



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS – CTG

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA – PPGE

**AVALIAÇÃO DE ALGORITMOS PARA LOCALIZAÇÃO
DE FALTAS EM REDES ELÉTRICAS**

POR

ERON DE OLIVEIRA BARRETO

RECIFE – PE

2003

ERON DE OLIVEIRA BARRETO

**AVALIAÇÃO DE ALGORITMOS PARA LOCALIZAÇÃO
DE FALTAS EM REDES ELÉTRICAS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco,
em cumprimento às exigências para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Elétrica

Prof. Manoel Afonso de Carvalho Júnior, Ph.D, UFPE

Orientador

RECIFE – PE

2003



Universidade Federal de Pernambuco
Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONALIZANTE DE

ERON DE OLIVEIRA BARRETO

TÍTULO

**“AVALIAÇÃO DE ALGORITMOS PARA LOCALIZAÇÃO DE
FALTAS EM REDES ELÉTRICAS”**

A comissão examinadora composta pelos professores:
MANOEL AFONSO DE CARVALHO JÚNIOR, DEESP/UFPE,
GERALDO LEITE TORRES, DEESP/UFPE E BENEMAR ALENCAR
DE SOUZA, DEE/UFPB, sob a presidência do primeiro, consideram o
candidato **ERON DE OLIVEIRA BARRETO APROVADO**

Recife, 30 de setembro de 2003.


MANOEL AFONSO DE CARVALHO JÚNIOR


GERALDO LEITE TORRES


BENEMAR ALENCAR DE SOUZA

**Avaliação De Algoritmos Para
Localização
De Faltas Em Redes Elétricas**

DEDICATÓRIA

**Dedico essa dissertação aos
meus inesquecíveis pais
Francisco Sales de Oliveira e
Odiza Barreto de Oliveira
*In memoriam***

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus filhos Eduardo, Ricardo, Gabriela e Marcela que me fortaleceram nesses 24 anos de convivência e em quem busquei motivação para desenvolver esse projeto de dissertação.

Aos meus irmãos, Lourdes, Zequinha, Renilde, Marquinhos e Janete, que conseguem manter a união de nossa família, sempre incentivadora de iniciativas na busca de um maior desenvolvimento educacional, ideal maior de nossos pais.

Aos colegas da turma de mestrado PRODESPO-UFPE-CHESF-ELETROBRÁS pela perseverança e força de vontade para chegarmos juntos até o fim da caminhada, num clima de muita harmonia e companheirismo.

Agradeço à CHESF por ter acreditado nesse projeto e oferecido as condições necessárias para desenvolvermos nossas atividades, conjuntamente com o mestrado. Em particular cito os colegas Danilo Marques e Maria José, representantes das Diretorias de Operação e Administrativa que contribuíram decisivamente para que o objetivo final fosse alcançado.

Agradeço ainda aos professores do curso de mestrado da UFPE, em especial ao Professor Manoel Afonso de Carvalho Júnior, que de forma incansável e obstinada se manteve à frente da coordenação do curso, e que muito me honrou ao aceitar orientar minha dissertação.

Agradeço finalmente aos meus colegas de trabalho, em especial Jocílio, Iony, Herivelton e Sandra, e aos colaboradores finais, Ana Cristina e Edileusa Anália, em quem me inspiro para reverenciar todos aqueles que sempre me encorajaram a continuar, nos momentos em que parar seria a opção.

Eron de Oliveira Barreto

RESUMO

O novo modelo do setor elétrico e os padrões de exigência da sociedade atual exigem, cada vez mais, a prestação de um serviço eficaz por parte das empresas transmissoras de energia elétrica, que têm na disponibilidade das suas linhas de transmissão a razão de ser do seu negócio. Nesse sentido, a recolocação imediata em operação de uma linha de transmissão, que foi desconectada da rede elétrica em função de uma falta, é de fundamental importância.

Dentro desse enfoque, e considerando a existência de uma rede de oscilografia digital moderna, instalada na quase totalidade da rede elétrica da CHESF, nesse trabalho procuramos identificar e avaliar os principais algoritmos passíveis de serem usados para identificação do local exato da falta, de forma a reduzir o tempo de recomposição do defeito, e conseqüentemente, a disponibilidade da rede elétrica.

Direcionamos a análise para os algoritmos baseados em fasores, procurando avaliar tanto aqueles que utilizam dados de um como de dois terminais, sendo abordadas para esses últimos, as duas variantes possíveis, ou seja, com amostras sincronizadas e com amostras assíncronas. Para permitir um mínimo de entendimento de cada um desses algoritmos, apresentamos um sumário de sua formulação com considerações sobre seus pontos fortes ou deficiências.

Para avaliação dos algoritmos, realizamos inicialmente simulações em ATP (Alternative Transient Program), numa linha de transmissão do sistema CHESF, sendo os fasores de tensão e corrente coletados e aplicados para comparação. Esse processo é finalizado com a avaliação de um caso real, obtido a partir da rede de oscilografia da CHESF, onde pudemos comprovar as principais observações emanadas das simulações em ATP.

ABSTRACT

The new model of the electric sector and the standards of demand of the present society require, more and more, the rendering of an effective service on the part of the electric energy transmission companies, which have in the availability of their transmission lines, the core of their business. In this sense, it is of the utmost importance that a transmission line which was disconnected from the electric network, due to a fault, be immediately placed back into work.

Within this approach, and considering the existence of a modern digital oscillographic network, installed in almost the total of CHESF's electric network, in this work we tried to identify and evaluate the main algorithms which may be used for the identification of the fault's exact place, so that we may reduce the defect's recomposition time, and consequently, the electric network's availability.

We have directed the analysis for the algorithms based on phasers, trying to evaluate those which utilize data from one, as well as from two terminals, approaching for the latter ones, the two possible variants, i. e. with synchronized and asynchronized samples. In order to allow for a minimum understanding of each one of these algorithms, we present a summary of their formulation with considerations regarding their strong points or deficiencies.

For the evaluation of the algorithms, we initially accomplished simulations in ATP (Alternative Transient Program), in one of CHESF's transmission lines, with the voltage and current phasers being used for comparison. This process is finalized with the appraisal of a real case, obtained from CHESF's oscillography network, where we could prove the main observations resulting from the ATP simulations.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	v
AGRADECIMENTOS.....	vi
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
SUMÁRIO.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xiv
LISTA DE FIGURAS.....	xv
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xix
GLOSSÁRIO.....	xx
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. A importância da continuidade do fornecimento de energia.....	1
1.2. Características da manutenção nas linhas de transmissão.....	3
1.3. Necessidade e evolução dos localizadores de falta.....	7
1.4. Histórico e motivação para o trabalho.....	9
1.5. Organização do trabalho.....	11

2. UMA REDE DE OSCIOGRAFIA.....	13
2.1. Introdução.....	13
2.2. Requisitos básicos.....	15
2.3. A rede de oscilografia CHESF.....	17
2.4. O sistema de gerenciamento da rede.....	19
2.5. O formato COMTRADE.....	21
3. ALGORITMOS PARA LOCALIZAÇÃO DE FALTAS.....	23
3.1. Introdução.....	23
3.2. Algoritmos baseados em fasores com dados de um terminal.....	26
3.2.1. Algoritmo de Takagi.....	27
3.2.2. Algoritmo de wiszniewski.....	31
3.2.2.1. Modelo monofásico.....	31
3.2.2.2. Adaptação para circuitos trifásicos.....	34
3.2.2.3. Considerações sobre a precisão do algoritmo.....	36
3.2.3. Algoritmos simplificados.....	37
3.2.3.1. Algoritmos da impedância vista pelo relé.....	38
3.2.3.2. Algoritmos utilizados no SISREP.....	39
3.3. Algoritmos baseados em fasores com dados de dois terminais.....	44
3.3.1. Algoritmos com amostras sincronizadas	45
3.3.1.1. Algoritmos baseados nas grandezas de seqüência.....	46
3.3.1.2. Algoritmos baseados nas grandezas de fase.....	48
3.3.1.3. Algoritmo baseado em grandezas modais.....	50

3.3.2. Algoritmos com amostras assíncronas.....	53
3.3.2.1. Algoritmos baseados nas grandezas de seqüência.....	53
3.3.2.2. Algoritmos baseados nas grandezas de fase.....	55
3.3.3. Algoritmo de Sachdev.....	56
3.3.3.1. Estimativa para faltas monofásicas.....	56
3.3.3.2. Estimativa para faltas bifásicas.....	58
3.4. Outros algoritmos.....	60
3.5. Considerações sobre o desempenho de um algoritmo.....	61
4. DESEMPENHO DOS ALGORITMOS.....	63
4.1. Introdução.....	63
4.2. Desempenho do algoritmo de takagi.....	66
4.3. Desempenho do algoritmo de wiszniewski.....	70
4.4. Desempenho do algoritmo da impedância vista pelo relé.....	73
4.5. Desempenho dos algoritmos utilizados no SISREP.....	74
4.6. Desempenho dos algoritmos sincronizados baseados nas grandezas de seqüência	88
4.6.1. Seqüência zero	89
4.6.2. Seqüência negativa	92
4.6.3. Seqüência positiva	95
4.6.4. Combinação de todas as seqüências critério erro mínimo quadrático.....	98
4.7. Desempenho dos algoritmos sincronizados baseados nas grandezas de fase.....	99
4.8. Desempenho dos algoritmos sincronizados baseados nas grandezas modais.....	103

4.9. Desempenho dos algoritmos com amostras assíncronas baseados nas grandezas de seqüência.....	109
4.9.1. Seqüência zero	110
4.9.2. Seqüência negativa	113
4.9.3. Seqüência positiva	116
4.10. Desempenho dos algoritmos com amostras assíncronas baseados nas grandezas de fase.....	119
4.11. Desempenho do algoritmo de Sachdev.....	122
4.12. Desempenho dos algoritmos para um caso real.....	124
5. CONCLUSÕES.....	129
5.1. Introdução.....	129
5.2. Considerações sobre os resultados obtidos.....	130
5.3. Considerações e proposições finais.....	134
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	135
7. ANEXOS.....	137
7.1. Anexo 1 – Arquivo de entrada do ATP.....	138
7.2. Anexo 2 – Componentes fundamentais de saída – simulações monofásicas.....	141
7.3. Anexo 3 – Componentes fundamentais de saída – simulações bifásicas.....	154
7.4. Anexo 4 – Programa em Matlab para simulação monofásica dos algoritmos....	167
7.5. Anexo 5 – Programa em Matlab para simulação bifásica dos algoritmos.....	177
7.6. Anexo 6 – Componentes fundamentais de saída – Caso real.....	183

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Características básicas do sistema de transmissão da CHESF	2
Tabela 1.2 – Características da LT 04C1 Tacaimbó-Campina Grande	4
Tabela 2.1 – Rede de Oscilografia da CHESF	8
Tabela 4.1 – Distância indicada por cada algoritmo em função do tempo e local da medição, para uma simulação real na linha de transmissão.....	127
Tabela 5.1 – Erro médio produzido por cada um dos algoritmos, para os diferentes tipos de defeitos e fontes terminais	131

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Arquitetura do GERCOM da CHESF.....	20
Figura 3.1 – Representação simplificada de uma linha de transmissão monofásica entre os terminais S e R, submetida a uma falta em F.....	26
Figura 3.2a – Circuito pré-falta Takagi	27
Figura 3.2b – Circuito puro de falta Takagi.....	27
Figura 3.3a – Circuito pré-falta Wiszniewski.....	31
Figura 3.3b – Circuito pré-falta Wiszniewski.....	32
Figura 3.3c – Circuito puro de falta Wiszniewski.....	32
Figura 3.4a – Curto bifásico – Wiszniewski.....	34
Figura 3.4b – Curto monofásico – Wiszniewski.....	35
Figura 3.5 – Sistema monofásico sob falta.....	50
Figura 4.1 – Representação simplificada do sistema utilizado para as simulações.....	63
Figura 4.2 – Desempenho do algoritmo de Takagi – simulação monofásica.....	67
Figura 4.3 – Desempenho do algoritmo de Takagi – simulação bifásica.....	68
Figura 4.4 – Desempenho do algoritmo de Takagi versão corrigida simulação Monofásica.....	69
Figura 4.5 – Desempenho do algoritmo de Takagi versão simplificadas imulação Monofásica.....	70
Figura 4.6 – Desempenho do algoritmo de Wiszniewski – simulação monofásica.....	71
Figura 4.7 – Desempenho do algoritmo de Wiszniewski – simulação bifásica.....	72
Figura 4.8 – Desempenho do algoritmo da impedância vista pelo relé simulações monofásicas.....	73
Figura 4.9 – Desempenho do algoritmo da impedância vista pelo relé simulações monofásicas.....	74
Figura 4.10 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 1 – monofásico, com efeito da corrente de carga.....	75
Figura 4.11 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 1 – monofásico, sem efeito da corrente de carga.....	76
Figura 4.12 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 2 – monofásico, com efeito da corrente de carga.....	77
Figura 4.13 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 2 – monofásico, sem efeito da corrente de carga.....	78

