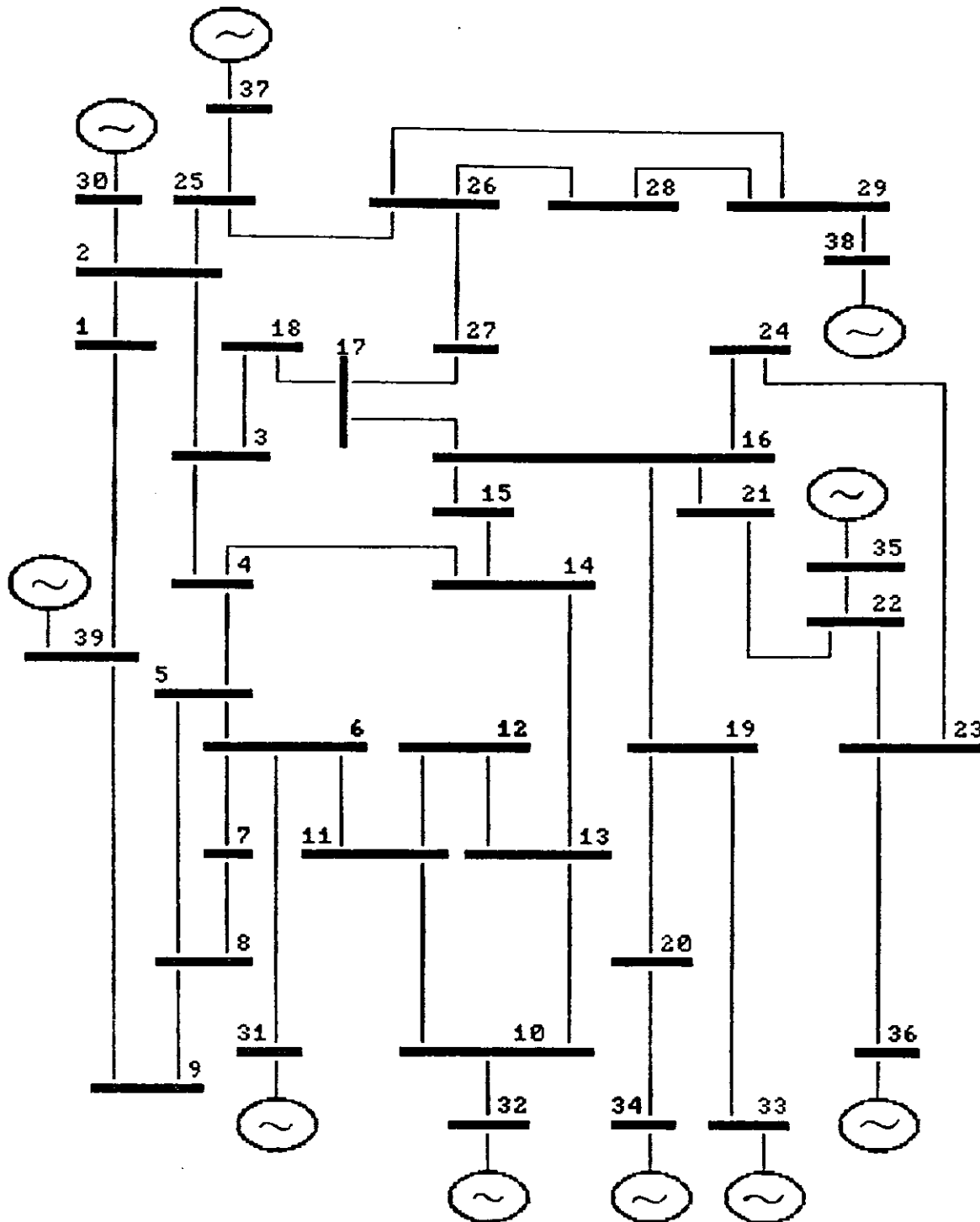
barra	pot.ativa		pot.reativa	
número	MW	prob.	MVAr	prob.
9	-13.40	0.10	- 7.50	0.10
	-19.60	0.15	-11.00	0.15
	-30.20	0.30	-17.00	0.30
	-34.80	0.25	-19.60	0.25
	-37.30	0.20	-21.00	0.20

- Distribuições binomiais

barra	Potência de cada unidade(MW)	Taxa de saída forçada	Número de unidades
1	25.00	0.08	10
2	22.00	0.09	2

D.4 - SISTEMA TESTE DE 39 BARRAS DO IEEE

a) Configuração do sistema



b) Dados de linha

Barra	de	para	resistência pu	reatância pu	susceptância pu	tap do trans- formador (pu)
1	2		0.00350	0.04110	0.69870	
1	39		0.00100	0.02500	0.75000	
2	3		0.00130	0.01510	.025720	
2	25		0.00700	0.00860	0.14600	
3	4		0.00130	0.02130	0.22140	
3	18		0.00110	0.01130	0.21380	
4	5		0.00080	0.01280	0.13420	
4	14		0.00080	0.01290	0.13420	
5	6		0.00020	0.00260	0.04340	
5	8		0.00080	0.01120	0.14760	
6	7		0.00060	0.00920	0.11300	
6	11		0.00070	0.00820	0.13890	
7	8		0.00040	0.00460	0.07800	
8	9		0.00230	0.03630	0.38040	
9	39		0.00100	0.02500	1.20000	
10	11		0.00040	0.00430	0.07290	
10	13		0.00040	0.00430	0.07290	
13	14		0.00090	0.01010	0.17230	
14	15		0.00180	0.02170	0.36600	
15	16		0.00090	0.00940	0.17100	
16	17		0.00070	0.00890	0.13420	
16	19		0.00160	0.01950	0.30400	
16	21		0.00080	0.01350	0.25480	
16	24		0.00030	0.00590	0.06800	
17	18		0.00070	0.00820	0.13190	
17	27		0.00130	0.01730	0.32160	
21	22		0.00080	0.01400	0.25650	
22	23		0.00060	0.00960	0.18460	
23	24		0.00220	0.03500	0.36100	
25	26		0.00320	0.03230	0.51300	
26	27		0.00140	0.01470	0.23960	
26	28		0.00430	0.04740	0.78020	
28	29		0.00140	0.01510	0.24900	
12	11		0.00160	0.04350		1.006
12	13		0.00160	0.04350		1.006
6	31			0.02500		1.070
10	32			0.02000		1.070
19	33		0.00070	0.01420		1.070
20	34		0.00090	0.01800		1.009
22	35			0.01430		1.025
23	36		0.00050	0.02720		1.000
25	37		0.00060	0.02320		1.025
2	30			0.01810		1.025
29	38		0.00080	0.01560		1.025
19	20		0.00070	0.01380		1.060

- Distribuições discretas

barra	pot.ativa		pot.reativa	
	MW	prob.	MVAr	prob.
18	-150.00	0.20	-26.00	0.20
	-154.00	0.20	-28.00	0.20
	-158.00	0.20	-30.00	0.20
	-162.00	0.20	-32.00	0.20
	-166.00	0.20	-34.00	0.20
12	- 8.50	1.00	-88.00	1.00

- Distribuições binomiais

barra	Potência de cada unidade(MW)	Taxa de saída forçada	Número de unidades
30	62.50	0.20	5
34	63.50	0.20	10
37	100.00	0.10	6

MANUAL PARA USO DO PROGRAMA DE FLUXO DE CARGA PROBABILÍSTICO

E.1 - INTRODUÇÃO

O fluxo de carga probabilístico foi definido no decorrer desta dissertação como sendo um método para o cálculo do fluxo de potência nas linhas e algumas outras variáveis de saída (como descrito no cap. 2), que leva em consideração a configuração do sistema tomado como constante e incertezas de dados de barra. O princípio deste método é resumido da seguinte maneira:

- As cargas e/ou geração ativa e reativa de cada barra são dadas como um conjunto de valores associados com a frequência de sua ocorrência, dando uma natureza probabilística a esses dados. Através de somas ponderadas dessas variáveis aleatórias, definidas como sendo funções densidade de probabilidade, obtêm-se então as variáveis aleatórias de saída, também definidas como sendo funções densidade de probabilidade.

Um programa foi então desenvolvido para se obter estas variáveis aleatórias de saída.

Este programa foi escrito em FORTRAN IV por ser essa uma linguagem usada pela maioria dos que convivem com aspectos computacionais em Sistemas de Potência.

Este manual descreve como entrar os dados para o uso deste programa, assim como os resultados de saída.

O dimensionamento do programa é descrito na seção E.7.

O ponto de operação, ou seja, o ponto de linearização sobre o qual se obterá as variáveis de saída, devem entrar como dados do sistema. Assim, a magnitude e ângulo da tensão em cada barra, devem entrar como dados de barra. Esses dados devem ser obtidos através da execução de um fluxo de carga determinístico, para os valores esperados das distribuições relacionadas às cargas e geração ativa e reativa em cada barra.

Este programa leva em consideração a esparsidade da matriz Jacobiana a ser invertida, reduzindo assim:

- Memória computacional;
- Erros de arredondamento e
- Tempo computacional.

Finalmente, para o processo de convolução, é usado um algoritmo que permite a utilização da Transformada Rápida de Fourier (FFT), para a soma das variáveis aleatórias.

O programa detectará determinados erros na entrada dos dados, interrompendo ou não a execução do programa. Os possíveis erros detectados estão listados na seção E.B.

E.2 - SUPOSIÇÕES

Para definir a estrutura do programa, foi necessário definir algumas suposições referentes ao sistema, de maneira que se pudesse desenvolver um algoritmo que resolvesse o fluxo de carga probabilístico. A seguir, tem-se estas suposições enumeradas.

Referentes à configuração do sistema:

- 1) São ignorados os transformadores defasadores e
- 2) A configuração do sistema permanece constante durante todo o processo de solução do fluxo de carga probabilístico. Ou seja, todas as linhas, transformadores e shunts não são alterados.

Referentes aos dados de barra:

- 4) Geração é definido como uma potência positiva;
- 5) Carga é definida como uma potência negativa;
- 6) Potência ativa shunt não é considerada;
- 7) Tem-se balanço de potência apenas para a potência ativa, na barra de balanço;
- 8) Magnitude e ângulo da tensão na barra de balanço são mantidos constantes;
- 9) Magnitude da tensão e potência reativa shunt injetada nas barras de tensão controlada são mantidos constantes;
- 10) As potências em cada barra podem ser representadas através de cada uma das seguintes distribuições:

a) Distribuição binomial

Este tipo de distribuição aleatória se refere a um conjunto de unidades semelhantes entre si, consideradas independentes. São representadas pelo número de unidades, pela potência unitária e por uma taxa de saída forçada.

b) Distribuição normal ou gaussiana

São definidos pelo valor esperado e desvio padrão.

Geralmente é atribuída a cargas;

c) Distribuição discreta

É aplicado para a representação de potências que são especificados por um ou uma série de impulsos com suas

respectivas probabilidades de ocorrência. Geralmente possuem grande variância.

Uma descrição mais detalhada destas distribuições foi feita no capítulo 7.

- 11) Não há nenhum limite conceitual para o número de impulsos para as distribuições discretas. Entretanto é atribuído um limite prático para este número. Na seção E.4.4 é definido este limite.

E.3 - PREPARAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA

Tem-se as seguintes especificações para os formatos dos dados:

- Iw - É usada para representar um dado inteiro. w especifica o número de caracteres no campo do dado, preenchido da direita para a esquerda.
- Aw - É usada para representar um dado sob a forma de caracteres. w tem o mesmo significado que o anterior.
- Fw.d - É usada para representar dados reais sem expoente. w especifica o número de caracteres no campo dado e d indica o número de casas decimais.

OBS: Para a especificação Fw.D, o ponto decimal pode estar em qualquer posição dentro do campo w.

O ponto de operação do sistema, ou seja, a magnitude e o ângulo da tensão em cada barra do sistema, faz parte dos dados de entrada. Para isso, é necessário executar antes, um programa de fluxo de carga determinístico. É óbvio então que já se tem uma representação unifilar do sistema. Assim, os dados determinísticos já estão modelados.

Em relação aos dados probabilísticos, é necessário prepará-los da seguinte maneira:

a) Para as distribuições normais:

- O desvio padrão deve ser representado como sendo uma percentagem do valor esperado.
- De preferência, deve-se entrar apenas uma distribuição equivalente por barra, mas isso não é obrigatório.

b) Para as distribuições binomiais:

- Deve-se representar cada conjunto de unidades com mesma potência e taxa de saída por uma distribuição binomial.

- Mais de uma distribuição binomial pode ser aceita pelo programa, para cada barra.

c) Para a barra de balanço, pode-se ter até dez distribuições discretas + binomiais.

Todo o controle interno do programa é feito através de códigos de controle de dois dígitos, colocados nas colunas 1 e 2, sendo:

Código 1: O programa lê o conteúdo do cartão seguinte como sendo o título do sistema.

Código 2: O programa não leva em consideração o próximo cartão. É usado para colocar observações no arquivo de dados. O valor colocado nas colunas 3 e 4 indicará o número de cartão de observações a serem lidos. Default é igual a 1.

Código 3: O programa lê o conteúdo do cartão seguinte como sendo constantes especiais para o programa.

Código 4: Este código indica o começo dos cartões contendo os dados determinísticos de barra.

Código 5: Este código é usado para indicar o início dos cartões contendo os dados de linhas e transformadores.

Código 6: Este cartão determina que os próximos cartões conterão os dados probabilísticos de barra.

Código 7: Este cartão faz com que o programa inicie o processo de solução do problema de fluxo de carga probabilístico.

Código 8: Um cartão com este código determina o fim da execução do programa.

OBS:

- Um cartão com os dígitos 99999 nas colunas 1 a 5 deve ser incluído no final dos dados referentes aos códigos 4, 5 e 6.

- A inclusão do controle 1 na coluna 4 dos cartões referentes aos códigos 3, 5 e 6 indicará que não deverá ser impresso os dados associados a estes códigos.

- Os dados referentes aos códigos 3 e 4 devem anteceder aos dos códigos 5 e 6, sendo que os referentes ao código 3 devem anteceder aos do código 4.

E.4 - DESCRIÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA

E.4.1 - DADOS GERAIS DE ENTRADA

Este ítem tem como finalidade descrever o significado de alguns dados citados na seção E.6.

Esses dados definirão as constantes que o programa necessitará para o dimensionamento das variáveis e definição de parâmetros básicos.

- Logaritmo para o processo de convolução - Define o logaritmo de base 2 para o processo de convolução. Deve estar entre 4 ($2^4 = 16$ pontos) e 9 ($2^9 = 512$ pontos).
- Logaritmo para o processo de impressão - Define o logaritmo de base 2 para o número de pontos necessários para listar cada função densidade e/ou acumulada de saída. Deve estar entre 4 e 9. Deve ser menor ou igual ao valor definido para o processo de convolução.
- Desvios padrão - Número de desvios padrão para representar a função normal equivalente. Deve estar entre 2.5 e 4.5. É assumido variações de 0.5.
- Tensão mínima - Define o limite operacional mínimo para o módulo da tensão (em pu). Quando for necessário o processo de convolução para o módulo de tensão numa determinada barra, será feita uma análise da probabilidade de exceder ou não este limite.
- Tensão máxima - Tem o significado semelhante ao do ítem anterior.
- Número de cópias - Define a quantidade de cópias para os resultados referentes aos ítems I) e J), da seção E.5.
- Tipo de solução - Define o controle para o tipo de solução do fluxo de carga probabilístico. (ver nota A)
- Número de linhas por página - Define o número de linhas por página para a impressão dos dados de entrada e resultados.
- Número de áreas - Define o número de áreas a serem analisadas. Para a análise de áreas, um cartão extra deve ser incluído, contendo o número destas áreas. O número máximo de áreas é 40.
- Análise do carregamento - Define o controle para a impressão da análise do carregamento nas linhas. 0 imprime e 1 não imprime.

E.4.2 - DADOS DETERMINÍSTICOS DE BARRA

- É necessário apenas um cartão para cada barra do sistema.
- Tipo de barra. Têm-se a seguinte convenção:
 - 0 - barra de carga
 - 1 - barra de tensão controlada
 - 2 - barra de balanço
- Susceptância shunt (%). Têm-se a seguinte convenção:
 - Capacitor - positivo
 - Indutor - negativo
- As colunas 44 a 53, 56 e 57 definem o controle para o cálculo das funções densidade de probabilidade e/ou distribuição acumulada nas barras, para a variável especificada (ver nota B).
- Impressão dos coeficientes de sensibilidade - Definem o controle de impressão destes coeficientes (ver nota C).
- Número da área - Define o número da área a que esta barra pertence. Se não for colocado nada neste campo, é assumido que a barra pertença a área 1.

E.4.3 - DADOS DE LINHAS E TRANSFORMADORES

- É necessário apenas um cartão para cada linha ou transformador.
- Susceptância da linha (pu) - O programa divide internamente este valor por dois, para representar o pi equivalente.
- As colunas 55 a 60 definem o controle para o cálculo da função densidade de probabilidade, distribuição acumulada e análise do reforço nas linhas (ver nota D).
- Impressão dos coeficientes de sensibilidade - Definem o controle de impressão destes coeficientes (ver nota C)
- Número de limites - Define o número de limites a serem analisados.
- Análise dos limites - Define o controle para a análise dos limites. É feita a análise para apenas um tipo de fluxo em uma determinada linha (ver nota E).
Para a análise de ultrapassar limites de fluxo de potência nas linhas, um cartão extra deve ser incluído, contendo as potências a serem analisadas. Este cartão extra é necessário

quando o número de limites a serem analisados é diferente de zero. O número máximo de limites a serem analisados é 5. A análise se restringe à determinação da probabilidade de exceder ou não o limite especificado.

- As colunas 67 a 80 definem o carregamento normal e de emergência de cada linha. O programa irá imprimir uma tabela contendo as barras terminais de cada linha e a probabilidade de se ultrapassar estes carregamentos.

E.4.4 - DADOS PROBABILÍSTICOS DE BARRA

- É necessário apenas um cartão para cada distribuição normal e binomial de determinada barra.
- Cartões extras são necessários para as distribuições discretas, sendo um cartão para cada impulso discreto (colocado apenas uma vez).
- O desvio padrão das distribuições normais devem ser expressas em por cento (%) do respectivo valor esperado.
- É convencional para os valores das potências ativa e reativa:
Geração - valor positivo
Carga - valor negativo
- Foi dimensionado para as distribuições binomiais a utilização de até 14 unidades como mesma potência.
- As colunas 6 a 21 referem-se às distribuições binomiais, onde:
 - . Número de unidades - Definem o número de unidades com a mesma potência
 - . Potência de cada unidade - Definem a potência no gerador ou motor
- As colunas 22 a 53 referem-se às distribuições normais, onde o desvio padrão está em por cento do valor esperado.
- Número de distribuições discretas - Define quantas distribuições discretas virão a seguir. Uma distr. disc. referente à potência reativa pode ser colocada ao lado de uma referente à potência ativa e ser contada como apenas uma distribuição discreta, entretanto elas devem ter o mesmo número de impulsos.
- Número a mais de distribuições binomiais e/ou normais - Este campo deverá indicar quantos cartões a mais serão necessários,

quando mais de um cartão for necessário para representar as distribuições normais e/ou binomiais de uma barra. Estes deverão vir antes das distribuições discretas, quando coincidirem. Os cartões extras terão o mesmo formato que o principal.

Observações para as distribuições discretas

- a) No final de cada distribuição, deve ser incluído um cartão em branco.
- b) As potências com suas respectivas probabilidades devem ser colocadas em ordem crescente.
- c) O campo referente à potência reativa para a barra de balanço, não é considerada pelo programa.
- d) Cada distribuição pode ter até 15 impulsos.