Figura 4.14 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 3 – monofásico, sem efeito da corrente de carga.....	79
Figura 4.15 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 3 – monofásico, com efeito da corrente de carga.....	80
Figura 4.16 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 4 – monofásico, com efeito da corrente de carga.....	81
Figura 4.17 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 4 – monofásico, sem efeito da corrente de carga.....	81
Figura 4.18 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 1 – bifásico, sem efeito da corrente de carga.....	82
Figura 4.19 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 1 – bifásico, com efeito da corrente de carga.....	83
Figura 4.20 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 2 – bifásico, com efeito da corrente de carga.....	84
Figura 4.21 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 2 – bifásico, sem efeito da corrente de carga.....	85
Figura 4.22 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 3 – bifásico, com efeito da corrente de carga.....	86
Figura 4.23 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 3 – bifásico, sem efeito da corrente de carga.....	86
Figura 4.24 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 4 – bifásico, com efeito da corrente de carga.....	87
Figura 4.25 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 4 – bifásico, sem efeito da corrente de carga.....	88
Figura 4.26 – Desempenho do algoritmo seqüência zero, sincronizado, parte real simulação monofásica.....	89
Figura 4.27 – Desempenho do algoritmo seqüência zero, sincronizado, parte imaginária simulação monofásica.....	90
Figura 4.28 – Desempenho do algoritmo seqüência zero, sincronizado, parte real simulação bifásica.....	91
Figura 4.29 – Desempenho do algoritmo seqüência zero, sincronizado, parte imaginária simulação bifásica.....	91
Figura 4.30 – Desempenho do algoritmo seqüência negativa, sincronizado, parte real simulação monofásica.....	92
Figura 4.31 – Desempenho do algoritmo seqüência negativa, sincronizado, parte imaginária – simulação monofásica.....	93
Figura 4.32 – Desempenho do algoritmo seqüência negativa, sincronizado, parte real simulação bifásica.....	94
Figura 4.33 – Desempenho do algoritmo seqüência negativa, sincronizado, parte Imaginária - simulação bifásica.....	94
Figura 4.34 – Desempenho do algoritmo seqüência positiva, sincronizado, parte real simulação monofásica.....	95

Figura 4.35 – Desempenho do algoritmo seqüência positiva, sincronizado, parte imaginária – simulação monofásica.....	96
Figura 4.36 – Desempenho do algoritmo seqüência positiva, sincronizado, parte real simulação bifásica.....	97
Figura 4.37 – Desempenho do algoritmo seqüência positiva, sincronizado, parte imaginária - simulação bifásica.....	97
Figura 4.38 – Desempenho dos algoritmos de seqüência , sincronizado, critério Erro Mínimo Quadrático – simulação monofásica.....	98
Figura 4.39 – Desempenho dos algoritmos de seqüência , sincronizado, critério Erro Mínimo Quadrático – simulação bifásica.....	99
Figura 4.40 – Desempenho do algoritmo de fase, sincronizado, parte real simulação monofásica.....	100
Figura 4.41 – Desempenho do algoritmo de fase, sincronizado, parte imaginária simulação monofásica.....	101
Figura 4.42 – Desempenho do algoritmo de fase, sincronizado, parte real simulação bifásica.....	102
Figura 4.43 – Desempenho do algoritmo de fase, sincronizado, parte imaginária simulação bifásica.....	102
Figura 4.44 – Desempenho do algoritmo modo 1 – monofásico.....	103
Figura 4.45 – Desempenho do algoritmo modo 2 – monofásico.....	104
Figura 4.46 – Desempenho do algoritmo modo 3 – monofásico.....	105
Figura 4.47 – Desempenho do algoritmo modo 3 – bifásico.....	106
Figura 4.48 – Desempenho do algoritmo modo 2 – bifásico.....	107
Figura 4.49 – Desempenho do algoritmo modo 1 – bifásico.....	107
Figura 4.50 – Desempenho dos algoritmos de modo – critério EMQ – monofásico.....	108
Figura 4.51– Desempenho dos algoritmos de modo – critério EMQ – bifásico.....	109
Figura 4.52 – Desempenho do algoritmo seqüência zero, assíncrono, raiz 2 simulação monofásica.....	110
Figura 4.53 – Desempenho do algoritmo seqüência zero, assíncrono, raiz 1 simulação monofásica.....	111
Figura 4.54 – Desempenho do algoritmo seqüência zero, assíncrono, raiz 1 simulação bifásica.....	112
Figura 4.55 – Desempenho do algoritmo seqüência zero, assíncrono, raiz 2 simulação bifásica.....	112
Figura 4.56 – Desempenho do algoritmo seqüência negativa, assíncrono, raiz 2 simulação monofásica.....	113
Figura 4.57 – Desempenho do algoritmo negativa, assíncrono, raiz 1 simulação monofásica.....	114
Figura 4.58 – Desempenho dos algoritmos seqüência negativa, assíncrono, raiz 1 simulação monofásica.....	115

Figura 4.59 – Desempenho dos algoritmos seqüência negativa, assíncrono, raiz 2 simulação monofásica.....	115
Figura 4.60 – Desempenho do algoritmo seqüência positiva, assíncrono, raiz 1 simulação monofásica.....	116
Figura 4.61 – Desempenho do algoritmo seqüência positiva, assíncrono, raiz 2 simulação monofásica.....	117
Figura 4.62 – Desempenho dos algoritmos seqüência positiva, assíncrono, raiz 1 simulação bifásica.....	118
Figura 4.63 – Desempenho dos algoritmos seqüência positiva, assíncrono, raiz 2 simulação bifásica.....	118
Figura 4.64 – Desempenho do algoritmo de fase, assíncrono, raiz 1 monofásico.....	119
Figura 4.65 – Desempenho do algoritmo de fase, assíncrono, raiz 2 monofásico.....	120
Figura 4.66 – Desempenho dos algoritmos de fase, assíncrono, raiz 1 – simulação bifásica.....	121
Figura 4.67 – Desempenho dos algoritmos de fase, assíncrono, raiz 2 – simulação bifásica.....	121
Figura 4.68 – Desempenho do algoritmo Sachdev – monofásico.....	122
Figura 4.69 – Desempenho do algoritmo Sachdev – bifásico.....	123
Figura 4.70 – Oscilografia do termina CGD, com tensões e correntes das 3 fases, indicando um defeito evolutivo na fase A.....	124
Figura 4.71 – Oscilografia do terminal TAC, com tensões e correntes das 3 fases, indicando um defeito evolutivo na fase A.....	125

LISTA DE SÍMBOLOS

v_x	<i>Tensão instantânea no ponto x</i>
V_a, V_b, V_c	<i>Fasores de tensão para as fases a, b, c respectivamente</i>
V_0, V_1, V_2	<i>Fasores de corrente de seqüência zero, positiva e negativa respectivamente</i>
i	<i>Corrente instantânea</i>
I_a, I_b, I_c	<i>Fasores de corrente para as fases a, b, c respectivamente</i>
I_0, I_1, I_2	<i>Fasores de corrente de seqüência zero, positiva e negativa respectivamente</i>
i_t^*	<i>Derivada da corrente no tempo t</i>
Q	<i>Potência reativa</i>
X_0, X_1, X_2	<i>Reatâncias de seqüência zero, positiva e negativa respectivamente</i>
l	<i>Indutância da LT por unidade de comprimento</i>
r	<i>Resistência da LT por unidade de comprimento</i>
c	<i>Capacitância da LT por unidade de comprimento</i>
g	<i>Condutância da LT por unidade de comprimento</i>
Z	<i>Impedância complexa da LT ou gerador</i>
γ	<i>Constante de propagação da LT</i>
x	<i>Distância do terminal fonte ao ponto de defeito</i>
w	<i>Frequência angular</i>
f	<i>Frequência</i>
Re	<i>Parte real de um número complexo</i>
Im	<i>Parte imaginária de um número complexo</i>
I^*	<i>Complexo conjugado do fasor da corrente I</i>
$\tan(\theta)$	<i>Tangente de θ</i>
θ, ϕ	<i>Representação de um ângulo</i>
$\cosh(x)$	<i>Co-seno hiperbólico de x</i>
$\sinh(x)$	<i>Seno hiperbólico de x</i>
$\tanh^{-1}(x)$	<i>Tangente hiperbólica inversa</i>
A^T	<i>Transposta da matriz A</i>
A^{-1}	<i>Inversa da matriz A</i>
$[A]$	<i>Matriz A</i>
$ V $	<i>Módulo de V</i>

GLOSSÁRIO

<i>ATP</i>	<i>Alternative Transients Program</i>
<i>CHESF</i>	<i>Companhia Hidro Elétrica do São Francisco</i>
<i>GPS</i>	<i>Global positioning system</i>
<i>IHM</i>	<i>Interface homem-máquina</i>
<i>LT</i>	<i>Linha de transmissão</i>
<i>SE</i>	<i>Subestação</i>
<i>CGD</i>	<i>Campina Grande dois</i>
<i>TAC</i>	<i>Tacaimbó</i>
<i>RPC</i>	<i>Registrador de perturbação convencional</i>
<i>RDP</i>	<i>Registrador digital de perturbação</i>
<i>RTC</i>	<i>Relação de transformação de corrente</i>
<i>RTP</i>	<i>Relação de transformação de potencial</i>
<i>COMTRADE</i>	<i>IEEE – Standard Common Format for transient data Exchange for power Systems</i>
<i>MSL</i>	<i>Minimum least squares</i>
<i>SINAPE</i>	<i>Sistema Integrado de Apoio à Análise de Perturbações</i>
<i>DC</i>	<i>Direct current</i>
<i>Fig</i>	<i>Figura</i>
<i>gr</i>	<i>Gráfico</i>
<i>GERCOM</i>	<i>Gerenciador de comunicações da REASON</i>
<i>SISREP</i>	<i>Software usado no GERCOM para leitura e processamento dos registros oscilográficos</i>

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1.A Importância Da Continuidade Do Fornecimento De Energia

Os sistemas de transmissão de energia elétrica se constituem num dos principais agentes motivadores para o desenvolvimento de uma região, transportando grandes blocos de energia das unidades geradoras até os grandes centros urbanos e pólos industriais. A fatia da energia elétrica é vital dentro da matriz energética brasileira e mundial, e sua utilidade se faz presente de uma forma intensa e contínua nos mais diferentes setores da economia e do cotidiano da população.

Em muitas situações, os centros de consumo de energia elétrica estão localizados bem distantes das unidades geradoras o que exige um alto investimento para implantação de um sistema de transmissão capaz de escoar toda essa energia dentro de um requisito de confiabilidade que a sociedade exige.

A CHESF – Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – se insere nesse contexto como a maior responsável pelo suprimento da energia elétrica para a região nordeste do Brasil, possuindo um parque gerador com capacidade instalada de 10.726.298 MW, em

quase sua totalidade de origem hidráulica, cerca de 96%, proveniente da bacia do Rio São Francisco, com seu maior complexo concentrado em Paulo Afonso e Xingó.

Para transporte dessa energia até os grandes centros urbanos da região nordestina, a CHESF utiliza um parque de transmissão composto de 18.564 km de linhas de transmissão, nos níveis de tensão 500, 230, 138 e 69kV além de um conjunto de 92 subestações com uma potência de transformação total instalada da ordem de 34.426 MVA através de 423 transformadores com tensões primárias superiores a 69kV. A Tabela 1 abaixo sintetiza o porte do sistema de geração e transmissão da CHESF, detalhado por nível de tensão.

Tabela 1.1 – Características básicas do sistema de transmissão da CHESF

CARACTERÍSTICA	VALOR
Quantidade de linhas de transmissão 500, 230, 138 e 69kV	224
Comprimento total das linhas de transmissão	18564,2 km
Comprimento médio das linhas de transmissão	82,8 km
Número de subestações 500, 230, 138 e 69kV	93
Potência de geração instalada	10.726.298 MW
Potência de transformação instalada	34.426 MVA

Nesse cenário, no qual observamos um alto nível de dependência do fornecimento de energia elétrica, atrelado ao também elevado estágio de maturidade da sociedade, cada vez mais exigente para obtenção de serviços de qualidade adequada aos padrões estabelecidos, as empresas do setor têm direcionado seus investimentos e ações para a obtenção de índices de continuidade de fornecimento de energia cada vez mais ousados.

A recente reestruturação do setor elétrico nacional sacramentou a importância de se investir para a obtenção de altos índices de disponibilidade do sistema de transmissão de energia elétrica. O que antes era uma política de bom senso das empresas passou a ser uma questão de sobrevivência, diante das pesadas multas que podem ser impostas pelos órgãos fiscalizadores e da correlação da receita da empresa de transmissão com a disponibilização de seu parque de transmissão.

A perda de receita das empresas de transmissão está, portanto, atrelada à indisponibilidade de seus equipamentos de subestações e de suas linhas de transmissão, valores esses que são bem mais expressivos quando essa restrição ocorre de forma não programada, podendo alcançar valores até 15 vezes superior ao de uma indisponibilidade programada.

1.1 Características Da Manutenção Nas Linhas De Transmissão

Para permitir o transporte de energia elétrica desde as unidades geradoras, que, como já afirmado anteriormente, nem sempre estão próximas dos centros de consumo, as linhas de transmissão possuem comprimentos diferenciados, podendo ser classificadas como curtas, médias ou longas. São consideradas curtas as linhas aéreas com menos de 80km de extensão; médias aquelas cuja extensão está compreendida entre 80 e 240km; e longas as com extensão superior. O sistema de transmissão da CHESF possui os três tipos, sendo que as longas representam apenas uma pequena fatia. Na Tabela 1 podemos verificar que o comprimento médio de uma linha de transmissão da CHESF é da ordem 82,8 km.

Do ponto de vista construtivo, as linhas de transmissão são constituídas de condutores elétricos por fase, suportados por torres, montadas ao longo de sua extensão. Essas torres normalmente são de aço ou concreto, espaçadas de uma distância que varia entre 200 e 500m, de acordo com o esforço mecânico aplicado e da topologia do terreno. Os condutores são dimensionados de acordo com a capacidade de transmissão desejada, variando de 1 a 4 por fase, isolados da torre por cadeias de isoladores, normalmente de vidro, porcelana ou polimérico. A Tabela 2, a seguir, ilustra um exemplo típico de uma linha de transmissão empregada no sistema de transmissão da CHESF, com suas características elétricas básicas, e que é utilizada nas simulações que apresentadas no Capítulo 4.

Tabela 1.2 - Características da LT 04C1 Tacaimbó-Campina Grande

COMPANHIA HIDRO ELETRICA DO SAO FRANCISCO-DO/DML/DODL					
PROGRAMA MULTPI-DETERMINACAO DO CIRCUITO PI-EQUIVALENTE DE LINHAS DE TRANSMISSAO					
LINHA TAC-CGD-U1	COD. OPERACAO - 04C1			EXTENSAO - 123.100 KM	
TENSAO DE ISOL.- 230.0 KV	TENSAO DE OPER.- 230.0 KV		OBSERVACOES -		
S E Q U E N C I A P O S I T I V A					
R1	X1	C1	A		
OHM/KM/FASE	OHM/KM/FASE	NF/KM/FASE	MOD(PERC)	FASE(GRAUS)	
0.0976	0.5096	8.6270	98.75	0.14	
ZEQ		YEQ(PERC)		C	
REQ(PERC)	XEQ(PERC)	GEQ/2	BEQ/2	MOD(PERC)	FASE(GRAUS)
2.25	11.81	0.00	10.61	21.13	90.02
S E Q U E N C I A Z E R O					
R0	X0	C0	A		
OHM/KM/FASE	OHM/KM/FASE	NF/KM/FASE	MOD(PERC)	FASE(GRAUS)	
0.5319	1.5410	6.0835	97.35	0.53	
ZEQ		YEQ(PERC)		C	
REQ(PERC)	XEQ(PERC)	GEQ/2	BEQ/2	MOD(PERC)	FASE(GRAUS)
12.16	35.58	0.01	7.50	14.87	90.09

Os defeitos mais frequentes nas linhas de transmissão são causados pela perda do isolamento entre o condutor e a terra ou entre condutores, geralmente em função de:

- Deterioração da cadeia de isoladores, seja por poluição ou por quebra, oriunda de atos de vandalismo, bastante comuns nas regiões próximas aos centros urbanos e estradas rurais;
- Queda de condutores de fase, provocada por ruptura dos pinos dos isoladores, quebra das ferragens de sustentação das cadeias de isoladores ou mesmo por ruptura do próprio condutor, especialmente nas emendas e pontos de contatos com espaçadores;
- Queda do cabo pára-raio montado sobre os condutores de fase, gerando curto-circuitos mono, bi ou trifásicos;
- Incidência de descargas atmosféricas (raios) sobre a linha durante chuvas e tempestades;
- Aproximação de vegetação dos condutores, especialmente aquelas de crescimento rápido.
- Queimadas em vegetação ou canavial sob as linhas de transmissão, decorrentes da ionização do ar e conseqüente redução do isolamento entre os condutores e também para a terra.

Dentro de um contexto de maximização da disponibilidade dos equipamentos de uma empresa de transmissão, uma política de manutenção adequada é de suma importância para a sua sobrevivência. Em passado recente, verificava-se que as empresas efetuavam as manutenções preventivas com desligamentos parciais de equipamentos e até com corte geral de carga dos consumidores. Com a nova ordem imposta pela sociedade, as

empresas se reestruturaram modificando seus planos de manutenção, adequando-os para a nova realidade.

No caso específico das linhas de transmissão é adotada uma política de manutenção baseada em inspeções para controle e correção dos problemas básicos, que podem acarretar o desligamento da linha. As empresas investem pesadamente num programa de inspeção minuciosa e expedita para identificação e correção imediata dos casos críticos de corrosão e poluição em isoladores, ferragens de sustentação das cadeias e cabos pára raios, estado de conservação das emendas e controle de vegetação sob as linhas. Essas intervenções corretivas passaram a ser realizadas, em sua quase totalidade, com a linha de transmissão energizada, através de técnicas especiais desenvolvidas para trabalhos à distância, com o auxílio de bastões isolantes, bem como ao potencial, situação em que o homem, com vestimenta especial, é levado ao condutor energizado, também através de equipamentos isolantes.

Ao longo de sua extensão, as linhas de transmissão cruzam regiões distintas, com tipificações diversas que dificultam o acesso às suas torres, onde se ressaltam:

- Regiões montanhosas que obstaculizam a inspeção, a visualização e correção de defeitos;
- Regiões alagadas durante boa parte do ano nos períodos invernosos;
- Cruzamento de rios, lagos e riachos;
- Estradas de acesso em condições precárias, agravadas pelas chuvas e condições específicas do local, sem qualquer tipo de iluminação para acesso noturno;
- Cruzamentos de propriedades particulares, com vegetações ou plantações que precisam ser controladas;

Se essas condições já representam uma condição bem peculiar para as intervenções programadas, detectadas e bem localizadas pela inspeção, no caso de uma intervenção de urgência, numa situação de contingência, ela se configura de uma forma ainda mais atípica, em função das pressões naturais para a disponibilização da linha de transmissão para o operador do sistema. A tradicional inspeção visual que é feita, com inspetores se deslocando apressadamente com veículos ao longo da faixa da linha de transmissão, com as adversidades já citadas, são de baixa efetividade e não são raras as vezes em que se “corre a linha” 2 ou 3 vezes em toda sua extensão até se localizar o ponto do defeito, com aumentos inadmissíveis nos tempos de indisponibilidade.

A utilização de instrumentos capazes de identificar ou estimar a distância aproximada do defeito é uma ferramenta poderosa e de extrema necessidade para as equipes que têm a responsabilidade de manter o sistema de transmissão.

1.2 Necessidade E Evolução Dos Localizadores De Falta

Até a década de 70, os sistemas de controle das subestações eram predominantemente dominados pelos relés eletromecânicos e desprovidos de qualquer sistema de localização de faltas em linhas de transmissão. Os registradores de perturbação existentes eram limitados, pois tinham que ser coletados localmente e enviados por transportes convencionais para os centros de análise. Adicionalmente, nem sempre estavam disponíveis, pois exigiam freqüentes manutenções, e apenas permitiam uma análise simplificada do tipo de defeito ocorrido (mono, bi ou

trifásico), além de uma estimativa grosseira da proximidade do defeito de um terminal ou do outro, a partir da “sensibilidade” e experiência das equipes que analisavam esses registros oscilográficos.

Com a entrada dos relés semi-estáticos no final da década de 70, os primeiros localizadores de defeitos passaram a ser incorporados aos sistemas de controle e proteção das linhas de transmissão. Os primeiros localizadores de defeitos utilizados na CHESF foram de fabricação Schulumberger, tipo DLDS 2000, uma unidade robusta que funcionava associada a uma proteção de distância de um dos terminais da linha de transmissão, que fornecia as informações das fases defeituosas. Em alguns casos também foram usados os localizadores da “linha” DALD 2400 que incorporavam unidades que determinavam as fases defeituosas, dispensando as informações oriundas das proteções da linha.

Gradativamente, outros localizadores de faltas passaram a ser incorporados, e a SIEMENS, por exemplo, passou a fornecer junto com sua proteção de distância eletrônica, tipo 7SL32, largamente utilizada na CHESF, uma unidade de localização de falta, tipo 7SE11/7SE12. Com o processo de digitalização dos sistemas de controle e dos relés de proteção, os localizadores de falta foram incorporados definitivamente ao sistema de controle e supervisão de um terminal de linha, uma vez que todo o processo de aquisição de dados (corrente e tensão dos terminais de linha) passou a ser unificado, permitindo sua utilização para as diferentes funções pretendidas pelo projetista. Assim, a partir dessa base de dados digitalizados, poder-se-ia gerar funções de sobrecorrente, sobretensão, subtensão, direcionalidade, distância, localizadores de faltas etc, através de algoritmos distintos via software, conforme o objetivo desejado.

Outra vertente que possibilitou a disponibilização de localizadores de faltas em linhas de transmissão foi a ampliação e, principalmente, a modernização das redes de oscilografia, inicialmente motivada pela necessidade crescente das empresas possuírem dispositivos eficientes para análise de perturbações. A rede de oscilografia existente, no caso da CHESF com registradores oscilográficos de fabricação Thompson, tipo S41, já não atendia essas exigências de precisão na análise, imposta pelas novas regras do setor elétrico. Os registradores digitais de perturbação passaram então a dominar o mercado, e uma vez que as informações de corrente e tensão estavam disponíveis em sua forma digital, a aplicação de softwares direcionados para a localização de faltas passou também a ser largamente utilizada.

1.3 Histórico e Motivação Para o Trabalho

Como será mostrado no Capítulo 2, no final do ano de 2001 a Chesf já possuía uma boa quantidade de RDP – Registrador Digital de Perturbação - instalada e já dispunha de um sistema de gerenciamento dessa rede de oscilografia que, entre outras funções, já permitia o cálculo da distância do defeito ocorrido numa linha de transmissão, a partir do registro das correntes e tensões do terminal onde o RDP estava instalado.

Adicionalmente, também se dispunha de uma grande quantidade de localizadores de defeitos tradicionais, do tipo dos citados anteriormente na seção 1.3, porém, havia um sentimento geral de que a efetividade desses dispositivos, tanto de um como do outro, deixava a desejar, não sendo rara a existência de erros significativos ou conflitos de indicação da localização da falta.

Toda essa conjuntura citada anteriormente trazia uma forte motivação para a realização de um trabalho que abrisse perspectivas de uma melhor compreensão do tema “localização de faltas em linhas de transmissão”, a partir do qual poderíamos melhor atuar junto aos fornecedores do Sistema de Gerenciamento da Rede Oscilografia, avaliando os critérios utilizados nos softwares de localização de falta, ou sugerindo a utilização de outros algoritmos mais precisos.