E.5 - DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS DE SAÍDA

O programa fornece os seguintes resultados, onde o asterisco representa um resultado opcional:

- a) O título do sistema na primeira linha de cada página.
- b) Dados gerais do sistema. (*)
- c) Todos os dados de entrada referente aos dados de linhas, e transformadores na mesma sequência em que eles são lidos. (*)
 - Número da linha
 - Barra de
 - Barra para
 - Resistência da linha
 - Reatância da linha
 - Susceptância da linha
 - Tap do transformador
 - Lado em que se está conectado o transformador
 - Carregamento da linha: Normal e de emergência
- d) Dados de entrada referentes aos dados de barra, na mesma sequência em que são lidos: (*)
 - Número de barra.
 - Tipo da barra:

- Magnitude da tensão;
 - Angulo da tensão;
 - Susceptância shunt;
 - Dist. discretas;
 - Dist. binomiais
 - Dist. normais
 - Valor esperado e desvio padrão resultantes para as potências ativa e reativa em cada barra.
- e) A curva densidade de probabilidade e/ou probabilidade acumulada de cada variável de saída, definidas no cap. 2, que podem ser:
- Angulo da tensão nas barras (PQ + PV).
 - Magnitude da tensão nas barras (PQ).
 - Potência reativa injetada nas barras (PV + SW).
 - Potência reativa shunt injetada nas barras (PQ).
 - Potência ativa injetada na barra de balanço.
 - Fluxo de potência ativa em ambas as direções;
 - Fluxo de potência reativa em ambas as direções;
 - Fluxo de potência aparente em ambas as direções.
- f) Resultados gerais do processo de convolução. (*)
- g) Tabela dos coeficientes de sensibilidade. (*)
- h) Análise da probabilidade de exceder limite operacional. Para se ter esta análise, é necessário realizar o processo de convolução.
- i) Resultados relativos ao valor esperado e desvio padrão para todas as barras e linhas do sistema, das variáveis relacionadas no ítem e), assim como do balanço de potência ativa na barra de balanço.
- j) Sumário dos carregamentos nas linhas, ou seja, as probabilidades (em %) de se excederem os carregamentos normal e de emergência em todas as linhas do sistema. Após essas probabilidades, é indicado quais os carregamentos que excedem 5%. Assim, N e E indicam que o carregamento foi superior a 5% nos casos normal e de emergência, respectivamente.
- Um detalhe importante é que essas probabilidades foram obtidas, supondo uma distribuição normal para o fluxo de potência aparente na linha, com parâmetros μ e σ .
- Assim, para se obter um valor mais preciso, é necessário fazer a análise descrita no ítem h), pois os resultados deste ítem são obtidos através do processo de convolução.
- h) Como já foi descrito antes, o programa permite que seja feita uma análise DC do problema. Essa alternativa conduz a resultados bem mais rápidos que a alternativa AC. Entretanto essa alternativa não permite a análise do ítem j).

i) O programa também permite que se obtenha as curvas referentes aos seguintes ítems:

- Distribuição normal equivalente, para os parâmetros u e σ^2 da variável de saída;
- Distribuição normal equivalente, sobreposta à fdp obtida por processo de convolução;
- Distribuições acumuladas referentes ao ítem anterior;
- Análise do reforço vs segurança. O programa então plota qual o reforço necessário para determinado nível de segurança, a partir de um certo limite.

OBS: Estas curvas são obtidas através de um processo conversacional, ou seja, quando o programa realiza o processo de convolução de uma determinada v.a. de saída, questiona a necessidade destas curvas.

E.6 - FORMATAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA

E.6.1 - Título do sistema - código 1

- Apenas um cartão é definido para o título.
- O título é definido como sendo o conteúdo das primeiras 80 colunas do cartão.

E.6.2 - Dados gerais de entrada - código 3

1^o cartão

colunas	formato	default	equivale a:
1 - 6	f6.0	100.	Potência base (MVA)
7 - 10	i4	-	Número de barras (< 550)
11 - 15	i5	-	Número de linhas (< 800)
16 - 19	i4	-	Número de barras de carga (< 450)
20 - 22	i3	7	Logarítmo para o processo de convolução.
23 - 25	i3	7	Logarítmo para o processo de impressão.
26 - 30	f5.0	3.00	Desvios padrão
31 - 37	f7.0	0.95	Tensão mínima
38 - 44	f7.0	1.05	Tensão máxima
45 - 46	i2	1	Número de cópias
47 - 48	i2	0	Tipo de solução
49 - 50	i2	60	Número de linhas p/ página
51 - 52	i2	-	Número de áreas
53 - 54	i2	0	Análise do carregamento

2^o cartão

colunas	formato	default	equivale a:
1 - 2	i2	-	Primeira área a ser analisada
3 - 4	i2	-	Segunda área a ser analisada
:	:	:	:
:	:	:	:

possível até 40 áreas

E.6.3 - DADOS DETERMINÍSTICOS DE BARRA - código 4

colunas	formato	default	equivale a:
1 - 5	i5	-	Número da barra
7 - 18	a12	-	Nome da barra
20 - 21	i2	-	Tipo de barra.
22 - 28	f7.0	-	Módulo da tensão (pu)
29 - 35	f7.0	-	Ângulo da tensão (graus)
36 - 43	f8.0	-	Susceptância shunt (%)
44 - 45	i2	0	Ângulo de tensão (barras PQ+PV)
46 - 47	i2	0	Módulo da tensão (barras PQ)
48 - 49	i2	0	Pot. ativa injetada na barra de balanço
50 - 51	i2	0	Pot. reativa injetada (barras PV+PQ)
52 - 53	i2	0	Pot. reativa shunt injetada (barras PQ)
54 - 55	i2	0	Impressão dos coeficientes de sensibilidade
56 - 57	i2	0	Balanço de pot. ativa na barra de balanço
58 - 59	i2	1	Número da área

E.6.4 - DADOS DE LINHAS E TRANSFORMADORES - código 5

colunas	formato	default	equivale a:
1 - 5	15	-	Número da linha - em ordem crescente (não é obrigatório)
6 - 9	13	-	Número da barra do começo da linha ou transformador
10 - 13	13	-	Número da barra do final da linha ou transformador
14 - 23	f10.0	-	Resistência da linha ou transformador (pu)
24 - 33	f10.0	-	Reatância da linha ou transformador (pu)
34 - 43	f10.0	-	Susceptância da linha (pu)
44 - 50	f7.0	1.0	Tap do transformador (pu)
41 - 54	13	-	Barra onde está situado o transformador
55 - 56	12	0	Fluxo de potência ativa
57 - 58	12	0	Fluxo de potência reativa
59 - 60	12	0	Fluxo de potência aparente
61 - 62	12		Impressão dos coeficientes de sensibilidade
63 - 64	12	0	Número de limites
65 - 66	12	0	Análise dos limites
67 - 73	f7.0	0.	Carregamento normal
74 - 80	f7.0	0.	Carregamento de emergência

2º cartão

colunas	formato	default	equivale a:
1 - 7	f7.0	-	Primeiro limite a ser analisado
8 - 14	f7.0	-	Segundo limite a ser analisado
:	:	:	:
:	:	:	:

possível até 5 limites

E.6.5 - DADOS PROBABILÍSTICOS DE BARRA - código 6

1^o cartão

colunas	formato	default	equivale a:
1 - 5	i5	-	Número da barra
6 - 7	i2	-	Número de unidades
8 - 15	f8.0	-	Potência de cada unidade (MW ou MVar)
16 - 21	f6.0	-	Taxa de saída de cada unidade
22 - 31	f10.0	-	Valor esperado para a potência ativa (MW)
32 - 37	f6.0	-	Desvio padrão para a potência ativa (%)
38 - 47	f10.0	-	Valor esperado para a potência reativa (MVar)
48 - 53	f6.0	-	Desvio padrão para a potência reativa (%)
54 - 55	i2	0	Número de distribuições discretas
56 - 57	i2	0	Número a mais de dist. binomiais e/ou normais.

2^o cartão - distribuição discreta

colunas	formato	default	equivale a:
1 - 10	f10.0	-	Potência ativa referente ao impulso (MW)
11 - 16	f6.0	-	Probabilidade associada
17 - 26	f10.0	-	Potência reativa referente ao impulso (MVar)
27 - 32	f6.0	-	Probabilidade associada

Nota A:

```
-----  
controle |          tipo de solução  
-----  
      0  |  solução real  
      1  |  solução simplificada  
-----
```

Nota B:

```
-----  
controle |  computa e plota as curvas:  
-----  
      0  |  nenhuma  
      1  |  densidade de probabilidade  
      2  |  densidade de prob. e acumulada  
-----
```

Nota C:

```
-----  
controle |  coeficientes de sensibilidade  
-----  
      0  |  não imprime  
      1  |  imprime  
-----
```

Nota D:

```
-----  
controle |          computa e plota as curvas:  
-----  
      0  |  nenhuma  
      1  |  densidade (fluxo da barra começo à barra fim)  
     -1  |  densidade e acumulada          (")  
      2  |  densidade (fluxo da barra fim à barra começo)  
     -2  |  densidade e acumulada          (")  
      3  |  densidade (fluxo nas duas direções)  
     -3  |  densidade e acumulada          (")  
-----
```

Nota E:

```
-----  
controle |  análise para o fluxo:  
-----  
      0  |          ativo  
      1  |          reativo  
      2  |          aparente  
-----
```

E.7 - DIMENSÕES MÁXIMAS ADMISSÍVEIS

O programa está dimensionado para:

Número de barras	: 550
Número de linhas	: 800
Número de barras de carga	: 450
Distribuições discretas	: 100
Distribuições binomiais	: 100
Distribuições normais	: 550
Dist. (binomial + discreta) na barra de balanço	: 10

E.8 - ERROS DETECTADOS NOS DADOS DE ENTRADA

Durante a leitura dos dados, o programa detecta os seguintes erros:

- a) Número de pontos para plotar a curva densidade de saída é maior que o usado no processo de convolução. Este é tomado como default e o programa continuará a execução normalmente.
- b) Erro no número da barra em uma linha ou transformador.
- c) Probabilidade de impulso discreto da dist. discreta ou taxa de saída da dist. binomial fora do intervalo 0.0 a 1.0.
- d) Soma das probabilidades da dist. discreta diferente de 1.0.
- e) As potências da dist. discreta não estão colocadas em ordem crescente.
- f) Número de barras ou linhas superior ao definido nos dados.
- g) Número de barras de carga diferente do definido.
- h) Número de barras de tensão controlada diferente do número esperado.
- i) Inexistência da barra de balanço.
- j) Especificação do tipo de barra diferente de: 0, 1 ou 2.

USO DO PROGRAMA DE FCP COM OS DADOS DO SISTEMA CHESF

F.1 - INTRODUÇÃO

O objetivo deste apêndice é apresentar a listagem dos resultados da execução do programa de FCP, aplicado ao sistema CHESF.

F.2 - CONSIDERAÇÕES

Os dados probabilísticos utilizados foram os obtidos segundo a metodologia apresentada no capítulo 7.

Convém advertir que o objetivo deste apêndice não é apresentar os resultados do estudo de determinada configuração do sistema CHESF, a nível de planejamento ou operação do sistema, mas apenas de apresentar, resultados do programa, quando usado em um sistema real (CHESF).

Foi utilizado o sistema tendo a configuração do caso base para o ano de 1989, carga pesada, segundo o Plano de Obras 1988/1997.

É apresentado apenas os resultados da área 3, que corresponde ao sistema norte da CHESF.

F.3 - RESULTADOS

Têm-se, na tabela F.1, os resultados obtidos com o programa de FCP.

Está listado apenas os resultados gerais do programa. Os referentes ao processo de convolução e outros resultados possíveis, como descritos no apêndice E, não estão listados neste apêndice, por motivos práticos.

FLUXO DE CARGA PROBABILISTICO		14.53.26****	01/12/88****	PAGINA	1
* DEMANDA MAXIMA - 1989 - PO 88/97 *					
DADOS GERAIS DE ENTRADA					
NUMERO DE BARRAS	MAXIMO	550	PONTOS P/ O PROCESSO DE CONVOLUCAO	MAXIMO	512
	ATUAL	249		MINIMO	16
NUMERO DE LINHAS+TRAFOS	MAXIMO	800		ATUAL	128
	ATUAL	401	PONTOS P/ A LISTAGEM DE SAIDA	MAXIMO	256
NUMERO DE BARRAS DE CARGA	MAXIMO	450		MINIMO	16
	ATUAL	184		ATUAL	128
POTENCIA BASE		100.0	DESVIOS PADRAO PARA REPRESENTAR A	MAXIMO	4.5
TIPO DE SOLUCAO	REAL		DISTRIBUICAO NORMAL EQUIVALENTE	MINIMO	2.5
NUMERO DE AREAS A SEREM	MAXIMO	40		ATUAL	3.0
ANALISADAS	ATUAL	5	LIMITE OPERACIONAL DA TENSAO	MAXIMO	1.05
				MINIMO	0.95
			ERRO NA DIST. NORMAL EQUIV. (Z)		0.27
			NUMERO DE LINHAS P/ PAGINA		80
			NUMERO DE COPIAS		1

tab. G.1 - Resultados do programa de FCP para o Sistema CHESF

DADOS DE LINHAS E TRANSFORMADORES

LINHA	BARRA DE		BARRA PARA		IMPEDANCIA		SUSCEPTANCIA	TAP	LADO	CARREGAMENTO -KVA-	
	NUK.	NOME	NUK.	NOME	R (PU)	X (PU)	(PU)	(PU)		NORMAL	EMERG.
1	200	PAFONSO-A230	1	PAF1-M1 GER	0.000000	0.212000	0.000000	0.98000	200	67.00	81.00
2	200	PAFONSO-A230	2	PAF1-M2 GER	0.000000	0.212000	0.000000	0.98000	200	67.00	81.00
3	200	PAFONSO-A230	3	PAF1-M3 GER	0.000000	0.209000	0.000000	0.98000	200	67.00	81.00
4	300	PAFONSO-B230	4	PAF2A-M1 GER	0.000000	0.196000	0.000000	0.98000	300	75.00	90.00
5	300	PAFONSO-B230	5	PAF2A-M2 GER	0.000000	0.196000	0.000000	0.98000	300	75.00	90.00
6	300	PAFONSO-B230	6	PAF2A-M3 GER	0.000000	0.199000	0.000000	0.98000	300	75.00	90.00
7	200	PAFONSO-A230	7	PAF2B-M1 GER	0.000000	0.167000	0.000000	0.98000	200	90.00	100.00
8	200	PAFONSO-A230	8	PAF2B-M2 GER	0.000000	0.157000	0.000000	0.98000	200	90.00	100.00
9	200	PAFONSO-A230	9	PAF2B-M3 GER	0.000000	0.157000	0.000000	0.98000	200	90.00	100.00
10	300	PAFONSO-B230	10	PAF3-M1 GER	0.000000	0.060000	0.000000	1.02700	300	240.00	280.00
11	300	PAFONSO-B230	11	PAF3-M2 GER	0.000000	0.060000	0.000000	1.02700	300	240.00	280.00
12	200	PAFONSO-A230	12	PAF3-M3 GER	0.000000	0.060000	0.000000	1.02700	200	240.00	280.00
13	200	PAFONSO-A230	13	PAF3-M4 GER	0.000000	0.060000	0.000000	1.02700	200	240.00	280.00
14	500	PAFONSO 500	14	PAF4-M1 GER	0.000000	0.027000	0.000000	1.02500	500	450.00	540.00
15	500	PAFONSO 500	15	PAF4-M2 GER	0.000000	0.027000	0.000000	1.02500	500	450.00	540.00
16	500	PAFONSO 500	16	PAF4-M3 GER	0.000000	0.027000	0.000000	1.02500	500	450.00	540.00
17	500	PAFONSO 500	17	PAF4-M4 GER	0.000000	0.027000	0.000000	1.02500	500	450.00	540.00
18	500	PAFONSO 500	18	PAF4-M5 GER	0.000000	0.027000	0.000000	1.02500	500	450.00	540.00
19	500	PAFONSO 500	19	PAF4-M6 GER	0.000000	0.027000	0.000000	1.02500	500	450.00	540.00
20	500	SOBRADIN 500	20	SOBRAD-M1GER	0.000000	0.055000	0.000000	1.02500	500	200.00	240.00
21	500	SOBRADIN 500	21	SOBRAD-M2GER	0.000000	0.055000	0.000000	1.02500	500	200.00	240.00
22	500	SOBRADIN 500	22	SOBRAD-M3GER	0.000000	0.055000	0.000000	1.02500	500	200.00	240.00
23	500	SOBRADIN 500	23	SOBRAD-M4GER	0.000000	0.055000	0.000000	1.02500	500	200.00	240.00
24	500	SOBRADIN 500	24	SOBRAD-M5GER	0.000000	0.055000	0.000000	1.02500	500	200.00	240.00
25	500	SOBRADIN 500	25	SOBRAD-M6GER	0.000000	0.055000	0.000000	1.02500	500	200.00	240.00
26	301	A.SALES-B230	26	ASALES-M1GER	0.000000	0.117000	0.000000	0.97800	301	120.00	144.00
27	301	A.SALES-B230	27	ASALES-M2GER	0.000000	0.117000	0.000000	0.97800	301	120.00	144.00
28	301	A.SALES-B230	28	ASALES-M3GER	0.000000	0.117000	0.000000	0.97800	301	120.00	144.00
29	301	A.SALES-B230	29	ASALES-M4GER	0.000000	0.117000	0.000000	0.97800	301	120.00	144.00
30	505	ITAPARICAS00	30	ITAPA-M1 GER	0.000000	0.041000	0.000000	1.02500	505	275.00	330.00
31	505	ITAPARICAS00	31	ITAPA-M2 GER	0.000000	0.042000	0.000000	1.02500	505	275.00	330.00
32	505	ITAPARICAS00	32	ITAPA-M3 GER	0.000000	0.042000	0.000000	1.02500	505	275.00	330.00
33	505	ITAPARICAS00	33	ITAPA-M4 GER	0.000000	0.042000	0.000000	1.02500	505	275.00	330.00
34	505	ITAPARICAS00	34	ITAPA-M5 GER	0.000000	0.042000	0.000000	1.02500	505	275.00	330.00
35	505	ITAPARICAS00	35	ITAPA-M6 GER	0.000000	0.042000	0.000000	1.02500	505	275.00	330.00
36	229	BESPER-1 230	44	BESPE-M1 GER	0.000000	0.179000	0.000000	1.02500	229	70.00	84.00
37	229	BESPER-1 230	45	BESPE-M2 GER	0.000000	0.179000	0.000000	1.02500	229	70.00	84.00
38	46	BESPE-M3 GER	229	BESPER-1 230	0.000000	0.179000	0.000000	1.00000	46	70.00	84.00
39	47	BESPE-M4 GER	229	BESPER-1 230	0.000000	0.179000	0.000000	1.00000	47	70.00	84.00
40	597	TUCURUI 500	50	TUCUR-M1 GER	0.000000	0.034000	0.000000	1.02500	597	370.00	454.00
41	597	TUCURUI 500	51	TUCUR-M2 GER	0.000000	0.034000	0.000000	1.02500	597	370.00	454.00
42	597	TUCURUI 500	52	TUCUR-M3 GER	0.000000	0.034000	0.000000	1.02500	597	370.00	454.00
43	597	TUCURUI 500	53	TUCUR-M4 GER	0.000000	0.034000	0.000000	1.02500	597	370.00	454.00