Delineou-se então a idéia básica do trabalho, que buscaria explicitar os principais algoritmos de localização de faltas disponíveis na literatura, que juntamente com aqueles utilizados pela Reason, empresa proprietária do software de localização de faltas utilizado na CHESF, seriam avaliados através de simulações em ATP – Alternative Transients Program - e casos reais de defeitos ocorridos na CHESF, sobre o qual tínhamos conhecimento do local exato da falta.

Assim, procuramos inicialmente a REASON, empresa fornecedora do sistema de gerenciamento da rede de oscilografia, que se mostrou altamente receptiva à nossa iniciativa, tendo nos fornecido inicialmente alguns algoritmos para teste. *É importante registrar que, certamente, esses algoritmos não podem ser considerados como oficialmente pertencentes ao sistema de localização da REASON, uma vez que os obtivemos de maneira informal, até por que, por questões estratégicas, acreditamos que eles não abririam totalmente o seu software.*

Esses algoritmos, juntamente com aqueles mais tradicionais disponíveis na literatura, foram testados através de simulações em ATP, permitindo uma avaliação de cada um deles.

1.4 Organização do Trabalho

No Capítulo 2, procuramos introduzir os conceitos e requisitos básicos de uma rede de oscilografia, uma vez que ela está sendo a base principal que suportará a implantação de um sistema de localização de faltas. A título ilustrativo, damos uma idéia do estágio de implantação dessa rede na CHESF, bem como buscamos detalhar um pouco o funcionamento e objetivos do seu sistema de gerenciamento. Finalizamos esse capítulo com a apresentação do formato COMTRADE, um padrão que facilita a troca de vários tipos de dados de perturbações.

No Capítulo 3, fazemos uma descrição sucinta de cada um dos algoritmos que serão avaliados através das simulações em ATP, procurando descrever sua fundamentação teórica. Alguns algoritmos possuem larga divulgação e conceituação na literatura, enquanto outros foram incluídos apenas com o objetivo didático de se mostrar os efeitos provocados por algumas simplificações. No escopo do trabalho, procuramos avaliar apenas algoritmos baseados em fasores, porém buscamos cobrir o maior número possível, avaliando, além daqueles baseados em dados de um terminal, também os baseados nos dois terminais, tanto para amostras sincronizadas como para assíncronas.

No Capítulo 4, detalhamos o sistema elétrico que foi simulado em ATP e que foi utilizado como referência para as diversas condições de teste, bem como os critérios utilizados para as simulações. A partir do resultado dessas, fazemos uma avaliação de desempenho de cada um dos algoritmos, buscando diagnosticar sua funcionalidade, explorada através de dois critérios: *precisão*, associada ao valor do erro cometido, e *consistência*, associada ao nível de repetição dessa precisão. Complementamos essa

etapa com a abordagem de um caso real, decorrente de um curto circuito ocorrido na linha de transmissão que estava sendo objeto das simulações, e cujo ponto de incidência da falta era de conhecimento das equipes de manutenção da CHESF.

As discussões e conclusões gerais são apresentadas no Capítulo 5, seguidas pelos anexos descritos a seguir:

- Anexo 1 – Exemplo de um dos arquivos fontes que serviram de base para as simulações de falta na linha de transmissão. Todos os arquivos fontes estão disponibilizados em CD.
- Anexo 2 – Fasores de saída de cada uma das simulações monofásicas geradas no ATP, para avaliação dos algoritmos.
- Anexo 3 – Fasores de saída de cada uma das simulações bifásicas geradas no ATP, para avaliação dos algoritmos.
- Anexo 4 – Programa gerado em Matlab para avaliação dos algoritmos monofásicos, a partir dos fasores gerados no anexo 2.
- Anexo 5 – Programa gerado em Matlab para avaliação dos algoritmos monofásicos, a partir dos fasores gerados no anexo 3.
- Anexo 6 – Fasores de saída obtidos da rede de oscilografia para o caso real analisado de um defeito monofásico na LT 04C1 CGD-TAC, para avaliação dos algoritmos.

2.1 Introdução

Os sistemas elétricos de potência estão suportados, em sua essência, pelas suas unidades geradoras e pelo seu sistema de transmissão, constituído de linhas de transmissão e subestações. As perturbações que ocorrem nesses equipamentos precisam ser detectadas e eliminadas antes que danos maiores sejam aplicados ao equipamento em falta e também para os demais equipamentos do sistema que possam vir a ser afetados pelo problema inicial.

Os sistemas de controle e proteção instalados nas subestações são projetados para fornecer esses requisitos de segurança que os equipamentos e o próprio sistema exigem, atuando no sentido de desconectar imediatamente do sistema os equipamentos sob falta, deixando-os isolados do sistema elétrico para intervenção dos órgãos de manutenção. Entre outros requisitos, um bom sistema de controle e proteção de uma subestação deve:

- Ter **seletividade** para isolar apenas os equipamentos sob falta, já que durante um defeito numa parte do sistema temos perturbações em outras partes que poderiam ser indevidamente "vistas" como sob falta;
- Ter **velocidade** para fazer o isolamento no menor tempo possível, de forma a reduzir o efeito da falta sobre o próprio

equipamento, bem como sobre o resto do sistema elétrico que deverá continuar operando normalmente;

- Ter **confiabilidade** para realizar as duas funções anteriores com baixíssima taxa de falhas;
- Ser **transparente** para disponibilizar recursos de supervisão adequados para uma análise mais profunda da ocorrência por especialistas, permitindo uma correta avaliação das funções que operaram e das que deixaram de operar.

Se as duas primeiras são funções eminentemente associadas aos chamados relés de proteção, a última é suprida pela rede de supervisão da subestação, normalmente composta por painéis de controle, anunciadores, monitores (IHM) e registradores de perturbação.

Numa subestação convencional, os *painéis de controle* disponibilizam, em tempo real para verificação visual dos operadores, informações de estado e grandezas elétricas do equipamento (corrente, tensão, frequência), bem como dispositivos para acionamento dos disjuntores, chaves seccionadoras e comutadores.

Os *anunciadores* disponibilizam e memorizam informações das proteções e sensores de anormalidades de equipamentos que atuaram mais recentemente, gerando alarme sonoro para reconhecimento e quitação por parte do operador da instalação.

Os *monitores*, associados aos seus consoles, compõem a interface homem-máquina (IHM), e realizam numa subestação digitalizada a mesma função que os anunciadores e painéis de controle realizam numa convencional.

Os *registradores de perturbação* imprimem em papel ou armazenam em arquivos digitais, as principais grandezas elétricas associadas ao terminal que está sendo monitorado, bem como o

estado de atuação das principais funções de proteção, permitindo uma reconstituição no tempo, e a qualquer momento, do seqüencial de eventos ocorridos, tipo e evolução da falta.

2.2 Requisitos Básicos De Uma Rede De Oscilografia

Os registradores de perturbação são, portanto, equipamentos essenciais para a análise de uma ocorrência num sistema elétrico de potência, e como já mencionado, os primeiros registradores de perturbação eram eletromecânicos com impressão de uma tinta especial em papel, sendo largamente conhecida e utilizada na CHESF, a versão S41 da Thompson.

A seguir vieram os registradores de perturbação que utilizavam um papel fotossensível dentro de uma câmara hermeticamente fechada, onde os registros eram gravados por sinais luminosos, e posteriormente revelados para análise. Nessa categoria, temos os oscilógrafos MD-444 da Hathaway, que foram largamente utilizados quando da entrada do sistema de transmissão de 500kV da Chesf. Apesar de apresentar desempenho superior aos S41 da Thompson, não representou um avanço significativo, pois, exceto no tocante à qualidade de impressão e quantidade de canais disponíveis, também era muito limitado em relação aos vários aspectos exigidos para a análise que se desejava.

Finalmente, com a invasão da tecnologia digital, os chamados RDP – registradores digitais de perturbação – vêm sendo largamente e preferencialmente utilizados em função de uma série de requisitos e vantagens que os mesmos oferecem, cujos principais destacamos a seguir:

- **Custos operacionais** - Os gastos mensais com papéis fotossensíveis e tinta são consideráveis para os registradores tradicionais, em função do uso de tintas e papéis especiais, consumidos largamente em ocorrências e testes periódicos de rotina. Nos digitais esse custo é insignificante.
- **Custos de manutenção** - A natureza eletromecânica dos registradores S41, com motores, cilindros de impressão, engrenagens, uso de tinta, etc, gera a necessidade de manutenções gerais anuais além de outras corretivas de menor periodicidade. No caso dos RDP, por se tratarem de equipamentos digitais, não existe a necessidade de manutenções preventivas periódicas, que se limitam às intervenções corretivas, as quais têm ocorrido em pequena escala.
- **Qualidade de impressão** - Esse também é um dos grandes problemas dos registradores tradicionais, com muitos pontos de falhas associados aos aspectos de manutenção já citados, prazo de validade das tintas e do papel fotossensível, implicando em constantes perdas ou dificuldade de leitura dos registros, uma vez que essa impressão era a única forma de armazenamento dos dados da ocorrência, e eventuais falhas eram irreversíveis. No caso dos RDP, o armazenamento dos dados em arquivos digitais possibilita a visualização e a impressão na qualidade que se desejar.
- **Flexibilidade para análise** - Os registros convencionais não permitem qualquer tipo de "tratamento", já que se limitavam a um papel impresso e de qualidade nem sempre adequada. A utilização de softwares especialistas desenvolvidos pelos fabricantes dos RDP permite uma flexibilidade considerável para tratamento dos dados digitalizados, tais como medição de grandezas, intervalos de tempo, aplicação de zoom em

partes apropriadas, análise harmônica dos sinais etc, e em particular, a possibilidade do cálculo distância de faltas em linhas de transmissão, com a aplicação de algoritmos adequados para esse fim.

- **Disponibilidade imediata para todos os usuários** – outro grande problema dos registradores convencionais. A coleta dos registros era feita de forma manual pelos operadores das instalações e depois enviados para análise dos órgãos especialistas, num processo lento e serial, já que se dispunha de um único registro muitas vezes “disputado” por vários segmentos que tinham interesse na análise da ocorrência. Os RDP possibilitam o acesso remoto do registro via modem e podem ser disponibilizados imediatamente em rede para acesso e análise de todos as áreas interessadas.

2.3 A Rede De Oscilografia CHESF

A partir da percepção de que uma rede de oscilografia eficiente e moderna é uma ferramenta valiosa de suporte para um processo de análise de ocorrências nos padrões que se exige no momento, as grandes empresas de transmissão estão investindo na modernização e expansão de suas redes de oscilografia.

A rede de oscilografia da CHESF, até meados de 1994, era constituída de cerca de 300 registradores de perturbação convencionais [Silva, 2001], com todos os problemas e limitações já mencionadas e uma crescente dificuldade para adquirir peças sobressalentes para os reparos necessários, cada vez mais freqüentes.

Essa situação fez com que a empresa buscasse uma solução para modernização urgente de sua rede, e o processo foi iniciado com a substituição de 75 unidades S41 da Thompson por Registradores

Digitais de Perturbação tipo EPCS de fabricação Alstom. Um detalhe importante que facilitou os trabalhos de campo e reduziu os custos de montagem foi que os mesmos foram concebidos para substituir elétrica e mecanicamente as unidades obsoletas, e de forma intercambiável, aproveitando a mesma estrutura existente de painéis, chassis e cablagem associada, sem qualquer modificação no lay-out da subestação. Para acesso remoto foram utilizadas inicialmente linhas públicas com modem e splitter de modem para conexão de até seis RDP por linha.

Vencida essa etapa inicial, e com o sucesso alcançado, comprovado pelos resultados visíveis e sentidos pelas equipes de análise de ocorrências, o programa foi intensificado com a instalação de novas unidades EPCS e também de RDP de outros fabricantes, entre os quais destacamos o Simeas-R da Siemens, o IRU-1692 da Macrodyne e o RP-IV da Reason, de forma que atualmente a rede de oscilografia CHESF está hoje constituída de 363 unidades convencionais e digitais, distribuídas conforme Tabela 3 abaixo..