LINHA	BARRA DE		BARRA PARA		IMPEDANCIA		SUSCEPTANCIA	TAF	LADO	CARRREGAMENTO	
	NUM.	NOME	NUM.	NOME	R (PU)	X (PU)	(PU)	(PU)		NORMAL	EMERG.
44	597	TUCURUI	500	54 TUCUR-M5 GER	0.000000	0.034000	0.000000	1.02500	597	378.00	454.00
45	597	TUCURUI	500	55 TUCUR-M6 GER	0.000000	0.034000	0.000000	1.02500	597	378.00	454.00
46	597	TUCURUI	500	56 TUCUR-M7 GER	0.000000	0.034000	0.000000	1.02500	597	378.00	454.00
47	597	TUCURUI	500	57 TUCUR-M8 GER	0.000000	0.034000	0.000000	1.02500	597	378.00	454.00
48	597	TUCURUI	500	58 TUCUR-M9 GER	0.000000	0.034000	0.000000	1.02500	597	378.00	454.00
49	597	TUCURUI	500	59 TUCUR-M10GER	0.000000	0.034000	0.000000	1.02500	597	378.00	454.00
50	597	TUCURUI	500	60 TUCUR-M11GER	0.000000	0.034000	0.000000	1.02500	597	378.00	454.00
51	176	FUNIL	115	63 FUNIL-1 GER	0.000000	0.686000	0.000000	1.00000	176	14.00	17.00
52	176	FUNIL	115	64 FUNIL-2 GER	0.000000	0.686000	0.000000	1.00000	176	14.00	17.00
53	176	FUNIL	115	65 FUNIL-3 GER	0.000000	0.686000	0.000000	1.00000	176	14.00	17.00
54	75	TBONJI-1	013	443 BONJI-0A 000	0.000000	0.147000	0.000000	1.00000	75	40.00	48.00
55	76	TBONJI-2	013	443 BONJI-0A 000	0.000000	0.140000	0.000000	1.00000	76	40.00	48.00
56	77	TBONJI-3	013	453 BONJI-0B 000	0.000000	0.147000	0.000000	1.00000	77	40.00	48.00
57	78	TBONJI-4	013	453 BONJI-0B 000	0.000000	0.140000	0.000000	1.00000	78	40.00	48.00
58	79	TBONJI-5	013	463 BONJI-0C 000	0.000000	0.147000	0.000000	1.00000	79	40.00	48.00
59	80	TBON-FIC	013	463 BONJI-0C 000	0.000000	0.140000	0.000000	1.00000	80	40.00	48.00
60	274	CAMACARI	230	81 TCAMAC-1 013	0.000000	0.165000	0.000000	1.00000	274	63.00	75.00
61	274	CAMACARI	230	82 TCAMAC-2 013	0.000000	0.165000	0.000000	1.00000	274	63.00	75.00
62	274	CAMACARI	230	83 TCAMAC-3 013	0.000000	0.165000	0.000000	1.00000	274	63.00	75.00
63	274	CAMACARI	230	84 TCAMAC-4 013	0.000000	0.165000	0.000000	1.00000	274	63.00	75.00
64	274	CAMACARI	230	85 TCAMAC-5 013	0.000000	0.165000	0.000000	1.00000	274	63.00	75.00
65	332	S.LUIS-2	230	87 TSLUIS-1 013	0.000000	0.165000	0.000000	1.00000	332	63.00	75.00
66	332	S.LUIS-2	230	88 TSLUIS-2 013	0.000000	0.165000	0.000000	1.00000	332	63.00	75.00
67	220	B.NOHE	230	120 B.NOHE 130	0.000000	0.336000	0.000000	1.00000	220	67.00	80.00
68	144	C.GRANDE	130	145 S.CRUIZ 130	0.070000	0.296000	0.074000	1.00000	144	0.00	99.00
69	144	C.GRANDE	130	145 S.CRUIZ 130	0.070000	0.296000	0.074000	1.00000	144	0.00	99.00
70	144	C.GRANDE	130	400 CGRANDE00000	0.000000	0.127000	0.000000	1.00000	144	50.00	60.00
71	144	C.GRANDE	130	401 CGRANDE00000	0.000000	0.127000	0.000000	1.00000	144	50.00	60.00
72	145	S.CRUIZ	130	153 C.NOVIOS 130	0.042000	0.146000	0.034000	1.00000	145	0.00	99.00
73	145	S.CRUIZ	130	645 S.CRUIZ 060	0.000000	0.253000	0.000000	1.00000	145	45.00	54.00
74	151	ACU	130	152 S.MATOS 130	0.030000	0.131000	0.031000	1.00000	151	0.00	99.00
75	151	ACU	130	251 ACU 230	0.000000	0.111000	0.000000	1.00000	151	55.00	66.00
76	152	S.MATOS	130	153 C.NOVIOS 130	0.030000	0.102000	0.024000	1.00000	152	0.00	99.00
77	152	S.MATOS	130	1052 S.MATOS 013	0.000000	1.337000	0.000000	0.98100	152	20.00	24.00
78	153	C.NOVIOS	130	1053 C.NOVIOS 013	0.000000	0.444000	0.000000	0.98000	153	39.00	46.00
79	976	FUNIL	130	176 FUNIL 115	0.000000	0.000000	0.000000	1.00000	976	50.00	60.00
80	200	PAFONSO-A230	220	0.NOME 230	0.029000	0.166000	0.290000	1.00000	200	0.00	102.00
81	200	PAFONSO-A230	220	0.NOME 230	0.029000	0.166000	0.290000	1.00000	200	0.00	102.00
82	200	PAFONSO-A230	221	MILAGRES 230	0.021000	0.157000	0.693000	1.00000	200	0.00	504.00
83	200	PAFONSO-A230	240	ANGELIM 230	0.037000	0.209000	0.369000	1.00000	200	0.00	220.00
84	200	PAFONSO-A230	240	ANGELIM 230	0.030000	0.209000	0.365000	1.00000	200	0.00	220.00
85	200	PAFONSO-A230	270	CDANTAS 230	0.023000	0.132000	0.229000	1.00000	200	0.00	203.00
86	200	PAFONSO-A230	271	ITABAIANA230	0.020000	0.152000	0.272000	1.00000	200	0.00	270.00
87	200	PAFONSO-A230	500	PAFONSO 500	0.000000	0.011000	0.000000	0.94890	200	600.00	720.00
88	202	JUAZEIRO	230	206 SOBRADIN 230	0.000000	0.041000	0.076000	1.00000	202	0.00	270.00
89	202	JUAZEIRO	230	206 SOBRADIN 230	0.000000	0.041000	0.072000	1.00000	202	0.00	270.00
90	202	JUAZEIRO	230	207 JAGUARARI230	0.013000	0.070000	0.125000	1.00000	202	0.00	270.00
91	202	JUAZEIRO	230	207 JAGUARARI230	0.013000	0.070000	0.125000	1.00000	202	0.00	270.00
92	202	JUAZEIRO	230	602 JUAZEIRO 060	0.000000	0.129000	0.000000	1.00000	202	100.00	120.00
93	202	JUAZEIRO	230	602 JUAZEIRO 060	0.000000	0.125000	0.000000	1.00000	202	100.00	120.00
94	203	S.BONFIM	230	207 JAGUARARI230	0.013000	0.070000	0.125000	1.00000	203	0.00	270.00

LINHA	BARRA DE		BARRA PARA		IMPEDANCIA		SUSCEPTANCIA	TAP	LADO	CARREGAMENTO -MVA-	
	NUK.	NOME	NUK.	NOME	R (PU)	X (PU)	(PU)	(PU)		NORMAL	EMERG.
95	203	S.BONFIM 230	207	JAGUARARI230	0.013000	0.070000	0.125000	1.000000	203	0.00	270.00
96	203	S.BONFIM 230	203	IRECE 230	0.034000	0.194000	0.340000	1.000000	203	0.00	270.00
97	203	S.BONFIM 230	703	S.BONFIM 069	0.000000	0.611000	0.000000	1.000000	203	33.00	40.00
98	203	S.BONFIM 230	703	S.BONFIM 069	0.000000	0.611000	0.000000	1.000000	203	33.00	40.00
99	206	S0BRADIN 230	506	S0BRADIN 500	0.000000	0.029000	0.000000	0.960000	206	300.00	350.00
100	219	TAUAPE 230	225	FORTALEZA230	0.001000	0.005000	0.017000	1.000000	219	0.00	540.00
101	219	TAUAPE 230	225	FORTALEZA230	0.001000	0.005000	0.017000	1.000000	219	0.00	540.00
102	219	TAUAPE 230	619	TAUAPE 69	0.000000	0.125000	0.000000	0.900000	219	100.00	120.00
103	219	TAUAPE 230	619	TAUAPE 69	0.000000	0.125000	0.000000	0.900000	219	100.00	120.00
104	220	B.NOME 230	221	MILAGRES 230	0.015000	0.081000	0.146000	1.000000	220	0.00	182.00
105	220	B.NOME 230	221	MILAGRES 230	0.015000	0.082000	0.145000	1.000000	220	0.00	182.00
106	220	B.NOME 230	221	MILAGRES 230	0.015000	0.082000	0.144000	1.000000	220	0.00	252.00
107	220	B.NOME 230	300	PAFONSO-B230	0.029000	0.162000	0.295000	1.000000	220	0.00	252.00
108	220	B.NOME 230	620	B.NOME 069	0.000000	0.367000	0.000000	1.000000	220	33.00	40.00
109	220	B.NOME 230	620	B.NOME 069	0.000000	0.376000	0.000000	1.000000	220	33.00	40.00
110	221	MILAGRES 230	222	BANABUIU 230	0.039000	0.210000	0.382000	1.000000	221	0.00	182.00
111	221	MILAGRES 230	222	BANABUIU 230	0.030000	0.213000	0.374000	1.000000	221	0.00	252.00
112	221	MILAGRES 230	222	BANABUIU 230	0.030000	0.213000	0.376000	1.000000	221	0.00	252.00
113	221	MILAGRES 230	222	BANABUIU 230	0.019000	0.147000	0.538000	1.000000	221	0.00	504.00
114	221	MILAGRES 230	222	BANABUIU 230	0.019000	0.147000	0.538000	1.000000	221	0.00	504.00
115	221	MILAGRES 230	223	COREMAS 230	0.022000	0.122000	0.211000	1.000000	221	0.00	252.00
116	221	MILAGRES 230	300	PAFONSO-B230	0.021000	0.157000	0.693000	1.000000	221	0.00	504.00
117	221	MILAGRES 230	621	MILAGRES 069	0.000000	0.139000	0.000000	1.000000	221	100.00	120.00
118	221	MILAGRES 230	621	MILAGRES 069	0.000000	0.139000	0.000000	1.000000	221	100.00	120.00
119	222	BANABUIU 230	223	RUSSAS 230	0.019000	0.100000	0.187000	1.000000	222	0.00	224.00
120	222	BANABUIU 230	225	FORTALEZA230	0.030000	0.160000	0.294000	1.000000	222	0.00	224.00
121	222	BANABUIU 230	225	FORTALEZA230	0.030000	0.161000	0.304000	1.000000	222	0.00	270.00
122	222	BANABUIU 230	225	FORTALEZA230	0.030000	0.161000	0.304000	1.000000	222	0.00	270.00
123	222	BANABUIU 230	622	BANABUIU 069	0.000000	0.381000	0.000000	1.000000	222	33.00	40.00
124	222	BANABUIU 230	622	BANABUIU 069	0.000000	0.389000	0.000000	1.000000	222	33.00	40.00
125	223	RUSSAS 230	224	MOSSORO 230	0.013000	0.074000	0.127000	1.000000	223	0.00	270.00
126	223	RUSSAS 230	623	RUSSAS 069	0.000000	1.460000	0.000000	0.900000	223	17.00	20.00
127	223	RUSSAS 230	623	RUSSAS 069	0.000000	1.460000	0.000000	0.900000	223	17.00	20.00
128	224	MOSSORO 230	251	ACU 230	0.013000	0.071000	0.122000	1.000000	224	0.00	270.00
129	224	MOSSORO 230	624	MOSSORO 069	0.000000	0.140000	0.000000	1.000000	224	100.00	120.00
130	224	MOSSORO 230	624	MOSSORO 069	0.000000	0.140000	0.000000	1.000000	224	100.00	120.00
131	225	FORTALEZA230	226	SOBRAL 230	0.030000	0.213000	0.368000	1.000000	225	0.00	270.00
132	225	FORTALEZA230	625	FORTALEZA069	0.000000	0.135000	0.000000	0.900000	225	100.00	120.00
133	225	FORTALEZA230	625	FORTALEZA069	0.000000	0.135000	0.000000	0.900000	225	100.00	120.00
134	225	FORTALEZA230	625	FORTALEZA069	0.000000	0.135000	0.000000	0.900000	225	100.00	120.00
135	225	FORTALEZA230	625	FORTALEZA069	0.000000	0.133000	0.000000	0.900000	225	100.00	120.00
136	226	SOBRAL 230	626	SOBRAL 069	0.000000	0.190000	0.000000	1.000000	226	100.00	120.00
137	226	SOBRAL 230	626	SOBRAL 069	0.000000	0.190000	0.000000	1.000000	226	100.00	120.00
138	227	PIRIPIRI 230	228	TERESINA 230	0.027000	0.151000	0.259000	1.000000	227	0.00	252.00
139	227	PIRIPIRI 230	627	PIRIPIRI 069	0.000000	0.295000	0.000000	0.960000	227	33.00	40.00
140	227	PIRIPIRI 230	627	PIRIPIRI 069	0.000000	0.319000	0.000000	0.960000	227	33.00	40.00
141	228	TERESINA 230	329	BESPER-2 230	0.035000	0.199000	0.348000	1.000000	228	0.00	252.00
142	228	TERESINA 230	329	BESPER-2 230	0.035000	0.199000	0.349000	1.000000	228	0.00	252.00
143	228	TERESINA 230	628	TERES-AB 069	0.000000	0.333000	0.000000	1.000000	228	33.00	40.00
144	228	TERESINA 230	628	TERES-AB 069	0.000000	0.321000	0.000000	1.000000	228	33.00	40.00
145	228	TERESINA 230	728	TERESINA 069	0.000000	0.130000	0.000000	0.900000	228	100.00	120.00

LINHA	BARRA DE		BARRA PARA		IMPEDANCIA		SUSCEPTANCIA	TAP	LADO	CARREGAMENTO	
	NUM.	NOME	NUM.	NOME	R (PU)	X (PU)	(PU)	(PU)		NORMAL	ENERG.
146	228	TERESINA	230	728 TERESINA	0.000000	0.130000	0.000000	0.98000	228	100.00	120.00
147	229	BESPER-1	230	329 BESPER-2	0.000000	0.002000	0.003000	1.00000	229	0.00	209.00
148	229	BESPER-1	230	629 BESPER-1	0.000000	0.376000	0.000000	1.00000	229	33.00	40.00
149	230	PERITORO	230	231 MIRANDA	0.017000	0.093000	0.159000	1.00000	230	0.00	252.00
150	230	PERITORO	230	630 PERITORO	0.000000	0.334000	0.000000	0.97500	230	33.00	40.00
151	230	PERITORO	230	630 PERITORO	0.000000	0.334000	0.000000	0.97500	230	33.00	40.00
152	230	PERITORO	230	1030 PERITORO	0.000000	0.465000	0.000000	1.00000	230	33.00	40.00
153	230	PERITORO	230	1030 PERITORO	0.000000	0.462000	0.000000	1.00000	230	33.00	40.00
154	231	MIRANDA	230	332 S.LUIS-2	0.018000	0.103000	0.177000	1.00000	231	0.00	252.00
155	231	MIRANDA	230	631 MIRANDA	0.000000	0.130000	0.000000	0.98000	231	100.00	120.00
156	231	MIRANDA	230	631 MIRANDA	0.000000	0.130000	0.000000	0.98000	231	100.00	120.00
157	232	S.LUIS-1	230	332 S.LUIS-2	0.003000	0.019000	0.032000	1.00000	232	0.00	252.00
158	232	S.LUIS-1	230	332 S.LUIS-2	0.003000	0.019000	0.032000	1.00000	232	0.00	252.00
159	232	S.LUIS-1	230	732 S.LUIS-1	0.000000	0.128000	0.000000	0.98000	232	100.00	120.00
160	232	S.LUIS-1	230	732 S.LUIS-1	0.000000	0.128000	0.000000	0.98000	232	100.00	120.00
161	232	S.LUIS-1	230	732 S.LUIS-1	0.000000	0.128000	0.000000	0.98000	232	100.00	120.00
162	233	CORENAS	230	633 CORENAS	0.000000	0.140000	0.000000	0.98000	233	100.00	120.00
163	233	CORENAS	230	633 CORENAS	0.000000	0.140000	0.000000	0.98000	233	100.00	120.00
164	237	S.J.PIAUI230	537	S.J.PIAUI500	0.000000	0.029000	0.000000	0.96230	237	300.00	360.00
165	237	S.J.PIAUI230	637	S.J.PIAUI069	0.000000	0.129000	0.000000	1.00000	237	100.00	120.00
166	238	P.DUTRA	230	538 P.DUTRA	0.000000	0.030000	0.000000	0.92920	238	300.00	360.00
167	238	P.DUTRA	230	638 P.DUTRA	0.000000	0.474000	0.000000	1.00000	238	27.00	32.00
168	238	P.DUTRA	230	638 P.DUTRA	0.000000	0.771000	0.000000	1.00000	238	17.00	20.00
169	238	P.DUTRA	230	1038 PDUTRA-A	0.000000	0.067000	0.000000	1.05000	238	100.00	120.00
170	238	P.DUTRA	230	1038 PDUTRA-A	0.000000	0.067000	0.000000	1.05000	238	100.00	120.00
171	239	IMPERAT	230	539 IMPERAT	0.000000	0.012000	0.000000	0.92540	239	600.00	720.00
172	239	IMPERAT	230	639 IMPERAT	0.000000	0.139000	0.000000	1.00000	239	100.00	120.00
173	239	IMPERAT	230	639 IMPERAT	0.000000	0.132000	0.000000	1.00000	239	100.00	120.00
174	239	IMPERAT	230	1039 IMPERA-A	0.000000	0.067000	0.000000	1.05000	239	100.00	120.00
175	239	IMPERAT	230	1039 IMPERA-A	0.000000	0.067000	0.000000	1.05000	239	100.00	120.00
176	239	IMPERAT	230	1139 IMPERA-B	0.000000	0.074000	0.000000	1.05000	239	100.00	120.00
177	240	ANGELIM	230	241 RECIFE	0.029000	0.161000	0.301000	1.00000	240	0.00	220.00
178	240	ANGELIM	230	242 R.LARGO	0.016000	0.085000	0.154000	1.00000	240	0.00	202.00
179	240	ANGELIM	230	242 R.LARGO	0.016000	0.085000	0.154000	1.00000	240	0.00	202.00
180	240	ANGELIM	230	242 R.LARGO	0.016000	0.087000	0.151000	1.00000	240	0.00	206.00
181	240	ANGELIM	230	252 RIBEIRAO	0.019000	0.110000	0.184000	1.00000	240	0.00	220.00
182	240	ANGELIM	230	252 RIBEIRAO	0.019000	0.110000	0.184000	1.00000	240	0.00	220.00
183	240	ANGELIM	230	255 TACAIBO	0.011000	0.063000	0.113000	1.00000	240	0.00	220.00
184	240	ANGELIM	230	255 TACAIBO	0.011000	0.063000	0.113000	1.00000	240	0.00	220.00
185	240	ANGELIM	230	300 PAFONSO-B230	0.037000	0.219000	0.373000	1.00000	240	0.00	220.00
186	240	ANGELIM	230	300 PAFONSO-B230	0.019000	0.163000	0.493000	1.00000	240	0.00	440.00
187	240	ANGELIM	230	640 ANGELIM	0.000000	0.732000	0.000000	0.98000	240	35.00	40.00
188	240	ANGELIM	230	640 ANGELIM	0.000000	0.732000	0.000000	0.98000	240	33.00	40.00
189	240	ANGELIM	230	640 ANGELIM	0.000000	0.732000	0.000000	0.98000	240	33.00	40.00
190	241	RECIFE	230	243 BONJI	0.003000	0.014000	0.023000	1.00000	241	0.00	220.00
191	241	RECIFE	230	243 BONJI	0.003000	0.013000	0.024000	1.00000	241	0.00	220.00
192	241	RECIFE	230	243 BONJI	0.003000	0.013000	0.025000	1.00000	241	0.00	220.00
193	241	RECIFE	230	247 GOIANINHA230	0.012000	0.060000	0.120000	1.00000	241	0.00	220.00
194	241	RECIFE	230	247 GOIANINHA230	0.012000	0.060000	0.120000	1.00000	241	0.00	220.00
195	241	RECIFE	230	249 PIRAPAMA	0.005000	0.027000	0.047000	1.00000	241	0.00	220.00
196	241	RECIFE	230	249 PIRAPAMA	0.005000	0.027000	0.047000	1.00000	241	0.00	220.00

LINHA	BARRA DE		BARRA PARA		IMPEDANCIA		SUSCEPTANCIA	TAP	LADO	CARREGAMENTO	
	KJK.	NOME	NUM.	NOME	R (PU)	X (PU)	(PU)	(PU)		NORMAL	EMERG.
197	241	RECIFE	230	250 MIRUEIRA	0.006000	0.031000	0.055000	1.00000	241	0.00	220.00
198	241	RECIFE	230	250 MIRUEIRA	0.006000	0.031000	0.054000	1.00000	241	0.00	270.00
199	241	RECIFE	230	250 MIRUEIRA	0.006000	0.031000	0.054000	1.00000	241	0.00	270.00
200	241	RECIFE	230	252 RIBEIRAO	0.011000	0.060000	0.160000	1.00000	241	0.00	220.00
201	241	RECIFE	230	252 RIBEIRAO	0.011000	0.057000	0.106000	1.00000	241	0.00	220.00
202	241	RECIFE	230	541 RECIFE	0.000000	0.011000	0.000000	0.97290	241	600.00	720.00
203	241	RECIFE	230	541 RECIFE	0.000000	0.011000	0.000000	0.97290	241	600.00	720.00
204	241	RECIFE	230	541 RECIFE	0.000000	0.011000	0.000000	0.97290	241	600.00	720.00
205	241	RECIFE	230	1041 RECIFE	0.000000	0.003000	0.000000	1.05400	241	150.00	180.00
206	241	RECIFE	230	1041 RECIFE	0.000000	0.003000	0.000000	1.05400	241	150.00	180.00
207	242	R.LARGO	230	642 R.LARGO	0.000000	0.135000	0.000000	1.00000	242	100.00	120.00
208	242	R.LARGO	230	642 R.LARGO	0.000000	0.129000	0.000000	1.00000	242	100.00	120.00
209	242	R.LARGO	230	642 R.LARGO	0.000000	0.129000	0.000000	1.00000	242	100.00	120.00
210	243	BONJI	230	443 BONJI-0A	0.000000	0.006000	0.000000	1.00000	243	80.00	96.00
211	243	BONJI	230	453 BONJI-0B	0.000000	0.006000	0.000000	1.00000	243	80.00	96.00
212	243	BONJI	230	463 BONJI-0C	0.000000	0.006000	0.000000	1.00000	243	80.00	96.00
213	243	BONJI	230	643 BONJI	0.000000	0.132000	0.000000	1.00000	243	100.00	120.00
214	243	BONJI	230	643 BONJI	0.000000	0.132000	0.000000	1.00000	243	100.00	120.00
215	243	BONJI	230	643 BONJI	0.000000	0.150000	0.000000	1.00000	243	100.00	120.00
216	243	BONJI	230	1143 BONJI-A	0.000000	0.433000	0.000000	1.00000	243	40.00	48.00
217	243	BONJI	230	1243 BONJI-B	0.000000	0.433000	0.000000	1.00000	243	40.00	48.00
218	244	C.GRANDE	230	246 NATAL	0.037000	0.260000	0.372000	1.00000	244	0.00	270.00
219	244	C.GRANDE	230	246 NATAL	0.037000	0.260000	0.372000	1.00000	244	0.00	270.00
220	244	C.GRANDE	230	247 GOIANINHA230	0.017000	0.097000	0.167000	1.00000	244	0.00	220.00
221	244	C.GRANDE	230	255 TACAIBO	0.021000	0.116000	0.210000	1.00000	244	0.00	220.00
222	244	C.GRANDE	230	255 TACAIBO	0.021000	0.116000	0.210000	1.00000	244	0.00	220.00
223	244	C.GRANDE	230	400 CGRANDE00000	0.000000	0.165000	0.000000	1.00000	244	55.00	66.00
224	244	C.GRANDE	230	401 CGRANDE00000	0.000000	0.165000	0.000000	1.00000	244	55.00	66.00
225	244	C.GRANDE	230	644 C.GRANDE	0.000000	0.132000	0.000000	0.98000	244	100.00	120.00
226	244	C.GRANDE	230	644 C.GRANDE	0.000000	0.150000	0.000000	0.98000	244	100.00	120.00
227	246	NATAL	230	646 NATAL	0.000000	0.130000	0.000000	1.00000	246	100.00	120.00
228	246	NATAL	230	646 NATAL	0.000000	0.139000	0.000000	1.00000	246	100.00	120.00
229	246	NATAL	230	646 NATAL	0.000000	0.130000	0.000000	1.00000	246	100.00	120.00
230	247	GOIANINHA230	240	MUSSURE	0.009000	0.049000	0.030000	1.00000	247	0.00	220.00
231	247	GOIANINHA230	240	MUSSURE	0.009000	0.049000	0.030000	1.00000	247	0.00	220.00
232	247	GOIANINHA230	647	GOIANINHA069	0.000000	0.139000	0.000000	0.98000	247	100.00	120.00
233	247	GOIANINHA230	647	GOIANINHA069	0.000000	0.139000	0.000000	0.98000	247	100.00	120.00
234	248	MUSSURE	230	648 MUSSURE	0.000000	0.135000	0.000000	0.98000	248	100.00	120.00
235	248	MUSSURE	230	648 MUSSURE	0.000000	0.138000	0.000000	0.98000	248	100.00	120.00
236	248	MUSSURE	230	648 MUSSURE	0.000000	0.129000	0.000000	0.98000	248	100.00	120.00
237	249	PIRAPAMA	230	649 PIRAPAMA	0.000000	0.129000	0.000000	1.00000	249	100.00	120.00
238	249	PIRAPAMA	230	649 PIRAPAMA	0.000000	0.129000	0.000000	1.00000	249	100.00	120.00
239	249	PIRAPAMA	230	649 PIRAPAMA	0.000000	0.129000	0.000000	1.00000	249	100.00	120.00
240	250	MIRUEIRA	230	650 MIRUEIRA	0.000000	0.150000	0.000000	0.98000	250	100.00	120.00
241	250	MIRUEIRA	230	650 MIRUEIRA	0.000000	0.150000	0.000000	0.98000	250	100.00	120.00
242	250	MIRUEIRA	230	650 MIRUEIRA	0.000000	0.150000	0.000000	0.98000	250	100.00	120.00
243	251	ACU	230	651 ACU	0.000000	0.367000	0.000000	1.00000	251	33.00	40.00
244	251	ACU	230	651 ACU	0.000000	0.376000	0.000000	1.00000	251	33.00	40.00
245	252	RIBEIRAO	230	752 RIBEIRAO	0.000000	0.129000	0.000000	1.00000	252	100.00	120.00
246	252	RIBEIRAO	230	752 RIBEIRAO	0.000000	0.125000	0.000000	1.00000	252	100.00	120.00
247	255	TACAIBO	230	655 TACAIBO	0.000000	0.134000	0.000000	0.98000	255	100.00	120.00

LINHA	BARRA DE		BARRA PARA		IMPEDANCIA		SUSCEPTANCIA	TAP	LADO	CARREGAMENTO	
	NUM.	NOME	NUM.	NOME	R (PU)	X (PU)	(PU)	(PU)		NORMA	EMERG.
246	255	TACAINBO	230	655 TACAINBO	0.000000	0.129000	0.000000	0.98000	255	100.00	120.00
249	267	CANDEIAS	230	274 CAMACARI	0.001600	0.009800	0.040000	1.00000	267	0.00	972.00
250	267	CANDEIAS	230	280 JACARACAN	0.001000	0.010000	0.034000	1.00000	267	0.00	486.00
251	270	CDANTAS	230	272 CATU	0.034000	0.194000	0.344000	1.00000	270	0.00	203.00
252	270	CDANTAS	230	272 CATU	0.034000	0.194000	0.347000	1.00000	270	0.00	203.00
253	270	CDANTAS	230	300 PAFONSO-8230	0.023000	0.132600	0.229000	1.00000	270	6.00	203.00
254	270	CDANTAS	230	670 CDANTAS	0.000000	1.320000	0.000000	1.00000	270	17.00	20.00
255	271	ITABAIANA230	230	272 CATU	0.030000	0.219000	0.365000	1.00000	271	0.00	203.00
256	271	ITABAIANA230	230	273 JARDIM	0.000000	0.041000	0.072000	1.00000	271	0.00	265.00
257	271	ITABAIANA230	230	273 JARDIM	0.000000	0.041000	0.072000	1.00000	271	0.00	265.00
258	271	ITABAIANA230	300	PAFONSO-8230	0.020000	0.152000	0.272000	1.00000	271	0.00	270.00
259	271	ITABAIANA230	300	PAFONSO-8230	0.020000	0.163000	0.269000	1.00000	271	0.00	203.00
260	271	ITABAIANA230	671	ITABAIANA069	0.000000	0.150000	0.000000	1.00000	271	100.00	120.00
261	271	ITABAIANA230	671	ITABAIANA069	0.000000	0.150000	0.000000	1.00000	271	100.00	120.00
262	272	CATU	230	274 CAMACARI	0.004000	0.026000	0.043000	1.00000	272	0.00	183.00
263	272	CATU	230	274 CAMACARI	0.004000	0.025000	0.045000	1.00000	272	0.00	183.00
264	272	CATU	230	275 Ghangab	0.013000	0.075000	0.130000	1.00000	272	0.00	183.00
265	272	CATU	230	700 CATU FIC	0.000000	0.293000	0.000000	0.98000	272	62.00	74.00
266	272	CATU	230	700 CATU FIC	0.000000	0.317000	0.000000	0.98000	272	62.00	74.00
267	273	JARDIM	230	673 JARDIM	0.000000	0.135000	0.000000	1.00000	273	100.00	120.00
268	273	JARDIM	230	673 JARDIM	0.000000	0.130000	0.000000	1.00000	273	100.00	120.00
269	273	JARDIM	230	673 JARDIM	0.000000	0.135000	0.000000	1.00000	273	100.00	120.00
270	274	CAMACARI	230	275 Ghangab	0.015000	0.080000	0.140000	1.00000	274	0.00	243.00
271	274	CAMACARI	230	276 FUNIL	0.050000	0.277000	0.536000	1.00000	274	0.00	270.00
272	274	CAMACARI	230	277 MATATU	0.000000	0.046000	0.076000	1.00000	274	0.00	224.00
273	274	CAMACARI	230	278 PITUACU	0.003000	0.027000	0.093000	1.00000	274	0.00	486.00
274	274	CAMACARI	230	279 COTEGIPE	0.004000	0.021000	0.038000	1.00000	274	0.00	183.00
275	274	CAMACARI	230	279 COTEGIPE	0.002000	0.019000	0.044000	1.00000	274	0.00	366.00
276	274	CAMACARI	230	280 JACARACAN	0.003000	0.010000	0.034000	1.00000	274	0.00	183.00
277	274	CAMACARI	230	280 JACARACAN	0.003000	0.010000	0.024000	1.00000	274	0.00	183.00
278	274	CAMACARI	230	574 CAMACARI	0.000000	0.011000	0.000000	0.98300	274	600.00	720.00
279	274	CAMACARI	230	574 CAMACARI	0.000000	0.011000	0.000000	0.98300	274	600.00	720.00
280	274	CAMACARI	230	574 CAMACARI	0.000000	0.011000	0.000000	0.98300	274	600.00	720.00
281	274	CAMACARI	230	674 CAMACARI	0.000000	0.125000	0.000000	1.00000	274	100.00	120.00
282	274	CAMACARI	230	674 CAMACARI	0.000000	0.125000	0.000000	1.00000	274	100.00	120.00
283	274	CAMACARI	230	1074 CAMACARI	0.000000	0.083000	0.000000	1.05400	274	150.00	180.00
284	274	CAMACARI	230	1074 CAMACARI	0.000000	0.083000	0.000000	1.05400	274	150.00	180.00
285	274	CAMACARI	230	1174 TCAN A-B	0.000000	0.277000	0.000000	1.00000	274	55.00	66.00
286	274	CAMACARI	230	1274 TCAN C-D	0.000000	0.205000	0.000000	1.00000	274	63.00	75.00
287	274	CAMACARI	230	1374 TCAN E-F	0.000000	0.205000	0.000000	1.00000	274	63.00	75.00
288	275	Ghangab	230	276 FUNIL	0.037000	0.209000	0.369000	1.00000	275	0.00	203.00
289	275	Ghangab	230	276 FUNIL	0.037000	0.200000	0.381000	1.00000	275	0.00	276.00
290	275	Ghangab	230	675 Ghangab	0.000000	0.135000	0.000000	0.98000	275	100.00	120.00
291	275	Ghangab	230	675 Ghangab	0.000000	0.139000	0.000000	0.98000	275	100.00	120.00
292	276	FUNIL	230	976 FUNIL	0.000000	0.110000	0.000000	0.98000	276	100.00	120.00
293	276	FUNIL	230	976 FUNIL	0.000000	0.115000	0.000000	0.98000	276	100.00	120.00
294	276	FUNIL	230	976 FUNIL	0.000000	0.110000	0.000000	0.98000	276	100.00	120.00
295	277	MATATU	230	278 PITUACU	0.001000	0.006000	0.010000	1.00000	277	0.00	366.00
296	277	MATATU	230	677 MATATU	0.000000	0.132000	0.000000	1.00000	277	100.00	120.00
297	277	MATATU	230	677 MATATU	0.000000	0.132000	0.000000	1.00000	277	100.00	120.00
298	277	MATATU	230	1077 MATATU-A	0.000000	0.575000	0.000000	0.97000	277	40.00	40.00

LINHA	BARRA DE		BARRA PARA		IMPEDANCIA		SUSCEPTANCIA	TAP	LADO	CARREGAMENTO		-MVA-
	NUM.	NOME	NUM.	NOME	R (PU)	X (PU)	(PU)	(PU)		NORMAL	EMERG.	
299	277	KATATU	230	1177 KATATU-B	0.000000	0.575000	0.000000	0.970000	277	40.00	40.00	
300	278	PITUACU	230	279 COTEGIPE	0.002000	0.016000	0.049000	1.000000	278	0.00	366.00	
301	278	PITUACU	230	678 PITUACU	0.000000	0.139000	0.000000	0.980000	278	100.00	120.00	
302	278	PITUACU	230	678 PITUACU	0.000000	0.139000	0.000000	0.980000	278	100.00	120.00	
303	279	COTEGIPE	230	280 JACARACAN	0.003000	0.015000	0.025000	1.000000	279	0.00	183.00	
304	279	COTEGIPE	230	679 COTEGIPE	0.000000	0.141000	0.000000	1.000000	279	100.00	120.00	
305	279	COTEGIPE	230	679 COTEGIPE	0.000000	0.150000	0.000000	1.000000	279	100.00	120.00	
306	280	JACARACAN	230	680 JACARACAN	0.000000	0.135000	0.000000	1.000000	280	100.00	120.00	
307	280	JACARACAN	230	680 JACARACAN	0.000000	0.135000	0.000000	1.000000	280	100.00	120.00	
308	283	IRECE	230	265 B.J.LAPA	0.047000	0.269000	0.470000	1.000000	283	0.00	270.00	
309	283	IRECE	230	1883 IRECE	0.000000	0.311000	0.000000	1.000000	283	33.00	40.00	
310	283	IRECE	230	1883 IRECE	0.000000	0.319000	0.000000	1.000000	283	33.00	40.00	
311	285	B.J.LAPA	230	685 B.J.LAPA	0.000000	0.347000	0.000000	0.980000	285	39.00	47.00	
312	285	B.J.LAPA	230	685 B.J.LAPA	0.000000	0.347000	0.000000	0.980000	285	39.00	47.00	
313	298	V.CONDE	230	598 V.CONDE	0.000000	0.015000	0.000000	0.950000	298	750.00	900.00	
314	298	V.CONDE	230	598 V.CONDE	0.000000	0.015000	0.000000	0.950000	298	750.00	900.00	
315	298	V.CONDE	230	1198 V.CONDE	0.000000	0.063000	0.000000	1.050000	298	160.00	192.00	
316	298	V.CONDE	230	1198 V.CONDE	0.000000	0.063000	0.000000	1.050000	298	160.00	192.00	
317	299	KARABA	230	599 KARABA	0.000000	0.034000	0.000000	0.918500	299	300.00	360.00	
318	299	KARABA	230	1199 KARABA	0.000000	0.063000	0.000000	1.025000	299	160.00	192.00	
319	300	PAFONSO-B	230	301 A.SALES-B	0.001000	0.006000	0.010000	1.000000	300	0.00	230.00	
320	300	PAFONSO-B	230	301 A.SALES-B	0.001000	0.006000	0.010000	1.000000	300	0.00	230.00	
321	300	PAFONSO-B	230	500 PAFONSO	0.000000	0.011000	0.000000	0.947700	300	600.00	720.00	
322	301	A.SALES-B	230	605 ZERU	0.000000	0.125000	0.000000	1.000000	301	100.00	120.00	
323	301	A.SALES-B	230	605 ZERU	0.000000	0.125000	0.000000	1.000000	301	100.00	120.00	
324	329	BESPER-2	230	529 BESPER-2	0.000000	0.020000	0.000000	1.012600	329	300.00	360.00	
325	332	S.LUIS-2	230	532 S.LUIS-2	0.000000	0.011000	0.000000	0.948900	332	600.00	720.00	
326	332	S.LUIS-2	230	532 S.LUIS-2	0.000000	0.011000	0.000000	0.948900	332	600.00	720.00	
327	332	S.LUIS-2	230	532 S.LUIS-2	0.000000	0.011000	0.000000	0.948900	332	600.00	720.00	
328	400	CGRANDE-A	000	1044 CGRAND-A	0.000000	0.249000	0.000000	1.000000	400	23.00	27.00	
329	401	CGRANDE-A	000	1144 CGRAND-B	0.000000	0.249000	0.000000	1.000000	401	23.00	27.00	
330	438	POUTRA-FI	500	439 IMPERA-FI	0.004000	0.040000	5.102000	1.000000	438	0.00	2500.00	
331	438	POUTRA-FI	500	439 IMPERA-FI	0.002000	0.040000	6.022000	1.000000	438	0.00	2500.00	
332	438	POUTRA-FI	500	538 P.DUTRA	0.000000	-0.012000	0.000000	1.000000	438	0.00	2500.00	
333	438	POUTRA-FI	500	538 P.DUTRA	0.000000	-0.010000	0.000000	1.000000	438	0.00	2500.00	
334	439	IMPERA-FI	500	539 IMPERAT	0.000000	-0.014000	0.000000	1.000000	439	0.00	2500.00	
335	439	IMPERA-FI	500	539 IMPERAT	0.000000	-0.012000	0.000000	1.000000	439	0.00	2500.00	
336	499	KARABA-FI	500	599 TUCURUI	0.002000	0.029000	2.046000	1.000000	499	0.00	2500.00	
337	499	KARABA-FI	500	599 TUCURUI	0.002000	0.023000	3.417000	1.000000	499	0.00	2500.00	
338	499	KARABA-FI	500	599 KARABA	0.000000	-0.009000	0.000000	1.000000	499	0.00	2500.00	
339	499	KARABA-FI	500	599 KARABA	0.000000	-0.007000	0.000000	1.000000	499	0.00	2500.00	
340	500	PAFONSO	500	505 ITAPARICAS	0.000000	0.004000	0.453000	1.000000	500	0.00	2000.00	
341	500	PAFONSO	500	540 ANGELIN	0.002000	0.028000	2.006000	1.000000	500	0.00	2040.00	
342	500	PAFONSO	500	582 OLINDINA	0.003000	0.027000	2.799000	1.000000	500	0.00	1501.00	
343	505	ITAPARICAS	500	506 SOBRADIN	0.003000	0.026000	3.923000	1.000000	505	0.00	2000.00	
344	505	ITAPARICAS	500	506 SOBRADIN	0.003000	0.040000	4.179000	1.000000	505	0.00	2000.00	
345	505	ITAPARICAS	500	540 ANGELIN	0.003000	0.032000	3.385000	1.000000	505	0.00	1610.00	
346	505	ITAPARICAS	500	582 OLINDINA	0.002000	0.031000	3.235000	1.000000	505	0.00	2040.00	
347	506	SOBRADIN	500	537 S.J.PIAUI	0.002000	0.027000	2.731000	1.000000	506	0.00	2000.00	
348	529	BESPER-2	500	537 S.J.PIAUI	0.002000	0.030000	3.030000	1.000000	529	0.00	2000.00	
349	529	BESPER-2	500	530 P.DUTRA	0.002000	0.026000	2.637000	1.000000	529	0.00	2500.00	