Tabela 2.1 - Rede de Oscilografia da CHESF

Nível de tensão	RPC	RDP
Linha de transmissão 500kV	0	42
Linha de transmissão 230kV	47	199
Linha de transmissão 138kV	5	13
Outros	10	47
Total	62	301

Complementando essa rede, existe ainda cerca de 70 relés digitais de proteção, de fabricação Siemens, GE e Alstom, que

têm sido incorporados ao sistema e que também possuem oscilografia interna.

2.4 O Sistema de Gerenciamento da Rede

O alto nível de competitividade do mercado, onde podemos verificar a presença de várias empresas com capacidade tecnológica para atuar na área de sistemas digitais de controle, associado às regras específicas dos processos licitatórios que são impostos a uma empresa estatal como a CHESF, proporcionou a aquisição de diferentes modelos e fabricantes de RDP, cada um com suas peculiaridades e características de hardware e software.

Essa diversidade de modelos e fabricantes, além de trazer dificuldades para o processo de comissionamento e integração, bem como para a manutenção futura do sistema, gerava enormes dificuldades para um gerenciamento global do sistema. Uma das principais, sem dúvida, era a necessidade de que as equipes usuárias da rede teriam que dominar e serem capacitadas num elenco abrangente de softwares, hardwares, e procedimentos de acesso e comunicação.

Assim, com o objetivo de gerenciar todo o processo de comunicação com esses equipamentos, transmitindo comandos, recebendo, tratando e armazenando dados de forma transparente, gerando um banco de dados centralizado e acessível para todos os usuários através da rede corporativa da empresa, foi necessária a concepção de um sistema para gerenciamento de toda a rede de oscilografia.

A Figura 2.1, a seguir, representa a arquitetura do sistema GERCOM – Gerenciador de Comunicação [3].

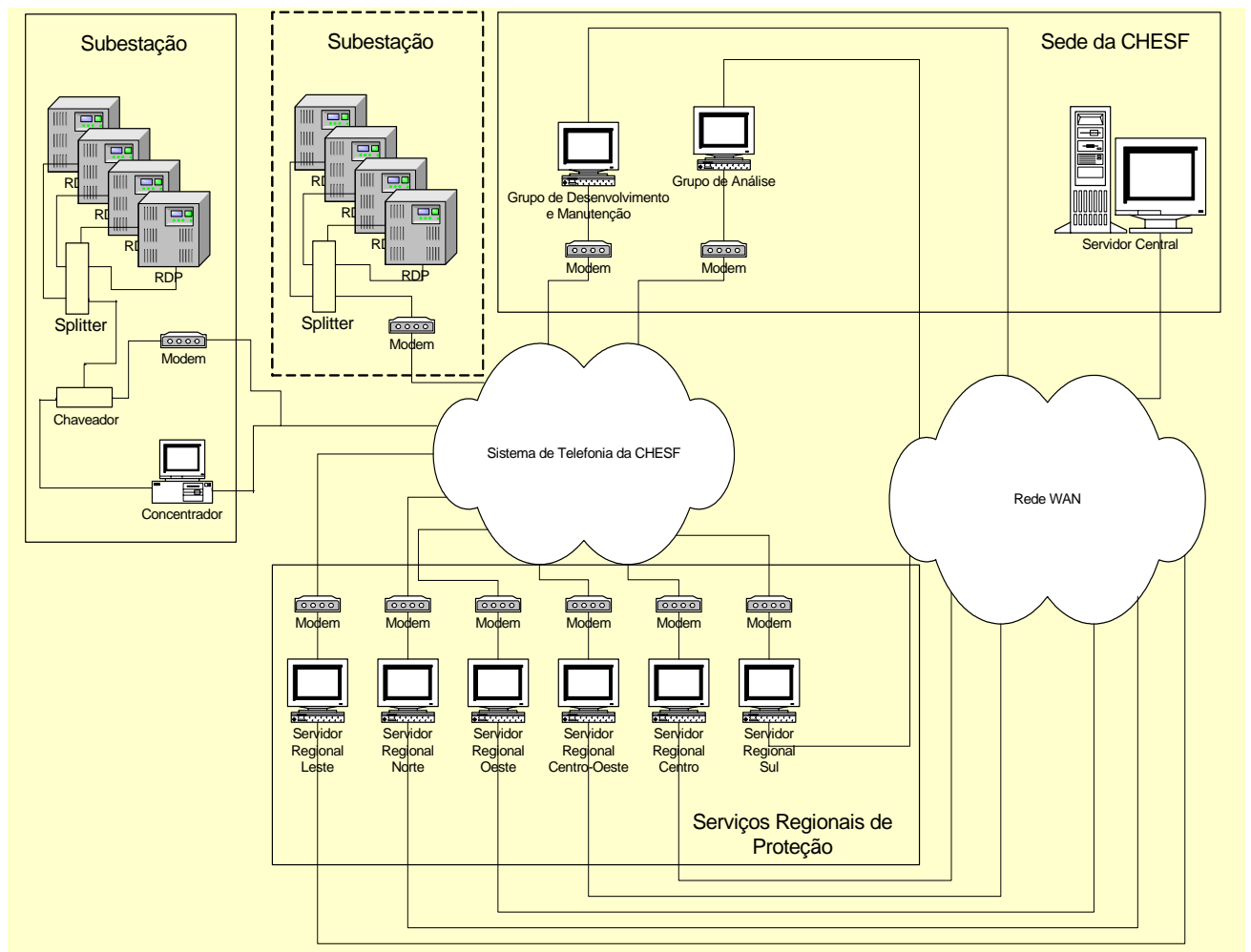


Figura 2.1 – Arquitetura do GERCOM da CHESF

Com o GERCOM é possível:

- Estabelecer comunicação com qualquer RDP de todas as subestações sem necessidade de se conhecer o tipo ou fabricante do mesmo;
- Gerenciar a execução dos softwares de comunicação específicos com uma estrutura que permite a inclusão de novos softwares;

- Acionar uma unidade específica ou coletar todos os registros numa mesma varredura;
- Rodar em rede local com recurso multiusuário;
- Gerenciar um processo de "pooling" automático em horários pré-determinados;
- Monitorar o estado de comunicação com os RDP;
- Converter os arquivos lidos para o formato IEEE - COMTRADE, corrigindo eventuais problemas desta conversão;
- Criar uma estrutura de diretórios, organizados por subestação e gerar uma nomenclatura padronizada para cada arquivo recebido;
- Selecionar as pessoas credenciadas para acessar e acionar o sistema através de senhas;
- Calcular a distância da falta para defeitos em linhas de transmissão, com disponibilização do tipo do defeito e distância, de forma automática através da intranet.

2.5 O Formato COMTRADE

A forma de exteriorização dos sinais amostrados e coletados pelos diversos tipos de registradores não é homogênea e os fabricantes não fornecem documentação sobre o formato interno do arquivo de dados, o que impediria qualquer processamento dos mesmos que não os previstos no seu programa.

O formato COMTRADE [4, 1991], conforme estabelecido pela Norma IEEE C37. 111-1991, define um padrão comum para arquivos de dados digitais e mídias, necessários para troca de vários tipos de dados de perturbações, ensaios e simulações.

Os arquivos definidos pelo COMTRADE devem estar, a princípio, em formato ASCII, sendo definidos para cada evento, três tipos de arquivos: *cabeçalho*, *conFiguração* e *dados*. Os arquivos são na forma *xxxxxxx.yyy* onde *xxxxxxx* é usado para identificar o evento e *.yyy* é usado para identificar o tipo do arquivo:

- .HDR para cabeçalho (HeaDeR),
- .CFG para conFiguração (ConFiguration);
- .DAT para dados (DATa).

Os arquivos "*cabeçalho*" contêm informações criadas pelo originador dos dados sem qualquer padrão específico, e o único cuidado que se deve buscar é forçar o editor utilizado a salvar o texto em formato ASCII, sem usar os caracteres especiais de formatação específicos de cada editor.

Os arquivos de "*conFiguração*" devem ser lidos por um programa de computador e seu formato deve ser obedecido à risca, pois contém informações importantes tais como taxas de amostragem, número e tipo de canais, frequência da linha, informação dos canais, formato do arquivo, RTP, RTC etc.

Os arquivos de "*dados*" contêm o valor de cada amostra de cada canal medido, em formato inteiro, normalmente correspondente ao formato do equipamento digitalizador e está intrinsecamente ligado ao arquivo de configuração, onde são especificados meios de traduzir estes valores adequadamente para grandezas reais, tais como Volts, Ampéres etc. Dados digitais são representados pelos algarismos 0 e 1. O arquivo de dados pode estar em formato binário, desde que se forneça juntamente um programa que o traduza para formato ASCII.

Estão disponíveis vários softwares no mercado que manipulam arquivos COMTRADE, entre os quais exemplificamos o SINAPE (CEPEL) e o SISREP (REASON), esse último utilizado no sistema de gerenciamento adotado pela CHESF.

ALGORITMOS PARA LOCALIZAÇÃO DE FALTAS

3.1 Introdução

Os dados digitalizados com as informações das grandezas elétricas da linha de transmissão sob falta, conforme já mencionado, podem ser disponibilizados de três formas distintas:

- A partir dos RDP – registradores digitais de perturbação;
- Utilizando a plataforma de aquisição de dados necessária para os relés digitais de proteção;
- Através da instalação de unidades específicas e autônomas com capacidade de realizar todo o processo, desde a aquisição, tratamento e disponibilização dos resultados.

A escolha da solução a ser usada depende de fatores econômicos e características específicas de cada instalação, para melhor adequar as vantagens e desvantagens de cada uma. As duas primeiras opções envolvem custos menores, já que utilizam uma plataforma já existente ou compartilhada com outras funções, e são as que mais têm sido usadas nas empresas de transmissão de energia elétrica. A instalação de unidades autônomas, aplicadas em menor escala face aos seus maiores custos, tem sua utilização defendida pela argumentação de que

forneem maior flexibilidade, pois todo o projeto é dirigido com o fim específico e único de localização de faltas, que se traduziria numa maior precisão na sua indicação. Um exemplo claro dessa maior flexibilidade é a taxa de amostragem que pode ser escolhida pelo projetista numa unidade autônoma, de acordo com os requisitos desejados de precisão e confiabilidade, o que nem sempre é possível numa unidade compartilhada.

De qualquer forma, qualquer que seja a solução adotada, é necessário o desenvolvimento de um algoritmo eficiente para o tratamento e manipulação dos dados digitalizados, de forma a permitir uma indicação precisa da distância do ponto de falta.

Os algoritmos desenvolvidos para esse fim podem ser classificados em grupos distintos de acordo com o modelo especificado para a linha, da quantidade de dados disponíveis e do método computacional empregado existindo uma variedade muito grande deles disponíveis na literatura.

Assim, segundo (Kezunovic et al, 1999), existem basicamente dois tipos de modelos matemáticos que são usados nos algoritmos de localização de faltas:

- Modelo com parâmetros concentrados, usados com mais eficiência para linhas curtas;
- Modelo com parâmetros distribuídos, que podem ser usados para qualquer linha, especialmente as longas;

No modelo com parâmetros distribuídos, para o caso simplificado de uma linha monofásica, a tensão e a corrente são funções do tempo t e da posição x dados por:

$$-v_x(x,t) = l.i_t^{\bullet}(x,t) + r.i(x,t) \quad (1)$$

$$-i_x(x,t) = c.v_t^{\bullet}(x,t) + g.v(x,t) \quad (2)$$

sendo, l , r , c , e g respectivamente a indutância, a resistência, a capacitância e a condutância por unidade de comprimento. Para o caso de um sistema trifásico as equações (1) e (2) têm o mesmo formato, substituindo-se a tensão e a corrente pelos respectivos vetores e os parâmetros da linha representados pelas matrizes **R**, **L**, **C** e **G**.

No modelo com parâmetros concentrados são desprezadas a condutância e a capacitância, de forma que a corrente é considerada invariável ao longo da linha. Uma integração ao longo da linha, do terminal fonte para um ponto numa distância x resulta em :

$$v_x(t) - v_s(t) = x.r.i(t) + l.x.\frac{di(t)}{dt} \quad (3)$$

Devido à linearidade dessas equações, a tensão e a corrente, em ambos modelos, podem ser substituídas por qualquer de suas componentes harmônicas. Caso se utilize a componente fundamental, elas aparecerão na equação como fasores, e é nesse contexto que a maioria dos algoritmos se enquadram nas seguintes categorias básicas:

- Algoritmos baseados em fasores, usando apenas a frequência fundamental, normalmente usado em modelos com parâmetros concentrados;
- Algoritmos baseados nas equações diferenciais, usando componentes transitórias dos sinais e o modelo de parâmetros distribuídos da linha.