LINHA	BARRA DE		BARRA PARA		IMPEDANCIA		SUSCEPTANCIA (PU)	TAF (PU)	LADO	CARREGAMENTO -MVA-		
	NUM.	NOME	NUM.	NOME	R (PU)	X (PU)				NORMAL	EMERG.	
354	532	S.LUIS-2	500	538 P.DUTRA	500	0.003000	0.037000	3.002000	1.00000	532	0.00	1930.00
351	532	S.LUIS-2	500	538 P.DUTRA	500	0.002000	0.031000	4.573000	1.00000	532	0.00	1930.00
352	539	IMPERAT	500	599 MARABA	500	0.002000	0.024000	2.319000	1.00000	539	0.00	2500.00
353	539	IMPERAT	500	599 MARABA	500	0.001000	0.019000	2.784000	1.00000	539	0.00	2500.00
354	540	ANGELIM	500	541 RECIFE	500	0.002000	0.021000	2.236000	1.00000	540	0.00	1618.00
355	540	ANGELIM	500	541 RECIFE	500	0.002000	0.022000	2.217000	1.00000	540	0.00	2348.00
356	574	CAMACARI	500	582 OLINDINA	500	0.002000	0.019000	1.934000	1.00000	574	0.00	1501.00
357	574	CAMACARI	500	582 OLINDINA	500	0.001000	0.019000	1.913000	1.00000	574	0.00	2348.00
358	597	TUCURUI	500	598 V.CONDE	500	0.003000	0.042000	4.227000	1.00000	597	0.00	2500.00
359	597	TUCURUI	500	598 V.CONDE	500	0.002000	0.034000	5.074000	1.00000	597	0.00	2500.00
360	619	TAUAPE	69	625 FORTALEZA069		0.010000	0.064000	0.001000	1.00000	619	0.00	78.00
361	619	TAUAPE	69	625 FORTALEZA069		0.010000	0.064000	0.001000	1.00000	619	0.00	78.00
362	621	MILAGRES	069	1021 MILAGE-A	013	0.000000	0.110000	0.000000	1.00000	621	30.00	36.00
363	621	MILAGRES	069	1121 MILAGR-B	013	0.000000	0.110000	0.000000	1.00000	621	30.00	36.00
364	624	MOSSORO	069	1024 MOSSORO	013	0.000000	0.270000	0.000000	1.00000	624	30.00	36.00
365	625	FORTALEZA069		1025 FORTAL-A	013	0.000000	0.065000	0.000000	1.00000	625	30.00	36.00
366	625	FORTALEZA069		1125 FORTAL-B	013	0.000000	0.390000	0.000000	1.00000	625	30.00	36.00
367	625	FORTALEZA069		1225 FORTAL-C	013	0.000000	0.390000	0.000000	1.00000	625	30.00	36.00
368	626	SOBRAL	069	1026 SOBRAL-A	013	0.000000	0.239000	0.000000	1.00000	626	30.00	36.00
369	627	PIRIPIRI	069	1027 PIRIPIRI	013	0.000000	0.439000	0.000000	1.00000	627	12.00	14.00
370	628	TERES-AS	069	1028 TERESINA	013	0.000000	0.130000	0.000000	1.00000	628	33.00	40.00
371	628	TERES-AS	069	1028 TERESINA	013	0.000000	0.130000	0.000000	1.00000	628	33.00	40.00
372	629	BESPER-1	069	1029 BESPER-1	013	0.000000	0.159000	0.000000	1.00000	629	26.00	31.00
373	631	MIRANDA	069	1031 MIRANDA	013	0.000000	0.077000	0.000000	1.00000	631	30.00	36.00
374	631	MIRANDA	069	1031 MIRANDA	013	0.000000	0.077000	0.000000	1.00000	631	30.00	36.00
375	633	COREMAS	069	1033 COREMAS	013	0.000000	0.270000	0.000000	1.00000	633	30.00	36.00
376	633	COREMAS	069	1033 COREMAS	013	0.000000	0.270000	0.000000	1.00000	633	30.00	36.00
377	643	BONJI	069	1043 BONJI	013	0.000000	0.067000	0.000000	1.00000	643	30.00	36.00
378	643	BONJI	069	1443 BONJI-TIP013		0.000000	0.301000	0.000000	1.00000	643	31.00	38.00
379	647	GOIANINHA069		1047 GOIANI-A	013	0.000000	0.397000	0.000000	1.00000	647	30.00	36.00
380	647	GOIANINHA069		1147 GOIANI-B	013	0.000000	0.397000	0.000000	1.00000	647	30.00	36.00
381	651	ACU	069	1051 ACU	013	0.000000	0.151000	0.000000	1.00000	651	26.00	31.00
382	652	S.MATOS	069	1052 S.MATOS	013	0.000000	0.755000	0.000000	1.00000	652	20.00	24.00
383	653	C.NOVO8	069	1053 C.NOVO8	013	0.000000	0.079000	0.000000	1.00000	653	33.00	40.00
384	672	CATU	069	679 COTEGIPE	069	0.142000	0.450000	0.000000	1.00000	672	0.00	58.00
385	672	CATU	069	679 COTEGIPE	069	0.142000	0.450000	0.000000	1.00000	672	0.00	58.00
386	672	CATU	069	700 CATU FIC	000	0.000000	0.100000	0.000000	1.00000	672	40.00	48.00
387	672	CATU	069	700 CATU FIC	000	0.000000	0.137000	0.000000	1.00000	672	40.00	48.00
388	675	GMANGAB	069	1075 GMANGA-A	013	0.000000	0.220000	0.000000	1.00000	675	30.00	36.00
389	675	GMANGAB	069	1175 GMANGA-B	013	0.000000	0.239000	0.000000	1.00000	675	30.00	36.00
390	677	MATATU	069	678 PITUACU	069	0.025000	0.070000	0.001000	1.00000	677	0.00	50.00
391	677	MATATU	069	678 PITUACU	069	0.025000	0.070000	0.001000	1.00000	677	0.00	50.00
392	677	MATATU	069	1277 MATATU-C	011	0.000000	0.360000	0.000000	1.00000	677	33.00	33.00
393	679	COTEGIPE	069	1079 COTEGIPE013		0.000000	0.229000	0.000000	1.00000	679	30.00	36.00
394	679	COTEGIPE	069	1179 COTEGIPE013		0.000000	0.230000	0.000000	1.00000	679	30.00	36.00
395	1003	IRECE	013	683 IRECE	069	0.000000	0.249000	0.000000	1.00000	1003	22.00	26.00
396	1003	IRECE	013	683 IRECE	069	0.000000	0.250000	0.000000	1.00000	1003	22.00	26.00
397	685	B.J.LAPA	069	1085 B.J.LAPA	013	0.000000	0.130000	0.000000	1.00000	685	12.00	14.00
398	700	CATU FIC	000	1072 CATU-A	012	0.000000	0.160000	0.000000	1.00000	700	22.00	26.00
399	700	CATU FIC	000	1172 CATU-E	013	0.000000	0.150000	0.000000	1.00000	700	22.00	26.00
400	976	FUNIL	138	1076 FUNIL	012	0.000000	0.357000	0.000000	1.00000	976	20.00	24.00
401	976	FUNIL	138	1076 FUNIL	013	0.000000	0.333000	0.000000	1.00000	976	20.00	24.00

DADOS DE BARRA

BARRA	TIPO	TENSÃO-ÂNGULO		SHUNT	POTENCIA ATIVA			POTENCIA REATIVA			DISTRIBUICAO DISCRETA		DISTRIBUICAO NORMAL				
		PU	GRAUS		V.ESP.	D.PAD.	D.PAD.	V.ESP.	D.PAD.	D.PAD.	UND	POT. TAXA	DIST. BINOMIAL		POT. REATIVA		
													POT. ATIVA	POT. REATIVA	POT. ATIVA	POT. REATIVA	
				PU	MW	MW	Z	MVAR	MVAR	Z	MW	MW	MW	MW	MVAR	MVAR	
1	PG	1.0560	-6.46	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	60.0	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
2	PG	1.0560	-6.46	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	60.0	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
3	PG	1.0560	-6.46	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	60.0	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
4	PG	1.0550	-6.05	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	75.0	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
5	PG	1.0550	-6.05	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	75.0	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
6	PG	1.0550	-6.05	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	75.0	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
7	PV	1.0200	0.23	0.0000	75.0	5.3	7.1	0.0	0.0	0.0	1	75.4	0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
8	PV	1.0200	-6.20	0.0000	75.0	5.3	7.1	0.0	0.0	0.0	1	75.4	0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
9	PV	1.0200	-6.20	0.0000	75.0	5.3	7.1	0.0	0.0	0.0	1	75.4	0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
10	PV	1.0200	0.56	0.0000	196.0	21.6	11.0	0.0	0.0	0.0	1	198.4	0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
11	PV	1.0200	0.56	0.0000	196.0	21.6	11.0	0.0	0.0	0.0	1	198.4	0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
12	PV	1.0200	0.14	0.0000	196.0	21.6	11.0	0.0	0.0	0.0	1	198.4	0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
13	PG	1.0000	-6.46	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	216.0	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
14	SW	1.0450	0.00	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	410.0	0.02	0.0	0.00	0.00	0.00
15	PV	1.0450	1.37	0.0000	326.9	46.7	14.3	0.0	0.0	0.0	1	333.6	0.02	0.0	0.00	0.00	0.00
16	PV	1.0450	1.37	0.0000	326.9	46.7	14.3	0.0	0.0	0.0	1	333.6	0.02	0.0	0.00	0.00	0.00
17	PV	1.0450	1.37	0.0000	326.9	46.7	14.3	0.0	0.0	0.0	1	333.6	0.02	0.0	0.00	0.00	0.00
18	PV	1.0450	1.37	0.0000	326.9	46.7	14.3	0.0	0.0	0.0	1	333.6	0.02	0.0	0.00	0.00	0.00
19	PV	1.0450	1.37	0.0000	326.9	46.7	14.3	0.0	0.0	0.0	1	333.6	0.02	0.0	0.00	0.00	0.00
21	PV	1.0400	10.83	0.0000	113.9	11.5	10.1	0.0	0.0	0.0	1	115.1	0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
22	PV	1.0400	10.83	0.0000	113.9	11.5	10.1	0.0	0.0	0.0	1	115.1	0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
23	PV	1.0400	10.83	0.0000	113.9	11.5	10.1	0.0	0.0	0.0	1	115.1	0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
24	PV	1.0400	10.83	0.0000	113.9	11.5	10.1	0.0	0.0	0.0	1	115.1	0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
25	PV	1.0400	10.83	0.0000	113.9	11.5	10.1	0.0	0.0	0.0	1	115.1	0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
26	PV	1.0400	10.83	0.0000	113.9	11.5	10.1	0.0	0.0	0.0	1	115.1	0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
28	PV	1.0250	0.37	0.0000	100.0	10.0	10.1	0.0	0.0	0.0	1	101.0	0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
29	PG	1.0550	-5.82	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	110.0	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
30	PV	1.0250	0.37	0.0000	100.0	10.0	10.1	0.0	0.0	0.0	1	101.0	0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
31	PG	1.0550	-5.82	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	110.0	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
33	PV	1.0400	2.12	0.0000	185.9	20.5	11.0	0.0	0.0	0.0	1	188.2	0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
34	PV	1.0400	2.15	0.0000	185.9	20.5	11.0	0.0	0.0	0.0	1	188.2	0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
35	PV	1.0400	2.20	0.0000	185.9	20.5	11.0	0.0	0.0	0.0	1	188.2	0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
36	PV	1.0400	2.20	0.0000	185.9	20.5	11.0	0.0	0.0	0.0	1	188.2	0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
37	PV	1.0400	2.20	0.0000	185.9	20.5	11.0	0.0	0.0	0.0	1	188.2	0.01	0.0	0.00	0.00	0.00
38	PG	1.0340	-1.89	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	250.0	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
44	PV	1.0200	25.91	0.0000	50.0	11.5	22.9	0.0	0.0	0.0	1	52.0	0.05	0.0	0.00	0.00	0.00
45	PG	1.0240	21.00	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	54.0	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
46	PG	1.0500	21.00	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	63.0	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
47	PG	1.0500	21.00	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	63.0	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
50	PV	1.0500	66.23	0.0000	296.0	42.3	14.3	0.0	0.0	0.0	1	302.0	0.02	0.0	0.00	0.00	0.00
51	PV	1.0500	66.23	0.0000	296.0	42.3	14.3	0.0	0.0	0.0	1	302.0	0.02	0.0	0.00	0.00	0.00
52	PV	1.0500	66.23	0.0000	296.0	42.3	14.3	0.0	0.0	0.0	1	302.0	0.02	0.0	0.00	0.00	0.00

DISTRIBUICAO DISCRETA

BARRA TIPO	TENSAO- PU	ANGULO GRAUS	SHUNT PU	POTENCIA ATIVA			POTENCIA REATIVA			POT. ATIVA PROBABIL.		POT. REATIVA PROBABIL.					
				V.ESP.	D.PAD.	D.PAD.	V.ESP.	D.PAD.	D.PAD.	DIST. BINOMIAL		DISTRIBUICAO NORMAL					
				MW	MW	Z	MVAR	MVAR	Z	UNO	POT. TAXA	V.ESP.	D.PAD.	V.ESP.	D.PAD.		
53	PV	1.0500	66.23	0.0000	296.0	42.3	14.3	0.0	0.0	0.0	1	302.0	0.02	0.0	0.00	0.00	0.00
54	PV	1.0500	66.23	0.0000	296.0	42.3	14.3	0.0	0.0	0.0	1	302.0	0.02	0.0	0.00	0.00	0.00
55	PV	1.0500	66.23	0.0000	296.0	42.3	14.3	0.0	0.0	0.0	1	302.0	0.02	0.0	0.00	0.00	0.00
56	PV	1.0500	66.23	0.0000	296.0	42.3	14.3	0.0	0.0	0.0	1	302.0	0.02	0.0	0.00	0.00	0.00
57	PV	1.0500	66.23	0.0000	296.0	42.3	14.3	0.0	0.0	0.0	1	302.0	0.02	0.0	0.00	0.00	0.00
58	PV	1.0500	66.23	0.0000	296.0	42.3	14.3	0.0	0.0	0.0	1	302.0	0.02	0.0	0.00	0.00	0.00
59	PV	1.0500	66.23	0.0000	296.0	42.3	14.3	0.0	0.0	0.0	1	302.0	0.02	0.0	0.00	0.00	0.00
60	PE	1.0620	60.99	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	350.0	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
63	PV	1.0500	-35.09	0.0000	10.0	2.3	22.9	0.0	0.0	0.0	1	10.5	0.05	0.0	0.00	0.00	0.00
64	PV	1.0500	-35.09	0.0000	10.0	2.3	22.9	0.0	0.0	0.0	1	10.5	0.05	0.0	0.00	0.00	0.00
65	PV	1.0500	-35.09	0.0000	10.0	2.3	22.9	0.0	0.0	0.0	1	10.5	0.05	0.0	0.00	0.00	0.00
75	PV	1.0400	-21.54	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	25.5	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
76	PV	1.0400	-21.54	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	25.5	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
77	PE	1.0350	-21.54	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	28.5	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
78	PE	1.0350	-21.54	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	28.5	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
79	PE	1.0350	-21.54	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	28.5	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
81	PV	1.0500	-21.26	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	58.0	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
82	PV	1.0500	-21.26	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	58.0	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
83	PE	1.0370	-21.26	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	58.0	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
84	PE	1.0370	-21.26	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	58.0	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
85	PE	1.0370	-21.26	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	58.0	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
87	PV	1.0500	23.40	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	58.0	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
88	PE	1.0290	23.40	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	58.0	1.00	0.0	0.00	0.00	0.00
120	PE	1.0250	-26.02	0.0000	-36.2	1.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	-36.2	1.81	0.00	0.00
144	PE	1.0250	-39.09	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
145	PE	1.0170	-43.07	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
151	PE	1.0090	-47.73	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
152	PE	1.0080	-46.96	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
153	PE	1.0080	-45.98	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
176	PE	1.0340	-38.71	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
200	PE	1.0350	-6.46	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
202	PE	1.0350	1.77	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
203	PE	1.0280	-3.87	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
266	PE	1.0370	4.29	0.0000	-1.4	0.1	5.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	-1.4	0.07	0.00	0.00
207	PE	1.0330	-1.26	0.0000	-20.0	5.7	20.0	-0.5	1.0	20.9	0	0.0	0.00	0.0	0.00	-0.52	1.70
												-20.73	0.22	0.00	1.00		
												-19.54	0.61	0.00	0.00		
												-10.35	0.17	0.00	0.00		
219	PE	1.0100	-52.10	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
220	PE	1.0320	-19.41	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
221	PV	1.0350	-24.00	2.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
222	PE	1.0250	-37.35	3.3333	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
223	PE	1.0180	-43.70	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
224	PE	1.0130	-47.19	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
225	PV	1.0100	-51.97	2.5000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
226	PE	1.0150	-60.19	10.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
227	PE	0.9590	6.74	10.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00