Outro fator importante, que influencia decisivamente a precisão de um algoritmo, está ligado à quantidade de dados disponíveis para manipulação. O mais comum é se dispor dos dados de apenas um terminal, que como veremos mais tarde limita a precisão dos algoritmos. A precisão melhora à medida que se

dispõe de dados de linhas paralelas do mesmo terminal onde se efetua o cálculo, e principalmente quando se dispõe das grandezas elétricas do terminal remoto.

3.2 Algoritmos Baseados Em Fasores Com Dados De Um Terminal

Para um entendimento inicial das limitações dos algoritmos baseados em fasores que utilizam dados de um único terminal, vamos representar uma linha de transmissão monofásica de comprimento d , submetida a uma falta para terra num ponto F , situado a uma distância x do terminal fonte:

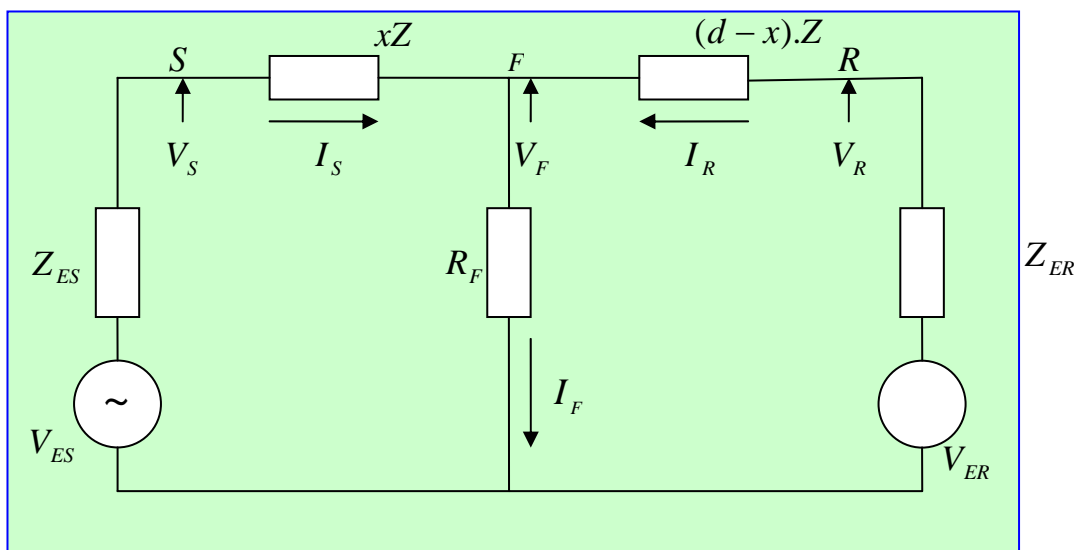


Figura 3.1 - Representação simplificada de uma linha de transmissão monofásica entre os terminais S e R, submetida a uma falta em F.

onde $Z = r + j.w.l$ é a impedância por unidade de comprimento da linha e evidentemente um parâmetro conhecido. Os indicadores s e r marcam os fasores de tensão e corrente dos terminais fonte (sending end) e remoto (receiving end) respectivamente, sendo que os fasores do terminal fonte também são conhecidos a partir da amostragem realizada pelo relé digital,

RDP ou localizador de faltas utilizado. A equação básica, que relaciona as grandezas fasoriais do terminal fonte com o ponto do defeito, fica da seguinte forma:

$$V_s = x \cdot Z \cdot I_s + R_F \cdot I_F \quad (4)$$

Nessa equação escalar complexa, temos duas equações reais escalares, porém com 4 variáveis desconhecidas, que são a distância x , o módulo e ângulo da corrente no ponto de falta I_F , e a resistência de falta. É, portanto, nesse desbalanço que residem às dificuldades dos algoritmos com dados de um único terminal, pois algumas suposições e aproximações terão que ser feitas acerca desses fatores desconhecidos, quando da concepção de um algoritmo.

3.2.1 Algoritmo De Takagi

O algoritmo de Takagi está mais detalhado em [Takagi et al, 1982], mas resumidamente pode ser demonstrado a partir da equação (4) e da concepção de que o circuito da Figura 3.1 pode ser entendido como a superposição de dois circuitos, sendo um pré-falta, onde temos apenas a corrente de carga na linha, e outro puro de falta, conforme Figuras 3.2a e 3.2b, a seguir:

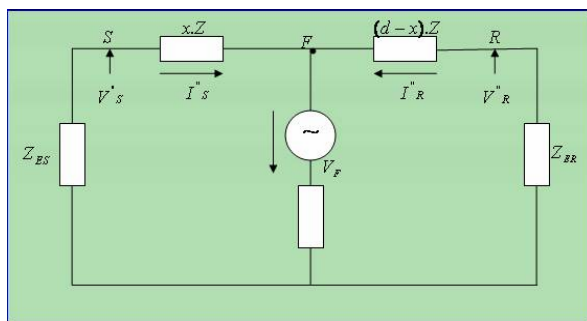


Figura 3.2a – circuito pré-falta Takagi

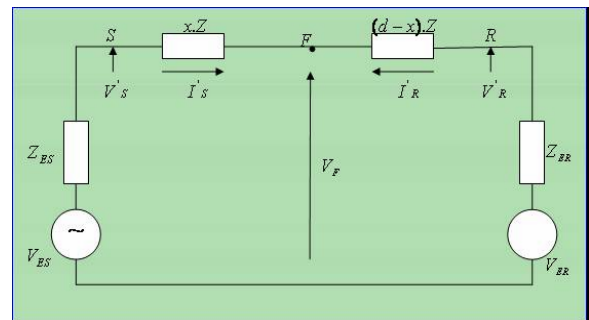


Figura 3.2b – circuito puro de falta Takagi

Uma vez que a corrente de falta I_F é a soma das correntes dos dois terminais da linha, podemos escrever:

$$I_F = I_S + I_R = (I_S' + I_S'') + (I_R' + I_R'') = (I_S'' + I_R'') \quad (5)$$

Observando o divisor de corrente no circuito da Figura 3.1, temos:

$$I_S'' = \frac{[(d-x).Z + Z_{ER}].I_F}{d.Z + Z_{ER} + Z_{ES}} = \frac{I_F}{k} \quad (6)$$

Assumindo que as impedâncias do divisor de corrente da equação (6) têm aproximadamente o mesmo ângulo de fase, podemos supor que a corrente de falta I_F é proporcional em módulo e está em fase com a corrente do circuito puro de falta I_S'' , sendo portanto o fator k um número real. Assim, a equação (4) fica na seguinte forma:

$$V_s = x.Z.I_s + k.R_F.I_s'' = x.Z.I_s + k'.R_F.I_s'' \quad (7)$$

com k' também real. Com o número de variáveis reduzidas à duas, (x e k'), a distância x , do ponto de defeito ao terminal fonte, pode ser calculada por:

$$x = \frac{\text{Im}(V_s \cdot I_s''^*)}{\text{Im}(Z \cdot I_s \cdot I_s''^*)} \quad (8)$$

onde $I_s''^*$ é o complexo conjugado de I_s'' . O cálculo da distância x envolve, portanto, a corrente do circuito puro de falta I_s'' , obtida pela diferença entre a corrente medida no terminal fonte

num instante pós-falta e a extrapolação da corrente pré-falta, que precisa estar armazenada e disponível.

Outro aspecto importante a ser considerado são os acoplamentos mútuos com as outras fases da linha, no caso de uma LT trifásica, bem como com outras linhas paralelas, quando existirem. Introduzindo a influência das correntes das demais fases, e de outras linhas, a equação (8) fica da seguinte forma:

- *para defeitos monofásicos na fase A da linha 1 (sob defeito)*

$$x = \frac{\text{Im}(V_{A1} \cdot I_{A1}^{**})}{\text{Im}(V_{lsa} \cdot I_{A1}^{**})} \quad (9)$$

onde V_{lsa} substitui a queda de tensão $Z \cdot I_s$ no denominador da equação por uma queda de tensão composta, dada por:

$$V_{lsa} = \sum_K (Z_{A1K} \cdot I_K)$$

com:

$K = A1, B1, C1, A2, B2, C2 \dots$, indicando as fases A, B, C das diversas linhas acopladas.

V_{A1} = Tensão fase A da linha 1.

I_{A1}^{**} = Complexo conjugado da corrente pura de falta da fase A da linha 1.

Z_{A1K} = Impedância mútua entre a fase A da linha 1 e fase K correspondente

- *para defeitos bifásicos ou trifásicos*

$$x = \frac{\text{Im}(V_{A1B1} \cdot I_{A1B1}^{**})}{\text{Im}(V_{lsab} \cdot I_{A1B1}^{**})} \quad (10)$$

onde:

$$V_{lsab} = (Z_{A1A1} - Z_{A1B1}) \cdot I_{A1} - (Z_{B1B1} - Z_{A1B1}) \cdot I_{B1} + (Z_{C1A1} - Z_{C1B1}) \cdot I_{C1} + \sum_K (Z_{A1K} - Z_{B1K}) \cdot I_K$$

com:

$K = A2, B2, C2, \dots$, indicando as fases A, B, C das diversas linhas acopladas.

V_{A1B1} = Tensão entre as fases A e B da linha 1.

I_{A1B1}^{**} = Complexo conjugado da corrente pura de falta entre as fases A e B da linha 1.

Além da suposição de que a corrente de falta I_f é proporcional em módulo e está em fase com a corrente do circuito puro de falta I_s , o algoritmo também assume que $\tan(\gamma \cdot x) = \gamma \cdot x$, onde γ é a constante de propagação da linha de transmissão. Essa aproximação é válida desde que as linhas de transmissão normalmente são curtas, sendo desprezíveis os efeitos para linhas de até 100km de distância. Para linhas mais longas, os efeitos dessa aproximação passam a ser sentidos, devendo ser efetuada uma compensação conforme a seguir:

$$x_2 = x_1 - \beta^2 \cdot x_1^3 / 3 \quad (11)$$

x_1 = Distância calculada por (8)

$\beta = \text{Im}(\gamma)$, sendo γ a constante de propagação

x_2 = Resultado compensado

3.2.2 Algoritmo De Wiszniewski

O algoritmo de Wiszniewski também é mais facilmente compreendido a partir de um circuito monofásico equivalente e posteriormente adaptado para um circuito trifásico, conforme detalhado em [Wiszniewski, 1983] e [Silveira, 2001].

3.2.2.1 Modelo Monofásico

A exemplo do algoritmo de Takagi, procura-se eliminar o efeito da corrente de carga sobre o defasamento entre a corrente do terminal onde se registram os sinais de tensão e da corrente de falta, adotando-se o princípio da superposição. Assim, o circuito de falta é mais uma vez analisado como a soma de um circuito pré-falta, onde temos apenas a corrente de carga da linha, e outro puro de falta. A Figura 3.3a, a seguir, ilustra uma rede com duas fontes equivalentes alimentando uma linha em falta através de uma resistência R_F em paralelo com outra linha sem falta.

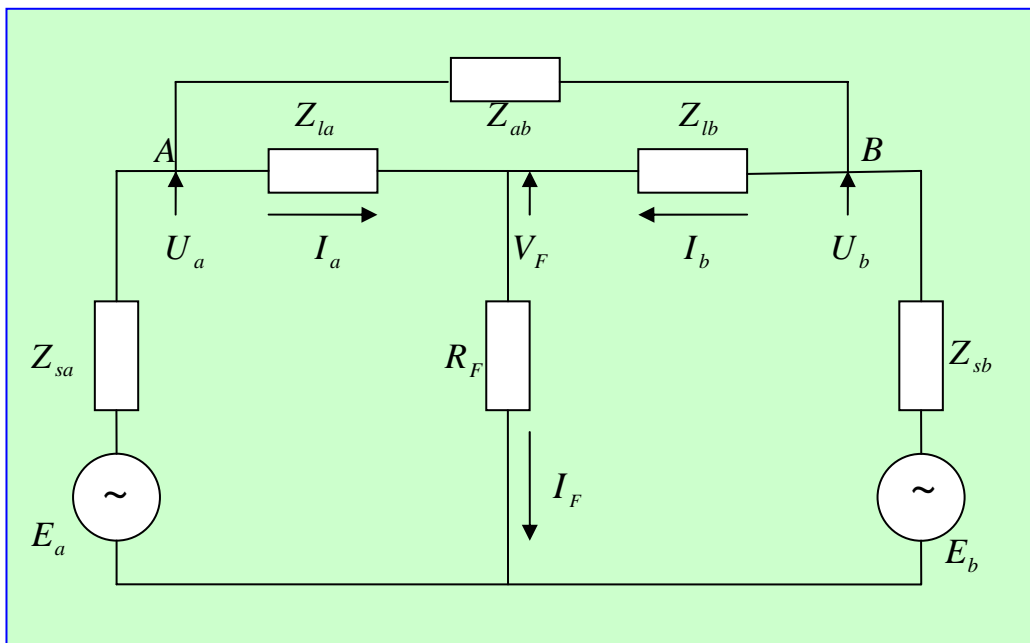


Figura 3.3a – circuito pré-falta Wiszniewski

As Figuras 3.3b e 3.3c abaixo, mostram, respectivamente, os circuitos pré-falta, e o puro de falta.

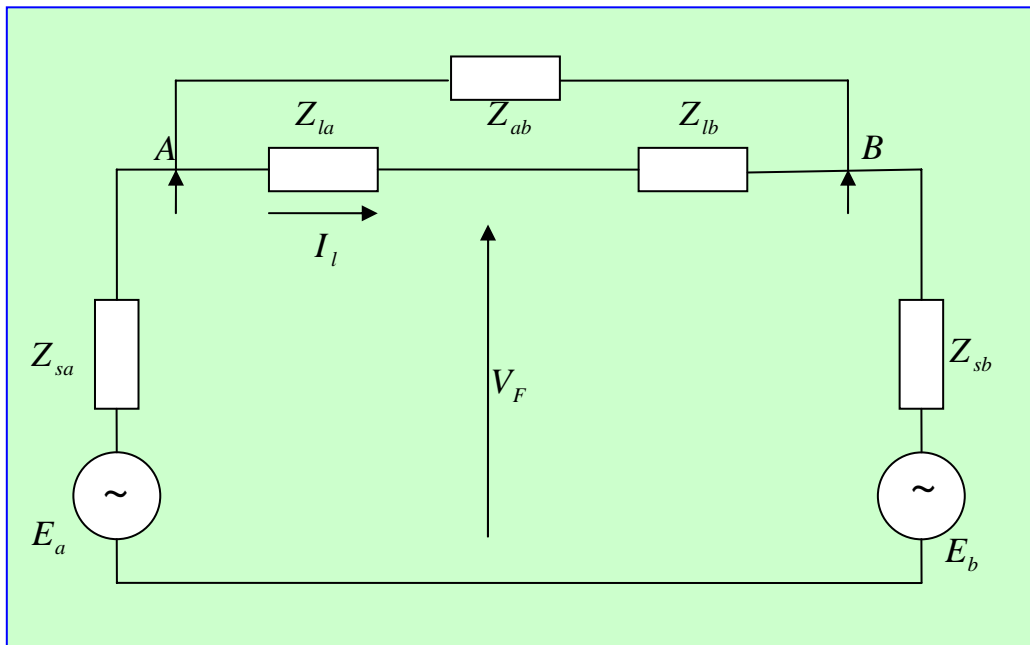


Figura 3.3b – circuito pré-falta Wiszniewski

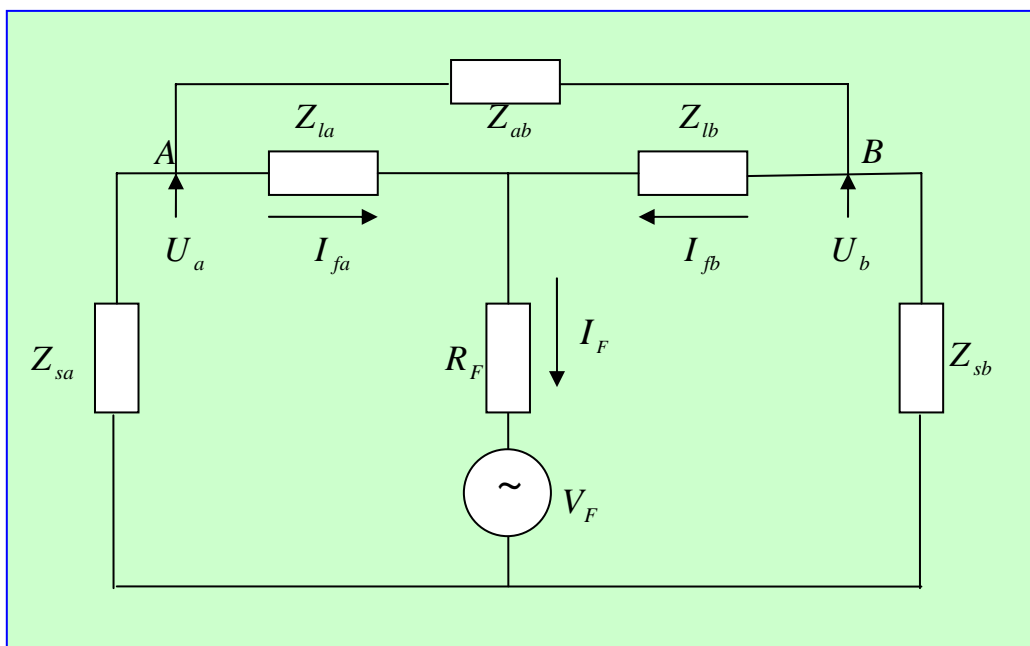


Figura 3.3c – circuito puro de falta Wiszniewski

A partir dos sinais de corrente e tensão, a impedância medida no terminal A é dada por $Z_a = U_a / I_a$.

Mas,

$$U_a = Z_{la} \cdot I_a + R_f \cdot I_f \quad \Rightarrow \quad Z_a = Z_{la} + R_f \cdot (I_f / I_a) \quad (12)$$

A corrente total de falta I_a , medida pelos registradores no instante da falta é a soma da corrente pura de falta I_{fa} da Figura 3.3c e da corrente de carga I_l da Figura 3.3b, ou seja:

$$I_a = I_{fa} + I_l \quad (13)$$

A corrente pura de falta I_{fa} é uma parcela de I_f do tipo

$$I_{fa} = k \cdot I_f \quad (14)$$

O fator de distribuição k independe do valor das tensões terminais E_a e E_b , mas apenas da configuração da rede. Para o sistema mostrado na Figura 3.3a, temos:

$$k = \frac{(Z_{lb} + Z_{sb}) \cdot Z_{ab} + (Z_{sa} + Z_{sb}) \cdot Z_{lb}}{(Z_{sa} + Z_{sb} + Z_{la} + Z_{lb}) \cdot Z_{ab} + (Z_{sa} + Z_{sb}) \cdot (Z_{lb} + Z_{lb})} \quad (15)$$

De (13), (14) e (15) a impedância entre o terminal, onde se mede os sinais, e o ponto de defeito é dada por:

$$Z_{la} = Z_a - (R_f / k) \cdot \left(\frac{I_a - I_l}{I_a \cdot e^{j\theta}} \right) \quad (16)$$

que pode ser desmembrada em duas equações escalares na forma:

$$\begin{aligned} X_{la} &= X_a - (R_f / k) \cdot b \\ R_{la} &= R_a - (R_f / k) \cdot a \end{aligned} \quad (17)$$

onde:

$$b = \text{Im} \left(\frac{I_a - I_l}{I_a \cdot e^{j\theta}} \right) \quad a = \text{Re} \left(\frac{I_a - I_l}{I_a \cdot e^{j\theta}} \right)$$

Eliminando (R_f/k) nas equações (17), e fazendo $\tan(\phi_l) = X_{la}/R_{la}$, a equação final da reatância até o ponto do defeito é:

$$X_{la} = X_a - \frac{R_a \cdot \tan(\phi_l) - X_a}{(a/b) \cdot \tan(\phi_l) - 1} \quad (18)$$

Nessa equação, R_a e X_a podem ser calculados a partir da impedância aparente medida com os valores instantâneos coletados de U_a e I_a , enquanto os fatores (a/b) são obtidos com os sinais de corrente instantâneos, da corrente de carga pré-falta e do fator de distribuição k , que assim como $\tan(\phi_l)$, são conhecidos. Isso permite o cálculo de X_{la} , que é proporcional à distância entre o terminal da linha e o ponto do defeito, que pode ser calculada independentemente do valor da resistência de falta R_f , pela eq. (18).

3.2.2.2 Adaptação Para Circuitos Trifásicos

A partir do circuito trifásico mostrado na Figura 3.4a, para um defeito bifásico teríamos:

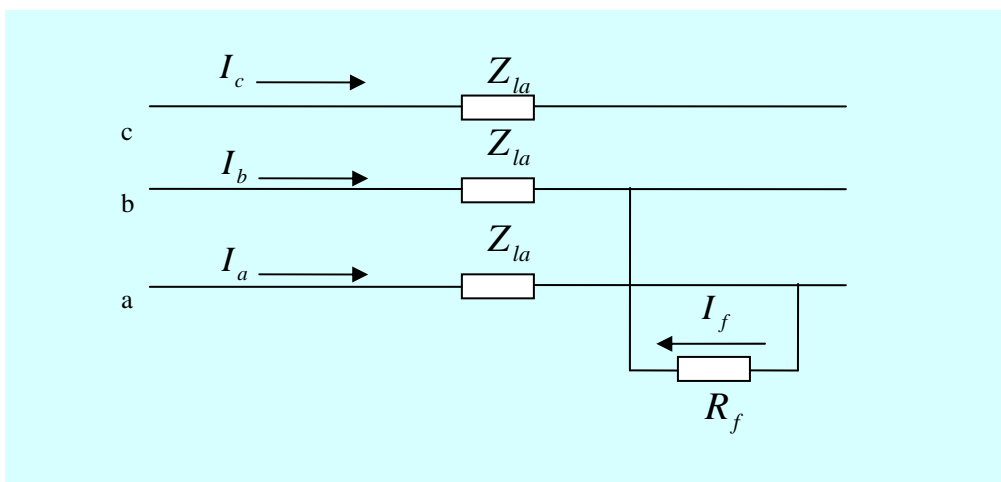


Figura 3.4a – curto bifásico - Wiszniewski

$$U_{ab} = Z_{la} \cdot I_{ab} + R_f \cdot I_f \quad \Rightarrow \quad Z_a = U_{ab} / I_{ab} = Z_{la} + R_f \cdot (I_f / I_{ab}) \quad (19)$$

Observando a similaridade entre as equações (12), (16) e (19), concluímos que a equação (18), que determina a reatância até o ponto do defeito, continua válida, bastando considerar:

$I_a \Rightarrow I_{ab} = I_a - I_b \rightarrow$ A diferença entre as correntes das fases em falta.

$I_l \Rightarrow I_{lab} = I_{la} - I_{lb} \rightarrow$ A diferença entre as correntes de carga das fases em falta.

$k \Rightarrow k_1 \rightarrow$ O fator de distribuição definido conforme equação (15), com as impedâncias de seqüência positiva.