BARRA TIPO	TENSAO PU	ANGULO GRAUS	SHUNT PU	DISTRIBUICAO DISCRETA						DISTRIBUICAO NORMAL							
				POTENCIA ATIVA			POTENCIA REATIVA			POTENCIA ATIVA			POTENCIA REATIVA				
				V.ESP.	D.PAD.	D.PAD.	V.ESP.	D.PAD.	D.PAD.	UND	POT. TAXA	V.ESP.	D.PAD.	D.PAD.	V.ESP.	D.PAD.	D.PAD.
				MW	MW	Z	MVAR	MVAR	Z	MW	MW	MW	MW	MW	MVAR	MVAR	
228	PE	0.9990	10.81	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
229	PE	1.0500	21.00	5.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
230	PE	0.9990	17.52	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
231	PE	0.9960	19.07	5.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
232	PE	1.0230	22.83	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
233	PE	1.0270	-27.41	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
237	PE	1.0210	14.27	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
238	PE	1.0320	33.04	-1.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
239	PE	1.0250	42.00	-1.0000	-7.5	0.4	5.0	-2.4	0.2	10.0	0	0.0	0.00	-7.5	0.38	-2.40	0.24
240	PE	1.0150	-24.47	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
241	PE	1.0410	-20.83	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
242	PV	1.0000	-30.89	0.0000	-158.1	31.3	19.8	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
												-171.76	0.82	0.00		1.00	
												-117.11	0.11	0.00		0.00	
												-62.45	0.07	0.00		0.00	
243	PE	1.0350	-21.54	0.0000	-10.1	1.7	17.1	-5.2	4.4	85.0	0	0.0	0.00	-10.1	1.73	-5.17	4.39
244	PE	1.0060	-35.30	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
246	PE	1.0200	-44.87	5.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
247	PE	1.0000	-27.92	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
248	PE	0.9990	-29.97	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
249	PE	1.0390	-21.58	0.0000	-16.0	1.5	9.2	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	-16.0	1.47	0.00	0.00
250	PE	1.0200	-22.24	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
251	PE	1.0120	-40.36	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
252	PE	1.0310	-22.80	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
255	PE	1.0070	-29.32	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
267	PE	1.0330	-21.76	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
270	PE	1.0440	-12.96	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
271	PE	1.0200	-15.67	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
272	PE	1.0200	-21.00	0.0000	-117.9	2.2	1.9	-60.4	9.2	15.2	0	0.0	0.00	-117.9	2.24	-60.40	9.18
273	PE	1.0230	-17.73	0.0000	-25.2	0.4	1.5	-5.1	0.1	1.0	0	0.0	0.00	-25.2	0.38	-5.12	0.09
274	PE	1.0370	-21.26	0.0000	-143.7	11.6	8.0	-66.8	8.7	13.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	-46.20	8.14
												-32.13	0.58	-12.39		0.15	
												-29.18	0.33	-10.25		0.65	
												-26.24	0.09	-8.10		0.20	
												-24.59	0.49	-12.16		0.67	
												-19.24	0.39	-8.41		0.20	
												-13.89	0.12	-4.67		0.13	
												-103.84	0.38	0.00		1.00	
												-89.78	0.39	0.00		0.00	
												-75.72	0.23	0.00		0.00	
275	PE	1.0140	-27.33	5.0000	-1.0	0.0	1.9	-0.1	0.0	15.2	0	0.0	0.00	-1.0	0.02	-0.14	0.02
276	PE	1.0110	-35.38	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
277	PE	1.0260	-23.38	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
278	PE	1.0260	-23.16	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00

BARRA TIPO	TENSÃO-- PU	ÂNGULO GRAUS	SHUNT PU	DISTRIBUICAO DISCRETA						DISTRIBUICAO NORMAL							
				POTENCIA ATIVA			POTENCIA REATIVA			POT. ATIVA PROBABIL.		POT. REATIVA PROBABIL.		DIST. BINOMIAL		DISTRIBUICAO NORMAL	
				V.ESP.	D.PAD.	D.PAD.	V.ESP.	D.PAD.	D.PAD.	UND	POT. TAXA	V.ESP.	D.PAD.	V.ESP.	D.PAD.	POT. REATIVA	
				MW	MW	%	MVAR	MVAR	%		MW	MW	MW	MW	MVAR	MVAR	
279	PQ	1.0290	-22.46	0.0000	-82.0	10.8	13.2	-34.9	3.7	10.6	0	0.0	0.00	-82.0	10.82	-34.93	3.70
280	PQ	1.0280	-22.26	0.0000	-223.8	8.5	3.8	-123.8	4.1	3.3	0	0.0	0.00	-112.0	0.40	-66.27	2.29
												-119.13	0.52	-60.69		0.49	
												-106.18	6.39	-55.15		0.45	
												-93.23	0.09	-49.66		0.06	
283	PQ	1.0050	-13.48	6.6667	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
285	PQ	0.9750	-20.58	6.6667	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
298	PQ	1.0310	49.71	-0.6006	-873.8	43.7	5.0	-244.4	24.4	10.0	0	0.0	0.00	-873.8	43.69	-244.40	24.44
299	PQ	1.0100	50.09	-2.0000	-122.4	6.1	5.0	-14.4	1.4	10.0	0	0.0	0.00	-122.4	6.12	-14.40	1.44
300	PQ	1.0340	-6.05	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
301	PQ	1.0320	-5.82	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
329	PQ	1.0500	20.96	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
332	PQ	1.0290	23.40	-6.5556	-751.6	37.6	5.0	-11.6	1.2	10.0	0	0.0	0.00	-751.6	37.58	-11.60	1.16
400	PQ	1.0160	-37.45	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
401	PQ	1.0160	-37.45	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
438	PQ	1.0670	28.58	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
439	PQ	1.0520	48.23	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
443	PQ	1.0360	-21.54	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
453	PQ	1.0350	-21.54	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
463	PQ	1.0350	-21.54	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
499	PQ	1.0760	40.34	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
500	PQ	1.0840	-3.16	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
505	PQ	1.0850	-1.89	0.3333	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
506	PQ	1.0710	7.53	0.2222	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
529	PQ	1.0460	23.45	0.3236	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
532	PV	1.0800	25.17	0.2976	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
537	PQ	1.0610	14.71	0.4878	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
538	PQ	1.0700	33.19	0.1263	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
539	PQ	1.0890	42.53	0.1433	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
540	PQ	1.0850	-11.90	0.3333	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
541	PQ	1.0750	-18.57	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
574	PQ	1.0500	-18.62	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
582	PQ	1.0700	-12.26	0.3333	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
597	PQ	1.0890	60.99	0.6329	-74.0	3.7	5.0	-25.8	2.6	10.0	0	0.0	0.00	-74.0	3.70	-25.80	2.58
598	PQ	1.0870	52.98	0.3125	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
599	PQ	1.0820	52.10	0.1866	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
602	PQ	1.0370	-0.55	-7.8740	-68.5	5.3	7.8	-9.8	5.2	52.9	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
												-73.35	0.49	-16.50		0.30	
												-66.21	0.34	-10.08		0.35	
												-59.09	0.17	-3.66		0.35	
605	PQ	1.0140	-8.00	0.0000	-63.8	3.2	5.0	-27.2	2.7	10.0	0	0.0	0.00	-63.8	3.19	-27.18	2.72
619	PQ	1.0300	-56.77	-2.3474	-148.1	7.4	5.0	-43.2	4.3	10.0	0	0.0	0.00	-148.1	7.40	-43.20	4.32
620	PQ	1.0300	-22.68	0.0000	-32.7	0.7	2.1	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	-32.7	0.69	0.00	0.00
621	PQ	1.0300	-27.46	-4.9026	-75.0	4.3	5.7	-15.2	2.7	17.9	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
												-84.39	0.09	-20.55		0.11	
												-75.53	0.76	-16.23		0.55	

BARRA TIPO	TENSAO--ANGULO PU GRAUS		SHUNT PU	DISTRIBUICAO DISCRETA						POT. ATIVA PROBABIL. POT. REATIVA PROBABIL.						
				POTENCIA ATIVA			POTENCIA REATIVA			DIST. BINOMIAL		DISTRIBUICAO NORMAL				
				V.ESP.	D.PAD.	D.PAD.	V.ESP.	D.PAD.	D.PAD.	POT. ATIVA	POT. REATIVA	V.ESP.	D.PAD.	V.ESP.	D.PAD.	
				MW	MW	Z	MVAR	MVAR	Z	UND	POT. TAXA	MW	MW	MVAR	MVAR	
										0.00	0.00	-2.18	0.36			
										0.00	0.00	0.00	0.48			
653	PG	1.0140	-51.67	0.0000	-19.8	0.8	4.0	-5.0	0.7	14.3	0	0.0 0.00	-19.8	0.79	-4.96	0.71
655	PG	1.0170	-32.62	0.0000	-91.7	1.6	1.7	-13.1	1.9	14.6	0	0.0 0.00	-91.7	1.56	-13.07	1.91
670	PG	0.9940	-21.37	0.0000	-11.5	0.6	5.0	-2.9	0.3	10.0	0	0.0 0.00	-11.5	0.57	-2.88	0.29
671	PG	1.0230	-19.23	-4.9020	-87.5	2.1	2.4	-25.5	3.4	13.3	0	0.0 0.00	-87.5	2.10	-25.51	3.39
672	PG	1.0110	-27.84	0.0000	-58.3	1.5	2.5	-23.0	1.3	5.7	0	0.0 0.00	-58.3	1.46	-23.04	1.31
673	PG	1.0300	-21.59	-2.3474	-159.3	3.0	1.9	-22.7	1.0	4.5	0	0.0 0.00	-159.3	3.03	-22.70	1.02
674	PG	1.0190	-24.38	0.0000	-92.1	4.1	4.5	-26.9	5.3	19.9	0	0.0 0.00	-92.1	4.14	-26.86	5.35
675	PG	1.0180	-32.22	0.0000	-131.0	2.6	2.0	-18.7	1.5	7.9	0	0.0 0.00	-131.0	2.62	-18.67	1.47
677	PG	1.0280	-28.11	-2.3981	-105.6	5.2	4.9	-26.5	4.6	17.3	0	0.0 0.00	-105.6	5.17	-26.46	4.58
678	PG	1.0210	-28.60	-4.6548	-171.4	3.1	1.8	-62.2	4.9	7.8	0	0.0 0.00	-171.4	3.09	-62.22	4.85
679	PG	1.0330	-26.22	-2.4510	-81.0	3.5	4.3	-34.5	2.7	7.7	0	0.0 0.00	-81.0	3.48	-34.51	2.66
680	PG	1.0450	-24.94	-2.3474	-74.5	4.2	5.6	-18.7	5.2	27.7	0	0.0 0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
												-77.96	0.55	-23.55	0.49	
												-72.17	0.31	-14.98	0.45	
												-66.37	0.14	-6.42	0.06	
683	PG	0.9900	-20.22	0.0000	-41.0	1.3	3.2	0.0	0.0	0.0	0	0.0 0.00	-41.0	1.31	0.00	0.00
685	PG	0.9830	-25.14	0.0000	-44.9	2.6	5.9	0.0	0.0	0.0	0	0.0 0.00	-44.9	2.65	0.00	0.00
700	PG	1.0250	-25.97	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0 0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
703	PG	1.0000	-11.51	0.0000	-44.8	1.4	3.1	-6.4	2.2	34.7	0	0.0 0.00	-44.8	1.39	-6.38	2.21
728	PG	1.0070	7.01	-4.6948	-104.5	3.8	3.6	-37.3	1.9	5.2	0	0.0 0.00	-104.5	3.76	-37.31	1.94
732	PG	1.0250	26.07	0.0000	-120.5	6.0	5.0	-42.2	4.2	10.0	0	0.0 0.00	-120.5	6.02	-42.20	4.22
752	PG	1.0220	-25.15	0.0000	-68.2	3.4	5.0	-13.9	1.4	10.0	0	0.0 0.00	-68.2	3.41	-13.85	1.39
976	PG	1.0290	-40.13	0.0000	-248.0	8.9	3.6	0.0	0.0	0.0	0	0.0 0.00	-248.0	8.93	0.00	0.00
1021	PG	1.0380	-27.46	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0 0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1024	PG	0.9700	-49.28	6.6667	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0 0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1025	PG	1.0330	-56.60	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0 0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1026	PG	1.0270	-63.61	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0 0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1027	PG	1.0160	1.43	-9.2593	-3.9	0.4	9.0	-1.3	0.1	5.0	0	0.0 0.00	-3.9	0.35	-1.28	0.06
1028	PG	1.0080	6.46	-5.5556	-33.2	1.0	3.1	-13.1	0.9	6.8	0	0.0 0.00	-33.2	1.03	-13.12	0.89
1029	PG	1.0390	16.31	0.0000	-2.4	0.1	5.0	-0.5	0.1	10.0	0	0.0 0.00	-2.4	0.12	-0.50	0.05
1030	PG	0.9980	17.21	0.0000	-2.3	0.1	5.0	-0.7	0.1	10.0	0	0.0 0.00	-2.3	0.11	-0.70	0.07
1031	PG	1.0040	17.18	0.0000	-1.9	0.1	5.0	-0.6	0.1	10.0	0	0.0 0.00	-1.9	0.09	-0.60	0.06
1033	PG	1.0420	-28.91	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0 0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1038	PV	0.9900	33.04	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0 0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1039	PV	1.0000	42.08	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0 0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1041	PV	1.0000	-20.83	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0 0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1043	PG	1.0150	-28.72	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0 0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1044	PG	1.0160	-37.45	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0 0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1047	PV	1.0500	-31.81	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0 0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1051	PG	1.0200	-52.37	-33.3333	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0 0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1052	PG	1.0040	-50.24	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0 0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1053	PG	1.0180	-50.80	-27.7778	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0 0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1072	PG	1.0320	-26.65	-13.8889	-7.7	0.4	5.6	-3.0	0.2	6.8	0	0.0 0.00	-7.7	0.43	-3.04	0.21
1074	PV	1.0500	-21.26	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0 0.00	0.0	0.00	0.00	0.00

BARRA TIPO	TENSÃO— PU	ANGULO GRAUS	SHUNT PU	DISTRIBUICAO DISCRETA									DISTRIBUICAO NORMAL				
				POTENCIA ATIVA			POTENCIA REATIVA			UND	POT. ATIVA		POT. REATIVA		POT. REATIVA		
				V.ESP.	D.PAD.	D.PAD.	V.ESP.	D.PAD.	D.PAD.		POT. TAXA	V.ESP.	D.PAD.	V.ESP.	D.PAD.		
				MW	MW	Z	MVAR	MVAR	Z	MW	MW	MVAR	MVAR				
1075	PG	1.0180	-32.22	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1076	PG	1.0246	-40.65	0.0000	-5.6	0.4	6.3	-2.7	0.2	6.0	0	0.0	0.00	-5.6	0.35	-2.71	0.16
1077	PV	1.0500	-26.71	0.0000	-11.2	0.3	2.5	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
												-11.68	0.19	0.00	1.00		
												-11.17	0.69	0.00	0.00		
												-10.65	0.12	0.00	0.00		
1079	PV	1.0350	-26.22	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1083	PG	0.9910	-17.26	20.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1085	PG	0.9770	-25.14	20.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1121	PG	1.0380	-27.46	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1125	PV	1.0500	-56.60	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1139	PV	1.0000	42.00	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1143	PV	1.0300	-22.80	0.0000	-5.4	0.1	2.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	-5.4	0.11	0.00	0.00
1144	PG	1.0160	-37.45	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1147	PG	1.0080	-31.81	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1172	PG	1.0250	-25.97	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1174	PG	1.0370	-21.26	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1175	PG	1.0180	-32.22	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1177	PV	1.0500	-26.71	0.0000	-11.2	0.3	2.5	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
												-11.68	0.19	0.00	1.00		
												-11.17	0.69	0.00	0.00		
												-10.65	0.12	0.00	0.00		
1179	PG	1.0420	-26.22-27.7770	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1198	PV	1.0000	49.71	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1199	PV	1.0000	50.09	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1225	PG	1.0330	-56.60	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1243	PV	1.0300	-22.80	0.0000	-5.4	0.3	5.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	-5.4	0.27	0.00	0.00
1274	PG	1.0370	-21.26	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1277	PG	1.0280	-28.11	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1374	PG	1.0370	-21.26	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
1443	PG	1.0340	-32.03	-9.2593	-20.1	1.0	5.0	-4.4	0.4	10.0	0	0.0	0.00	-20.1	1.00	-4.38	0.44

RESULTADOS DO FLUXO DE CARGA PARA A AREA 3

RESULTADOS DE BARRA										RESULTADOS DE FLUXOS NAS LINHAS								
BARRA NUM.	NOME	TENSAO(MODULO PU)		ANGULO) GRAUS		REAT. INJ. MVAR		REAT. SHUNT* MVAR		PARA BARRA NUM.	NOME	ATIVO (MW)		REAT. (MVAR)		APAR. (MVA)		
		VESP	DPAD	VESP	DPAD	VESP	DPAD	VESP	DPAD			VESP	DPAD	VESP	DPAD	VESP	DPAD	
120	B.NOME	138	1.0250	0.0008	-26.02	0.36		0.0	0.00									
219	TAUAPE	230	1.0100	0.0000	-52.16	0.00		-32.3	0.00	220	B.NOME	230	-36.22	1.8	-0.05	0.0	36.22	1.8
										225	FORTALEZA230	-62.98	0.5	11.83	0.4	64.08	0.5	
										225	FORTALEZA230	-62.98	0.5	11.83	0.4	64.08	0.5	
										619	TAUAPE	69	68.34	1.4	3.26	0.8	68.42	1.4
										619	TAUAPE	69	68.34	1.4	3.26	0.8	68.42	1.4
220	B.NOME	230	1.0320	0.0002	-19.41	0.04		69.8	0.03									
										200	PAFONSO-A230	-137.43	1.8	23.06	0.9	139.35	1.9	
										200	PAFONSO-A230	-137.43	1.8	23.06	0.9	139.35	1.9	
										120	B.NOME	138	36.22	1.8	4.24	0.4	36.46	1.8
										221	MILAGRES	230	117.66	0.5	-27.79	0.2	120.90	0.5
										221	MILAGRES	230	116.32	0.5	-27.25	0.2	119.47	0.5
										221	MILAGRES	230	116.32	0.5	-27.19	0.2	119.46	0.5
										300	PAFONSO-B230	-144.60	0.6	26.72	0.2	147.05	0.6	
										620	B.NOME	069	16.55	0.4	1.04	0.0	16.58	0.4
										620	B.NOME	069	16.15	0.3	1.01	0.0	16.18	0.3
221	MILAGRES	230	1.0350	0.0000	-24.69	0.03	-11.17	0.00	441.3	0.00								
										200	PAFONSO-A230	-205.16	2.0	24.56	1.2	206.63	2.1	
										220	B.NOME	230	-115.66	0.5	23.03	0.3	117.93	0.5
										220	B.NOME	230	-114.36	0.5	22.47	0.3	116.55	0.5
										220	B.NOME	230	-114.36	0.5	22.52	0.3	116.56	0.5
										222	BANABUIU	230	106.25	0.2	-22.88	0.0	108.68	0.2
										222	BANABUIU	230	108.75	0.2	-22.46	0.0	111.05	0.2
										222	BANABUIU	230	108.75	0.2	-22.57	0.0	111.07	0.2
										222	BANABUIU	230	158.73	0.3	-24.74	0.1	160.65	0.3
										222	BANABUIU	230	158.73	0.3	-24.74	0.1	160.65	0.3
										233	COREMAS	230	41.39	0.4	-11.00	0.1	42.82	0.4
										300	PAFONSO-B230	-209.25	0.7	27.29	0.3	211.03	0.7	
										621	MILAGRES	069	37.41	2.1	-1.33	0.8	37.43	2.1
										621	MILAGRES	069	37.41	2.1	-1.33	0.8	37.43	2.1
222	BANABUIU	230	1.0250	0.0001	-37.35	0.01		523.4	0.00									
										221	MILAGRES	230	-102.13	0.2	5.34	0.1	102.27	0.2
										221	MILAGRES	230	-104.55	0.2	6.31	0.1	104.74	0.2
										221	MILAGRES	230	-104.55	0.2	6.20	0.1	104.74	0.2
										221	MILAGRES	230	-154.26	0.3	2.26	0.1	154.28	0.3
										221	MILAGRES	230	-154.26	0.3	2.26	0.1	154.28	0.3
										223	RUSSAS	230	106.77	0.9	-15.93	0.2	107.95	0.9
										225	FORTALEZA230	155.76	0.1	-14.16	0.0	156.40	0.1	
										225	FORTALEZA230	162.31	0.1	-15.85	0.0	163.08	0.1	
										225	FORTALEZA230	162.31	0.1	-15.85	0.0	163.08	0.1	
										622	BANABUIU	069	16.23	0.3	3.17	0.1	16.54	0.4
										622	BANABUIU	069	15.96	0.3	3.11	0.1	16.20	0.3
223	RUSSAS	230	1.0100	0.0003	-43.76	0.06		13.3	0.01									

RESULTADOS DE BARRA										RESULTADOS DE FLUXOS NAS LINHAS								
BARRA NUM.	NOME	TENSAO(MODULO PU		ANGULO) GRAUS		REAT. INJ. MVAR		REAT. SHUNT* MVAR		PARA BARRA * NUM.	NOME	ATIVO (MW)		REAT. (MVAR)		APAR. (MVA)		
		VESP	DPAD	VESP	DPAD	VESP	DPAD	VESP	DPAD			VESP	DPAD	VESP	DPAD			
											222 BANABUIU	230	-104.71	0.8	8.17	0.2	105.02	0.8
											224 MOSSORO	230	82.45	1.0	-11.69	0.2	83.28	1.0
											623 RUSSAS	069	10.94	0.3	1.66	0.1	11.07	0.3
											623 RUSSAS	069	10.94	0.3	1.66	0.1	11.07	0.3
224	MOSSORO	230	1.0130	0.0004	-47.19	0.10				12.8	0.01							
											223 RUSSAS	230	-81.60	0.9	3.47	0.3	81.67	0.9
											251 ACU	230	28.66	1.0	-9.78	0.6	30.28	1.7
											624 MOSSORO	069	26.59	2.5	2.65	0.3	26.72	2.5
											624 MOSSORO	069	26.59	2.5	2.65	0.3	26.72	2.5
225	FORTALEZA	230	1.0100	0.0000	-51.97	0.00	20.10	2.55	258.4	0.00								
											219 TAUAPE	230	63.02	0.5	-13.37	0.4	64.42	0.5
											219 TAUAPE	230	63.02	0.5	-13.37	0.4	64.42	0.5
											222 BANABUIU	230	-148.83	0.1	22.51	0.0	150.52	0.1
											222 BANABUIU	230	-154.79	0.1	24.74	0.0	156.76	0.1
											222 BANABUIU	230	-154.79	0.1	24.74	0.0	156.76	0.1
											226 SOBRAL	230	67.09	1.0	-28.17	0.3	72.76	1.0
											625 FORTALEZA	069	63.60	0.9	0.75	0.5	63.61	0.9
											625 FORTALEZA	069	63.60	0.9	0.75	0.5	63.61	0.9
											625 FORTALEZA	069	63.60	0.9	0.75	0.5	63.61	0.9
											625 FORTALEZA	069	64.56	0.9	0.76	0.5	64.56	0.9
226	SOBRAL	230	1.0150	0.0007	-60.19	0.12				1049.2	1.40							
											225 FORTALEZA	230	-65.38	0.9	0.03	0.6	65.38	0.9
											626 SOBRAL	069	32.79	2.0	-5.43	0.5	33.23	1.9
											626 SOBRAL	069	32.79	2.0	-5.43	0.5	33.23	1.9
233	COREMAS	230	1.0270	0.0002	-27.41	0.02				-20.3	0.01							
											221 MILAGRES	230	-41.03	0.4	-9.48	0.1	42.12	0.3
											633 COREMAS	069	20.42	0.6	4.73	0.2	20.96	0.6
											633 COREMAS	069	20.42	0.6	4.73	0.2	20.96	0.6
619	TAUAPE	69	1.0300	0.0010	-56.77	0.10				-214.3	0.40							
											219 TAUAPE	230	-68.34	1.4	2.25	0.7	68.38	1.4
											219 TAUAPE	230	-68.34	1.4	2.25	0.7	68.38	1.4
											625 FORTALEZA	069	-5.94	2.4	-3.20	1.2	6.74	2.1
											625 FORTALEZA	069	-5.94	2.4	-3.20	1.2	6.74	2.1
620	B.NONE	069	1.0300	0.0001	-22.69	0.07				0.0	0.00							
											220 B.NONE	230	-16.55	0.4	-0.09	0.0	16.55	0.4
											220 B.NONE	230	-16.15	0.3	-0.09	0.0	16.15	0.3
621	MILAGRES	069	1.0300	0.0011	-27.47	0.17				-528.2	1.11							
											221 MILAGRES	230	-37.41	2.1	3.15	0.8	37.54	2.1
											221 MILAGRES	230	-37.41	2.1	3.15	0.8	37.54	2.1
											1021 MILAGR-A	013	0.00	0.0	0.00	0.0	0.01	0.0
											1121 MILAGR-B	013	0.00	0.0	0.00	0.0	0.01	0.0
622	BANABUIU	069	1.0150	0.0005	-40.76	0.08				0.0	0.00							
											222 BANABUIU	230	-16.23	0.3	-2.10	0.1	16.38	0.3
											222 BANABUIU	230	-15.90	0.3	-2.14	0.1	16.04	0.3
623	RUSSAS	069	1.0270	0.0007	-52.38	0.24				2.9	0.00							

BALANCO DE POTENCIA NA BARRA DE BALANCO

* POTENCIA INJETADA * POTENCIA DISPONIVEL * BALANCO DE POTENCIA

	* POTENCIA INJETADA *	* POTENCIA DISPONIVEL *	* BALANCO DE POTENCIA
VALOR ESPERADO *	225.847	401.800	175.953
DESVIO PADRAO *	17.351	57.400	59.965

SUMARIO DOS CARREGAMENTOS NAS LINHAS

PROBABILIDADE DE EXCEDER CARREGAMENTO NORMAL E DE EMERGENCIA (%)

* DA BARRA *		* PARA BARRA *		* NORMAL *		* EMERG. *		* DA BARRA *		* PARA BARRA *		* NORMAL *		* EMERG. *	
NUM.	NOME	NUM.	NOME	NUM.	NOME	NUM.	NOME	NUM.	NOME	NUM.	NOME	NUM.	NOME	NUM.	NOME
200	PAFONSO-A230	1	PAF1-M1 GER	0.00	0.00	*		200	PAFONSO-A230	2	PAF1-M2 GER	0.00	0.00		
200	PAFONSO-A230	3	PAF1-M3 GER	0.00	0.00	*		300	PAFONSO-B230	4	PAF2A-M1 GER	0.00	0.00		
300	PAFONSO-B230	5	PAF2A-M2 GER	0.00	0.00	*		300	PAFONSO-B230	6	PAF2A-M3 GER	0.00	0.00		
200	PAFONSO-A230	7	PAF2B-M1 GER	2.68	0.00	*		200	PAFONSO-A230	8	PAF2B-M2 GER	2.73	0.00		
200	PAFONSO-A230	9	PAF2B-M3 GER	2.73	0.00	*		300	PAFONSO-B230	10	PAF3-M1 GER	3.24	0.00		
300	PAFONSO-B230	11	PAF3-M2 GER	3.24	0.00	*		200	PAFONSO-A230	12	PAF3-M3 GER	3.16	0.00		
200	PAFONSO-A230	13	PAF3-M4 GER	0.00	0.00	*		500	PAFONSO 500	14	PAF4-M1 GER	0.00	0.00		
500	PAFONSO 500	15	PAF4-M2 GER	0.47	0.00	*		500	PAFONSO 500	16	PAF4-M3 GER	0.47	0.00		
500	PAFONSO 500	17	PAF4-M4 GER	0.47	0.00	*		500	PAFONSO 500	18	PAF4-M5 GER	0.47	0.00		
500	PAFONSO 500	19	PAF4-M6 GER	0.47	0.00	*		500	SOBRADIN 500	21	SOBRAD-M1GER	0.00	0.00		
500	SOBRADIN 500	22	SOBRAD-M2GER	0.00	0.00	*		500	SOBRADIN 500	23	SOBRAD-M3GER	0.00	0.00		
500	SOBRADIN 500	24	SOBRAD-M4GER	0.00	0.00	*		500	SOBRADIN 500	25	SOBRAD-M5GER	0.00	0.00		
500	SOBRADIN 500	26	SOBRAD-M6GER	0.00	0.00	*		301	A.SALES-B230	28	ASALES-M1GER	6.41	0.00		
301	A.SALES-B230	29	ASALES-M2GER	0.00	0.00	*		301	A.SALES-B230	30	ASALES-M3GER	6.41	0.00		
301	A.SALES-B230	31	ASALES-M4GER	0.00	0.00	*		505	ITAPARICA500	33	ITAPA-M1 GER	0.00	0.00		
505	ITAPARICA500	34	ITAPA-M2 GER	0.00	0.00	*		505	ITAPARICA500	35	ITAPA-M3 GER	0.00	0.00		
505	ITAPARICA500	36	ITAPA-M4 GER	0.00	0.00	*		505	ITAPARICA500	37	ITAPA-M5 GER	0.00	0.00		
505	ITAPARICA500	38	ITAPA-M6 GER	0.00	0.00	*		229	BESPER-1 230	44	BESPE-M1 GER	4.28	0.17		
229	BESPER-1 230	45	BESPE-M2 GER	0.00	0.00	*		46	BESPE-M3 GER	229	BESPER-1 230	0.00	0.00		
47	BESPE-M4 GER	229	BESPER-1 230	0.00	0.00	*		597	TUCURUI 500	50	TUCUR-M1 GER	0.00	0.00		
597	TUCURUI 500	51	TUCUR-M2 GER	0.00	0.00	*		597	TUCURUI 500	52	TUCUR-M3 GER	0.00	0.00		
597	TUCURUI 500	53	TUCUR-M4 GER	0.00	0.00	*		597	TUCURUI 500	54	TUCUR-M5 GER	0.00	0.00		

--DA BARRA--		*--PARA BARRA--*		*--NORMAL--EMERG.--*		*--DA BARRA--*		*--PARA BARRA--*		*--NORMAL--EMERG.--*	
NUM.	NOME	NUM.	NOME			NUM.	NOME	NUM.	NOME		
597	TUCURUI 500	57	TUCUR-M8 GER	0.00	0.00 *	597	TUCURUI 500	58	TUCUR-M9 GER	0.00	0.00
597	TUCURUI 500	59	TUCUR-M10GER	0.00	0.00 *	597	TUCURUI 500	60	TUCUR-M11GER	0.00	0.00
176	FUNIL 115	63	FUNIL-1 GER	5.36	0.16N *	176	FUNIL 115	64	FUNIL-2 GER	5.36	0.16N
176	FUNIL 115	65	FUNIL-3 GER	5.36	0.16N *	75	TBONJI-1 013	443	BONJI-0A 000	0.00	0.00
76	TBONJI-2 013	443	BONJI-0A 000	0.00	0.00 *	77	TBONJI-3 013	453	BONJI-0B 000	0.00	0.00
78	TBONJI-4 013	453	BONJI-0B 000	0.00	0.00 *	79	TBONJI-5 013	463	BONJI-0C 000	0.00	0.00
80	TBON-FIC 013	463	BONJI-0C 000	100.00	100.00NE*	274	CAMACARI 230	81	TCAMAC-1 013	0.00	0.00
274	CAMACARI 230	82	TCAMAC-2 013	0.00	0.00 *	274	CAMACARI 230	83	TCAMAC-3 013	0.00	0.00
274	CAMACARI 230	84	TCAMAC-4 013	0.00	0.00 *	274	CAMACARI 230	85	TCAMAC-5 013	0.00	0.00
332	S.LUIS-2 230	87	TSLUIS-1 013	0.00	0.00 *	332	S.LUIS-2 230	88	TSLUIS-2 013	0.00	0.00
220	B.NOME 230	120	B.NOME 138	0.00	0.00 *	144	C.GRANDE 138	145	S.CRUIZ 138	100.00	0.00N
144	C.GRANDE 138	145	S.CRUIZ 138	100.00	0.00N *	144	C.GRANDE 138	400	CGRANDE00000	0.00	0.00
144	C.GRANDE 138	401	CGRANDE0A000	0.00	0.00 *	145	S.CRUIZ 138	153	C.NOVOIS 138	100.00	0.00N
145	S.CRUIZ 138	645	S.CRUIZ 069	0.00	0.00 *	151	ACU 138	152	S.MATOS 138	100.00	0.00N
151	ACU 138	251	ACU 230	0.00	0.00 *	152	S.MATOS 138	153	C.NOVOIS 138	100.00	0.00N
152	S.MATOS 138	1052	S.MATOS 013	0.00	0.00 *	153	C.NOVOIS 138	1053	C.NOVOIS 013	0.00	0.00
976	FUNIL 138	176	FUNIL 115	0.00	0.00 *	200	PAFONSO-A230	220	B.NOME 230	100.00	0.00N
200	PAFONSO-A230	220	B.NOME 230	100.00	0.00N *	200	PAFONSO-A230	221	MILAGRES 230	100.00	0.00N
200	PAFONSO-A230	240	ANGELIM 230	100.00	0.00N *	200	PAFONSO-A230	240	ANGELIM 230	100.00	0.00N
200	PAFONSO-A230	270	CDANTAS 230	100.00	0.00N *	200	PAFONSO-A230	271	ITABAIANA230	100.00	0.00N
200	PAFONSO-A230	500	PAFONSO 500	89.86	0.00N *	202	JUAZEIRO 230	206	SOBRADIN 230	100.00	0.00N
202	JUAZEIRO 230	206	SOBRADIN 230	100.00	0.00N *	202	JUAZEIRO 230	207	JAGUARARI230	100.00	0.00N
202	JUAZEIRO 230	207	JAGUARARI230	100.00	0.00N *	202	JUAZEIRO 230	602	JUAZEIRO 069	0.00	0.00
202	JUAZEIRO 230	602	JUAZEIRO 069	0.00	0.00 *	203	S.BONFIM 230	207	JAGUARARI230	100.00	0.00N
203	S.BONFIM 230	207	JAGUARARI230	100.00	0.00N *	203	S.BONFIM 230	283	IRECE 230	100.00	0.00N
203	S.BONFIM 230	703	S.BONFIM 069	0.00	0.00 *	203	S.BONFIM 230	703	S.BONFIM 069	0.00	0.00
206	SOBRADIN 230	506	SOBRADIN 500	0.00	0.00 *	219	TAUAPE 230	225	FORTALEZA230	100.00	0.00N
219	TAUAPE 230	225	FORTALEZA230	100.00	0.00N *	219	TAUAPE 230	619	TAUAPE 69	0.00	0.00
219	TAUAPE 230	619	TAUAPE 69	0.00	0.00 *	220	B.NOME 230	221	MILAGRES 230	100.00	0.00N
220	B.NOME 230	221	MILAGRES 230	100.00	0.00N *	220	B.NOME 230	221	MILAGRES 230	100.00	0.00N
220	B.NOME 230	300	PAFONSO-B230	100.00	0.00N *	220	B.NOME 230	620	B.NOME 069	0.00	0.00
220	B.NOME 230	620	B.NOME 069	0.00	0.00 *	221	MILAGRES 230	222	BANABUIU 230	100.00	0.00N
221	MILAGRES 230	222	BANABUIU 230	100.00	0.00N *	221	MILAGRES 230	222	BANABUIU 230	100.00	0.00N
221	MILAGRES 230	222	BANABUIU 230	100.00	0.00N *	221	MILAGRES 230	222	BANABUIU 230	100.00	0.00N
221	MILAGRES 230	233	CORENAS 230	100.00	0.00N *	221	MILAGRES 230	300	PAFONSO-B230	100.00	0.00N
221	MILAGRES 230	621	MILAGRES 069	0.00	0.00 *	221	MILAGRES 230	621	MILAGRES 069	0.00	0.00
222	BANABUIU 230	223	RUSSAS 230	100.00	0.00N *	222	BANABUIU 230	225	FORTALEZA230	100.00	0.00N
222	BANABUIU 230	225	FORTALEZA230	100.00	0.00N *	222	BANABUIU 230	225	FORTALEZA230	100.00	0.00N
222	BANABUIU 230	622	BANABUIU 069	0.00	0.00 *	222	BANABUIU 230	622	BANABUIU 069	0.00	0.00
223	RUSSAS 230	224	MOSSORO 230	100.00	0.00N *	223	RUSSAS 230	623	RUSSAS 069	0.00	0.00
223	RUSSAS 230	623	RUSSAS 069	0.00	0.00 *	224	MOSSORO 230	251	ACU 230	100.00	0.00N
224	MOSSORO 230	624	MOSSORO 069	0.00	0.00 *	224	MOSSORO 230	624	MOSSORO 069	0.00	0.00
225	FORTALEZA230	226	SOBRAL 230	100.00	0.00N *	225	FORTALEZA230	625	FORTALEZA069	0.00	0.00
225	FORTALEZA230	625	FORTALEZA069	0.00	0.00 *	225	FORTALEZA230	625	FORTALEZA069	0.00	0.00
225	FORTALEZA230	625	FORTALEZA069	0.00	0.00 *	226	SOBRAL 230	626	SOBRAL 069	0.00	0.00
226	SOBRAL 230	626	SOBRAL 069	0.00	0.00 *	227	PIRIPIRI 230	228	TERESINA 230	100.00	0.00N
227	PIRIPIRI 230	627	PIRIPIRI 069	0.00	0.00 *	227	PIRIPIRI 230	627	PIRIPIRI 069	0.00	0.00
228	TERESINA 230	329	BESPER-2 230	100.00	0.00N *	228	TERESINA 230	329	BESPER-2 230	100.00	0.00N
228	TERESINA 230	628	TERES-AD 069	0.00	0.00 *	228	TERESINA 230	628	TERES-AD 069	0.00	0.00
228	TERESINA 230	728	TERESINA 069	0.00	0.00 *	228	TERESINA 230	728	TERESINA 069	0.00	0.00
229	BESPER-1 230	329	BESPER-2 230	99.83	0.00N *	229	BESPER-1 230	629	BESPER-1 069	0.00	0.00
230	PERITORO 230	231	MIRANDA 230	100.00	0.00N *	230	PERITORO 230	630	PERITORO 069	0.00	0.00

--DA BARRA--		*--PARA BARRA--*		*--NORMAL--EMERG.--*		*--DA BARRA--*		*--PARA BARRA--*		*--NORMAL--EMERG.--*	
NUM.	NOME	NUM.	NOME			NUM.	NOME	NUM.	NOME		
230	PERITORO 230	630	PERITORO 069	0.00	0.00 *	230	PERITORO 230	1030	PERITORO 013	0.00	0.00
230	PERITORO 230	1030	PERITORO 013	0.00	0.00 *	231	MIRANDA 230	332	S.LUIS-2 230	100.00	0.00N
231	MIRANDA 230	631	MIRANDA 069	0.00	0.00 *	231	MIRANDA 230	631	MIRANDA 069	0.00	0.00
232	S.LUIS-1 230	332	S.LUIS-2 230	100.00	0.00N *	232	S.LUIS-1 230	332	S.LUIS-2 230	100.00	0.00N
232	S.LUIS-1 230	732	S.LUIS-1 069	0.00	0.00 *	232	S.LUIS-1 230	732	S.LUIS-1 069	0.00	0.00
232	S.LUIS-1 230	732	S.LUIS-1 069	0.00	0.00 *	233	COREMAS 230	633	COREMAS 069	0.00	0.00
233	COREMAS 230	633	COREMAS 069	0.00	0.00 *	237	S.J.PIAUI230	537	S.J.PIAUI500	0.00	0.00
237	S.J.PIAUI230	637	S.J.PIAUI069	0.00	0.00 *	238	P.DUTRA 230	538	P.DUTRA 500	0.00	0.00
238	P.DUTRA 230	638	P.DUTRA 069	0.00	0.00 *	238	P.DUTRA 230	638	P.DUTRA 069	0.00	0.00
238	P.DUTRA 230	1038	PDUTRA-A 013	0.00	0.00 *	238	P.DUTRA 230	1038	PDUTRA-A 013	0.00	0.00
239	IMPERAT 230	539	IMPERAT 500	0.00	0.00 *	239	IMPERAT 230	639	IMPERAT 069	0.00	0.00
239	IMPERAT 230	639	IMPERAT 069	0.00	0.00 *	239	IMPERAT 230	1039	IMPERA-A 013	0.00	0.00
239	IMPERAT 230	1039	IMPERA-A 013	0.00	0.00 *	239	IMPERAT 230	1139	IMPERA-B 013	0.00	0.00
240	ANGELIM 230	241	RECIFE 230	100.00	0.00N *	240	ANGELIM 230	242	R.LARGO 230	100.00	0.00N
240	ANGELIM 230	242	R.LARGO 230	100.00	0.00N *	240	ANGELIM 230	242	R.LARGO 230	100.00	0.00N
240	ANGELIM 230	252	RIBEIRAO 230	100.00	0.00N *	240	ANGELIM 230	252	RIBEIRAO 230	100.00	0.00
240	ANGELIM 230	255	TACAIMBO 230	100.00	0.00N *	240	ANGELIM 230	255	TACAIMBO 230	100.00	0.00
240	ANGELIM 230	300	PAFONGO-B230	100.00	0.00N *	240	ANGELIM 230	300	PAFONGO-B230	100.00	0.00
240	ANGELIM 230	640	ANGELIM 069	0.00	0.00 *	240	ANGELIM 230	640	ANGELIM 069	0.00	0.00
240	ANGELIM 230	640	ANGELIM 069	0.00	0.00 *	241	RECIFE 230	243	BONJI 230	100.00	0.00
241	RECIFE 230	243	BONJI 230	100.00	0.00N *	241	RECIFE 230	243	BONJI 230	100.00	0.00
241	RECIFE 230	247	GOIANINHA230	100.00	0.00N *	241	RECIFE 230	247	GOIANINHA230	100.00	0.00
241	RECIFE 230	249	PIRAPAMA 230	100.00	0.00N *	241	RECIFE 230	249	PIRAPAMA 230	100.00	0.00
241	RECIFE 230	250	MIRUEIRA 230	100.00	0.00N *	241	RECIFE 230	250	MIRUEIRA 230	100.00	0.00
241	RECIFE 230	250	MIRUEIRA 230	100.00	0.00N *	241	RECIFE 230	252	RIBEIRAO 230	100.00	0.00
241	RECIFE 230	252	RIBEIRAO 230	100.00	0.00N *	241	RECIFE 230	541	RECIFE 500	0.00	0.00
241	RECIFE 230	541	RECIFE 500	0.00	0.00 *	241	RECIFE 230	541	RECIFE 500	0.00	0.00
241	RECIFE 230	1041	RECIFE 013	0.00	0.00 *	241	RECIFE 230	1041	RECIFE 013	0.00	0.00
242	R.LARGO 230	642	R.LARGO 069	0.00	0.00 *	242	R.LARGO 230	642	R.LARGO 069	0.00	0.00
242	R.LARGO 230	642	R.LARGO 069	0.00	0.00 *	243	BONJI 230	443	BONJI-0A 000	0.00	0.00
243	BONJI 230	453	BONJI-0B 000	0.00	0.00 *	243	BONJI 230	463	BONJI-0C 000	0.00	0.00
243	BONJI 230	643	BONJI 069	66.90	0.00N *	243	BONJI 230	643	BONJI 069	66.90	0.00
243	BONJI 230	643	BONJI 069	0.26	0.00 *	243	BONJI 230	1143	BONJI-A 013	0.00	0.00
243	BONJI 230	1243	BONJI-B 013	0.00	0.00 *	244	C.GRANDE 230	246	NATAL 230	100.00	0.00
244	C.GRANDE 230	246	NATAL 230	100.00	0.00N *	244	C.GRANDE 230	247	GOIANINHA230	100.00	0.00
244	C.GRANDE 230	255	TACAIMBO 230	100.00	0.00N *	244	C.GRANDE 230	255	TACAIMBO 230	100.00	0.00
244	C.GRANDE 230	400	CGRANDE000000	0.00	0.00 *	244	C.GRANDE 230	401	CGRANDE0A000	0.00	0.00
244	C.GRANDE 230	644	C.GRANDE 069	0.00	0.00 *	244	C.GRANDE 230	644	C.GRANDE 069	0.00	0.00
246	NATAL 230	646	NATAL 069	0.00	0.00 *	246	NATAL 230	646	NATAL 069	0.00	0.00
246	NATAL 230	646	NATAL 069	0.00	0.00 *	247	GOIANINHA230	248	MUSSURE 230	100.00	0.00
247	GOIANINHA230	248	MUSSURE 230	100.00	0.00N *	247	GOIANINHA230	647	GOIANINHA069	0.00	0.00
247	GOIANINHA230	647	GOIANINHA069	0.00	0.00 *	248	MUSSURE 230	648	MUSSURE 069	0.00	0.00
248	MUSSURE 230	648	MUSSURE 069	0.00	0.00 *	248	MUSSURE 230	648	MUSSURE 069	0.00	0.00
249	PIRAPAMA 230	649	PIRAPAMA 069	0.00	0.00 *	249	PIRAPAMA 230	649	PIRAPAMA 069	0.00	0.00
249	PIRAPAMA 230	649	PIRAPAMA 069	0.00	0.00 *	250	MIRUEIRA 230	650	MIRUEIRA 069	0.39	0.00
250	MIRUEIRA 230	650	MIRUEIRA 069	0.39	0.00 *	250	MIRUEIRA 230	650	MIRUEIRA 069	0.39	0.00
251	ACU 230	651	ACU 069	0.00	0.00 *	251	ACU 230	651	ACU 069	0.00	0.00
252	RIBEIRAO 230	752	RIBEIRAO 069	0.00	0.00 *	252	RIBEIRAO 230	752	RIBEIRAO 069	0.00	0.00
255	TACAIMBO 230	655	TACAIMBO 069	0.00	0.00 *	255	TACAIMBO 230	655	TACAIMBO 069	0.00	0.00
267	CANDEIAS 230	274	CANADARI 230	100.00	0.00N *	267	CANDEIAS 230	280	JACARACAN230	100.00	0.00N
270	CDANTAS 230	272	CATU 230	100.00	0.00N *	270	CDANTAS 230	272	CATU 230	100.00	0.00N
270	CDANTAS 230	300	PAFONGO-B230	100.00	0.00N *	270	CDANTAS 230	670	CDANTAS 069	0.00	0.00

--DA BARRA--		*--PARA BARRA--*		*--NORMAL--EMERG.--*		*--DA BARRA--*		*--PARA BARRA--*		*--NORMAL--EMERG.--*	
NUM.	NOME	NUM.	NOME			NUM.	NOME	NUM.	NOME		
271	ITABAIANA230	272	CATU 230	100.00	0.00N *	271	ITABAIANA230	273	JARDIM 230	100.00	0.00N
271	ITABAIANA230	273	JARDIM 230	100.00	0.00N *	271	ITABAIANA230	300	PAFONSO-B230	100.00	0.00N
271	ITABAIANA230	300	PAFONSO-B230	100.00	0.00N *	271	ITABAIANA230	671	ITABAIANA069	0.00	0.00
271	ITABAIANA230	671	ITABAIANA069	0.00	0.00 *	272	CATU 230	274	CAMACARI 230	100.00	0.00N
272	CATU 230	274	CAMACARI 230	100.00	0.00N *	272	CATU 230	275	GMANGAB 230	100.00	0.00N
272	CATU 230	700	CATU FIC 000	0.00	0.00 *	272	CATU 230	700	CATU FIC 000	0.00	0.00
273	JARDIM 230	673	JARDIM 069	0.00	0.00 *	273	JARDIM 230	673	JARDIM 069	0.00	0.00
273	JARDIM 230	673	JARDIM 069	0.00	0.00 *	274	CAMACARI 230	275	GMANGAB 230	100.00	0.00N
274	CAMACARI 230	276	FUNIL 230	100.00	0.00N *	274	CAMACARI 230	277	MATATU 230	100.00	0.00N
274	CAMACARI 230	279	COTEGIPE 230	100.00	0.00N *	274	CAMACARI 230	280	JACARACAN230	100.00	0.00N
274	CAMACARI 230	280	JACARACAN230	100.00	0.00N *	274	CAMACARI 230	574	CAMACARI 500	0.00	0.00
274	CAMACARI 230	574	CAMACARI 500	0.00	0.00 *	274	CAMACARI 230	574	CAMACARI 500	0.00	0.00
274	CAMACARI 230	674	CAMACARI 069	0.00	0.00 *	274	CAMACARI 230	674	CAMACARI 069	0.00	0.00
274	CAMACARI 230	1074	CAMACARI 013	0.00	0.00 *	274	CAMACARI 230	1074	CAMACARI 013	0.00	0.00
274	CAMACARI 230	1174	TCAM A-B 013	0.00	0.00 *	274	CAMACARI 230	1274	TCAM C-D 013	0.00	0.00
274	CAMACARI 230	1374	TCAM E-F 013	0.00	0.00 *	275	GMANGAB 230	276	FUNIL 230	100.00	0.00N
275	GMANGAB 230	276	FUNIL 230	100.00	0.00N *	275	GMANGAB 230	675	GMANGAB 069	0.00	0.00
275	GMANGAB 230	675	GMANGAB 069	0.00	0.00 *	276	FUNIL 230	976	FUNIL 138	0.00	0.00
276	FUNIL 230	976	FUNIL 138	0.00	0.00 *	276	FUNIL 230	976	FUNIL 138	0.00	0.00
277	MATATU 230	278	PITUACU 230	100.00	0.00N *	277	MATATU 230	677	MATATU 069	0.00	0.00
277	MATATU 230	677	MATATU 069	0.00	0.00 *	277	MATATU 230	1077	MATATU-A 011	0.00	0.00
277	MATATU 230	1177	MATATU-B 011	0.00	0.00 *	278	PITUACU 230	279	COTEGIPE 230	100.00	0.00N
278	PITUACU 230	678	PITUACU 069	0.00	0.00 *	278	PITUACU 230	678	PITUACU 069	0.00	0.00
279	COTEGIPE 230	280	JACARACAN230	100.00	0.00N *	279	COTEGIPE 230	679	COTEGIPE 069	0.00	0.00
279	COTEGIPE 230	679	COTEGIPE 069	0.00	0.00 *	280	JACARACAN230	680	JACARACAN069	0.00	0.00
280	JACARACAN230	680	JACARACAN069	0.00	0.00 *	283	IRECE 230	285	B.J.LAPA 230	100.00	0.00N
283	IRECE 230	1083	IRECE 013	0.00	0.00 *	283	IRECE 230	1083	IRECE 013	0.00	0.00
285	B.J.LAPA 230	685	B.J.LAPA 069	0.00	0.00 *	285	B.J.LAPA 230	685	B.J.LAPA 069	0.00	0.00
298	V.CONDE 230	598	V.CONDE 500	0.00	0.00 *	298	V.CONDE 230	598	V.CONDE 500	0.00	0.00
298	V.CONDE 230	1198	V.CONDE 013	0.00	0.00 *	298	V.CONDE 230	1198	V.CONDE 013	0.00	0.00
299	MARABA 230	599	MARABA 500	0.00	0.00 *	299	MARABA 230	1199	MARABA 013	0.00	0.00
300	PAFONSO-B230	301	A.SALES-B230	100.00	0.00N *	300	PAFONSO-B230	301	A.SALES-B230	100.00	0.00N
300	PAFONSO-B230	500	PAFONSO 500	6.32	0.00N *	301	A.SALES-B230	605	ZEBU 069	0.00	0.00
301	A.SALES-B230	605	ZEBU 069	0.00	0.00 *	329	BESPER-2 230	529	BESPER-2 500	0.00	0.00
332	S.LUIS-2 230	532	S.LUIS-2 500	0.00	0.00 *	332	S.LUIS-2 230	532	S.LUIS-2 500	0.00	0.00
332	S.LUIS-2 230	532	S.LUIS-2 500	0.00	0.00 *	400	CGRANDE03000	1044	CGRAND-A 013	0.00	0.00
401	CGRANDE0A000	1144	CGRAND-B 013	0.00	0.00 *	438	PDUTRA-F1500	439	IMPERA-F1500	100.00	0.00N
438	PDUTRA-F1500	439	IMPERA-F1500	100.00	0.00N *	438	PDUTRA-F1500	538	P.DUTRA 500	100.00	0.00N
438	PDUTRA-F1500	538	P.DUTRA 500	100.00	0.00N *	439	IMPERA-F1500	539	IMPERAT 500	100.00	0.00N
439	IMPERA-F1500	539	IMPERAT 500	100.00	0.00N *	499	MARABA-F1500	597	TUCURUI 500	100.00	0.00N
499	MARABA-F1500	597	TUCURUI 500	100.00	0.00N *	499	MARABA-F1500	599	MARABA 500	100.00	0.00N
499	MARABA-F1500	599	MARABA 500	100.00	0.00N *	500	PAFONSO 500	505	ITAPARICA500	100.00	0.00N
500	PAFONSO 500	540	ANGELIM 500	100.00	0.00N *	500	PAFONSO 500	582	OLINDINA 500	100.00	0.00N
505	ITAPARICA500	540	ANGELIM 500	100.00	0.00N *	505	ITAPARICA500	582	OLINDINA 500	100.00	0.00N
505	ITAPARICA500	540	ANGELIM 500	100.00	0.00N *	505	ITAPARICA500	582	OLINDINA 500	100.00	0.00N
506	SOBRADIN 500	537	S.J.PIAUI500	100.00	0.00N *	529	BESPER-2 500	537	S.J.PIAUI500	100.00	0.00N
529	BESPER-2 500	538	P.DUTRA 500	100.00	0.00N *	532	S.LUIS-2 500	538	P.DUTRA 500	100.00	0.00N
532	S.LUIS-2 500	538	P.DUTRA 500	100.00	0.00N *	539	IMPERAT 500	599	MARABA 500	100.00	0.00N
539	IMPERAT 500	599	MARABA 500	100.00	0.00N *	540	ANGELIM 500	541	RECIFE 500	100.00	0.00N
540	ANGELIM 500	541	RECIFE 500	100.00	0.00N *	574	CAMACARI 500	582	OLINDINA 500	100.00	0.00N
574	CAMACARI 500	582	OLINDINA 500	100.00	0.00N *	597	TUCURUI 500	598	V.CONDE 500	100.00	0.00N
597	TUCURUI 500	598	V.CONDE 500	100.00	0.00N *	619	TAUAPE 69	625	FORTALEZA069	99.94	0.00N

*---DA BARRA---		*---PARA BARRA---		*---NORMAL---		*---EMERG.---		*---DA BARRA---		*---PARA BARRA---		*---NORMAL---		*---EMERG.---	
NUM.	NOME	NUM.	NOME					NUM.	NOME	NUM.	NOME				
619	TAUAPE 69	625	FORTALEZA069	99.94	0.00N	*		621	MILAGRES 069	1021	MILAGR-A 013	0.00	0.00		
621	MILAGRES 069	1121	MILAGR-B 013	0.00	0.00	*		624	MOSSORO 069	1024	MOSSORO 013	0.00	0.00		
625	FORTALEZA069	1025	FORTAL-A 013	0.00	0.00	*		625	FORTALEZA069	1125	FORTAL-B 013	0.00	0.00		
625	FORTALEZA069	1225	FORTAL-C 013	0.00	0.00	*		626	SOBRAL 069	1026	SOBRAL-A 013	0.00	0.00		
627	PIRIPIRI 069	1027	PIRIPIRI 013	0.17	0.00	*		628	TERES-AB 069	1028	TERESINA 013	0.00	0.00		
628	TERES-AB 069	1028	TERESINA 013	0.00	0.00	*		629	BESPER-1 069	1029	BESPER-1 013	0.00	0.00		
631	MIRANDA 069	1031	MIRANDA 013	0.00	0.00	*		631	MIRANDA 069	1031	MIRANDA 013	0.00	0.00		
633	COREMAS 069	1033	COREMAS 013	0.00	0.00	*		633	COREMAS 069	1033	COREMAS 013	0.00	0.00		
643	BONJI 069	1043	BONJI 013	0.00	0.00	*		643	BONJI 069	1443	BONJI-TIP013	0.00	0.00		
647	GOIANINHA069	1047	GOIANI-A 013	0.00	0.00	*		647	GOIANINHA069	1147	GOIANI-B 013	0.00	0.00		
651	ACU 069	1051	ACU 013	0.00	0.00	*		652	S.MATOS 069	1052	S.MATOS 013	0.00	0.00		
653	C.NOVO5 069	1053	C.NOVO5 013	0.00	0.00	*		672	CATU 069	679	COTEGIPE 069	100.00	0.00N		
672	CATU 069	679	COTEGIPE 069	100.00	0.00N	*		672	CATU 069	700	CATU FIC 000	0.00	0.00		
672	CATU 069	700	CATU FIC 000	0.00	0.00	*		675	GMANGAB 069	1075	GMANGAB-A 013	0.00	0.00		
675	GMANGAB 069	1175	GMANGAB-B 013	0.00	0.00	*		677	MATATU 069	678	PITUACU 069	100.00	0.00N		
677	MATATU 069	678	PITUACU 069	100.00	0.00N	*		677	MATATU 069	1277	MATATU-C 011	0.00	0.00		
679	COTEGIPE 069	1079	COTEGIPEA013	0.00	0.00	*		679	COTEGIPE 069	1179	COTEGIPEB013	0.00	0.00		
1083	IRECE 013	683	IRECE 069	1.75	0.00	*		1083	IRECE 013	683	IRECE 069	0.06	0.00		
685	B.J.LAPA 069	1085	B.J.LAPA 013	0.00	0.00	*		700	CATU FIC 000	1072	CATU-A 013	0.00	0.00		
700	CATU FIC 000	1172	CATU-B 013	0.00	0.00	*		976	FUNIL 138	1076	FUNIL 013	0.00	0.00		
976	FUNIL 138	1076	FUNIL 013	0.00	0.00	*									