Para um defeito monofásico, conforme Figura 3.4b abaixo, teríamos:

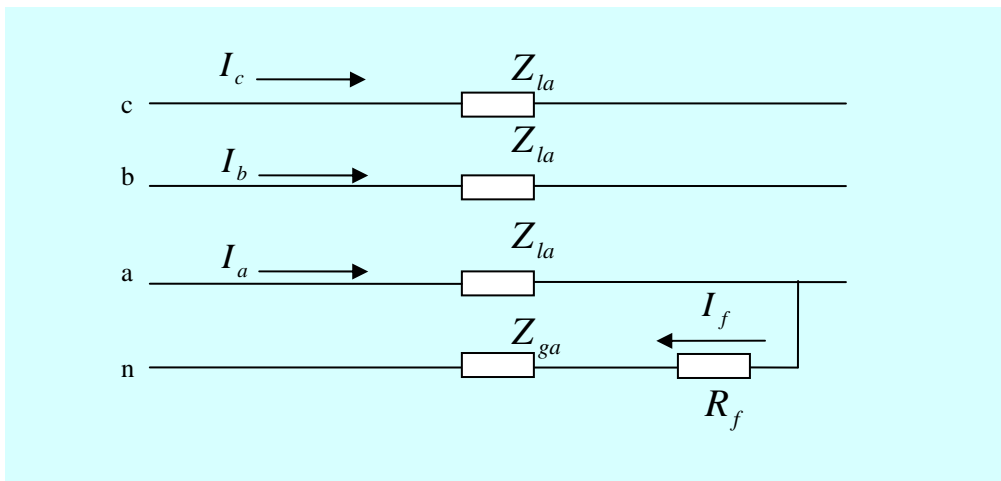


Figura 3.4b - curto monofásico- Wiszniewski

$$U_a = Z_{la} \cdot (I_a + m \cdot I_g) + R_f \cdot I_f$$

$$Z_a = U_a / (I_a + m \cdot I_g) = Z_{la} + R_f \cdot I_f / (I_a + m \cdot I_g) \quad (20)$$

com: $m = Z_{ga} / Z_{la}$

Assim, a equação (18) pode ser aplicada mais uma vez, considerando:

$I_a \Rightarrow I_a + m.I_g \rightarrow$ A corrente da fase em falta, compensada pela corrente de neutro.

$I_a - I_l \rightarrow$ A corrente da fase em falta, subtraída da corrente de carga.

$k \Rightarrow (2.k_1 + k_0)/3 \rightarrow$ Uma combinação dos fatores de distribuição de seqüência positiva e negativa, definidos conforme equação (15).

3.2.2.3 Considerações Sobre A Precisão Do Algoritmo

O primeiro aspecto importante a se considerar é que, fisicamente, a corrente de carga I_l não existe no momento em que se calcula a distância. Isso requer que ela seja armazenada, e que seu ângulo de fase esteja permanentemente relacionado com a corrente de defeito I_a . Uma alternativa para evitar esse armazenamento e sincronismo entre a corrente pré-falta e a corrente do instante em que se efetua o cálculo seria:

- Para defeitos monofásicos utilizar a corrente I_g em substituição a $I_a - I_l$, já que $I_b + I_c = -I_l$.
- Para defeitos bifásicos, calcular as correntes de carga das fases defeituosas, a partir do corrente da fase sem defeito, aplicando defasamentos de +120 e -120 graus.

Outro aspecto a se considerar é que a precisão do algoritmo é afetada pelo ângulo θ do fator de distribuição k definido por (15), que além de depender das impedâncias equivalentes das fontes terminais, varia de acordo com o ponto onde ocorre o defeito e, a priori, tem que ser estimado. Entretanto, de uma forma geral, esse ângulo é próximo de zero, já que todos os termos da equação (15) têm ângulos de fase similares. O maior valor de θ ocorre para curtos no terminal remoto, e mesmo assim, normalmente seu valor não ultrapassa 10 graus, sendo possível se adotar estratégias diversas para sua estimativa, entre as quais citamos:

- Prefixar $\theta = 0$.
- Prefixar θ no valor correspondente a um defeito no fim da linha.
- Utilizar um valor médio de θ para faltas ao longo da linha.
- Estimar θ a partir da suposição de que a reatância X_a , até o ponto de defeito, poderia ser calculada a partir das equações (17) e (18), o que permitiria obter os valores de $Z_{la} = X_a * (\cot(\phi l) + j)$ e $Z_{lb} = Z_{tot} - Z_{la}$.
- Durante o processo de simulações em ATP, realizadas e detalhadas no Capítulo 4, testamos, com relativo sucesso, a aplicação do processo anterior por uma única vez, bem como através de algumas iterações sucessivas para testar a convergência, utilizando-se os valores mais precisos de X_a , a partir do valor de distância calculado na iteração anterior.

3.2.3 Algoritmos Simplificados

Dentro do escopo desse trabalho procuramos avaliar *alguns algoritmos* que são usados no SISREP, software utilizado pela CHESF

para tratamento numérico e cálculo de distâncias de defeito, já detalhado no Capítulo 2, bem como outros utilizados em relés de distância. Esses algoritmos têm uma concepção bastante simplificada, e uma vez que no capítulo seguinte serão efetuadas simulações em ATP para avaliação de cada um deles, poderemos ter uma visão mais realista dos efeitos dessas considerações.

3.2.3.1 Algoritmo Da Impedância Vista Pelo Relé

Conforme sugerido por [Sachdev et al, 1988], uma forma bastante simples de se calcular a impedância a partir dos registros de corrente e tensão de um terminal, e conseqüentemente se obter a distância até o ponto da falta, seria a utilização da relação $Z = V / I$.

Para defeitos bifásicos nas fases a e b teríamos:

$$Z = V_{ab} / I_{ab} = \frac{V_a - V_b}{I_a - I_b} \quad (21)$$

Para defeitos monofásicos na fase a , se utilizaria a tensão e a corrente da fase envolvida, essa última compensada pela corrente de neutro:

$$Z = \frac{V_a}{I_a + 3.k.I_0} \quad (22)$$

onde : $k = \frac{Z_0 - Z_1}{3.Z_1}$

Diferentemente dos algoritmos de Takagi e Wiszniewski, facilmente podemos perceber que esse algoritmo não tem qualquer compensação para os efeitos da resistência de falta o que certamente o torna menos confiável, conforme será visto no capítulo seguinte.

3.2.3.2 Algoritmos Utilizados No SISREP

O SISREP é um software de propriedade da Reason Tecnologia SA, que fornece, entre outros produtos, Registradores Digitais de Perturbação – RDP - para oscilografia, largamente utilizados na CHESF. O software abrange uma série de funções, entre as quais a de localização de falta, cujos algoritmos utilizados não estão disponíveis nos seus manuais, entretanto, em contatos mantidos com os desenvolvedores do sistema, conseguimos alguns passíveis de serem utilizados, que nos foram fornecidos com o objetivo de avaliar seu desempenho, para as diferentes simulações em ATP, que apresentamos no Capítulo 4. A partir dessa avaliação de desempenho de algumas das variantes do algoritmo poderíamos escolher aquela que melhor se aplicasse, de acordo com o tipo de falta, condições das fontes equivalentes do sistema, resistência de arco, etc.

De uma forma geral, os algoritmos propostos se originam na equação:

$$Q = X.I^2 \quad (23)$$

onde Q é a potência reativa, X é a reatância até o ponto do defeito, e I é a corrente na barra em que se realizam as medições. Se a reatância X for expressa por unidade de comprimento, a distância até o ponto de defeito será dada por:

$$d = \frac{Q}{X.I^2} \quad (24)$$

a) Algoritmo monofásico simplificado - variante 1

Nesse algoritmo, é utilizada a equação (24), adotando-se:

$X = (X_0 + X_1 + X_2)/3 \rightarrow$ A média das reatâncias de seqüência da linha;

$Q = \text{Im}(V.I^*) \rightarrow$ A potência reativa medida na fase sob defeito;

$I \rightarrow$ O valor absoluto da corrente eficaz da fase sob defeito.

b) Algoritmo monofásico simplificado - variante 2

Esse algoritmo é similar ao anterior, adotando-se, porém, uma reatância equivalente indutiva da linha, ponderada em função da corrente de seqüência zero, ou seja:

$$X = \frac{(X_1 \cdot (I_1 + I_2) + X_0 \cdot I_0)}{I_1 + I_2 + I_0}$$

Considerando $I_a = I_1 + I_2 + I_0$, temos:

$$X = \frac{(X_1 \cdot (I_a - I_0) + X_0 \cdot I_0)}{I_a}$$

Esse algoritmo se propõe a funcionar adequadamente para curtos de baixa impedância, o que será avaliado no capítulo seguinte.

c) Algoritmo monofásico simplificado - variante 3

Nesse algoritmo se consideram três circuitos de seqüência independentes, de forma que a equação (23) fica adaptada para:

$$d = \frac{Q}{X_1 \cdot I_1^2 + X_2 \cdot I_2^2 + X_0 \cdot I_0^2} \quad (25)$$

com:

$X_0, X_1, X_2 \rightarrow$ As reatâncias de seqüência da linha;

$Q = \text{Im}(V \cdot I^*) \rightarrow$ A potência reativa medida na fase sob defeito;

$I_1, I_2, I_0 \rightarrow$ O valor absoluto das correntes de seqüência;

Considerando que: $I_a = I_1 + I_2 + I_0$, $I_1 = I_2$ e $X_1 = X_2$

$$d = \frac{Q}{2 \cdot X_1 \cdot ((I_a - I_0)/2)^2 + X_0 \cdot I_0^2} \quad (26)$$

Esse algoritmo se propõe a funcionar adequadamente para curtos de média impedância, o que será avaliado no capítulo seguinte.

d) Algoritmo monofásico simplificado - variante 4

O algoritmo a seguir é empírico, sem qualquer dedução matemática, e adaptado da equação (24), baseado apenas em experiências de campo, adotando-se:

$$d = \frac{Q}{X_1 \cdot (I_1 + I_2)^2} = \frac{Q}{X_1 \cdot (I_a - I_0)^2} \quad (27)$$

Esse algoritmo se propõe a funcionar adequadamente para curtos de alta impedância, o que será avaliado no capítulo seguinte.

e) Algoritmo bifásico simplificado - variante 1

Esse algoritmo é similar ao monofásico mostrado acima no item a, sendo utilizada a equação (24), adotando-se:

$X = (X_0 + X_1 + X_2)/3 \rightarrow$ a média das reatâncias de seqüência da linha;

$Q = \text{Im}(V_{ab} \cdot I_a^*) \rightarrow$ A potência reativa medida nas fases sob defeito;

$I_a \rightarrow$ O valor absoluto da corrente eficaz de uma fase sob defeito;

f) Algoritmo bifásico simplificado - variante 2

Nessa variante, utiliza-se ainda a equação (24), e adota-se:

$X = (X_1 \cdot I_{ab} + X_0 \cdot I_0) / I_a \rightarrow$ As reatâncias de seqüência, ponderadas pelas respectivas correntes;

$Q = \text{Im}(V_{ab} \cdot I_a^*) \rightarrow$ A potência reativa medida nas fases sob defeito;

$I^2 = I_a^2 + I_b^2 \rightarrow$ A soma dos valores absolutos das correntes das fases sob defeito.

g) Algoritmo bifásico simplificado - variante 3

Nessa variante, continua-se utilizando a equação (24), onde se adota:

$X = (X_1 \cdot I_{ab} + X_0 \cdot I_0) / I_a \rightarrow$ As reatâncias de seqüências ponderadas pelas respectivas correntes;

$Q = \text{Im}(V_{ab} \cdot I_{ab}^* / 2) \rightarrow$ A potência reativa medida nas fases sob defeito, utilizando-se as correntes dessas duas fases;

$I^2 = I_a^2 + I_b^2 \rightarrow$ A soma dos valores absolutos das correntes das fases sob defeito;

h) Algoritmo bifásico simplificado - variante 4

Para o algoritmo a seguir, também não obtivemos uma dedução lógica, e é adaptado da equação (24), para:

$$d = \frac{Q}{X_0 \cdot I_0^2 + 6 \cdot X_1 \cdot \{[(I_a - I_0) / 2]^2 + [(I_b - I_0) / 2]^2\}} \quad (28)$$

Cada um dos algoritmos simplificados acima será testado em duas situações distintas. A primeira, exclusivamente com as correntes do momento da falta, e a segunda, eliminando-se os efeitos da corrente de carga, obtida do momento pré-falta ou estimada conforme já mostrado anteriormente no item 3.2.2.3.

3.3 Algoritmos Baseados Em Fasores Com Dados Dos Dois Terminais

A disponibilidade dos fasores de corrente e tensão dos dois terminais da linha de transmissão possibilita uma maior flexibilidade no manuseio das equações que relacionam essas grandezas, eliminando a necessidade de suposições ou artifícios de cálculo que ocorrem nos algoritmos que utilizam dados de um único terminal. Como veremos a seguir os efeitos da resistência de arco podem ser totalmente eliminados, mesmo que ela não seja constante durante o defeito.

Os algoritmos baseados em fasores com dados de dois terminais se dividem em dois subgrupos:

- Algoritmos com amostras sincronizadas;
- Algoritmos com amostras assíncronas.

As amostras são consideradas sincronizadas se coletadas nos terminais local e remoto exatamente no mesmo instante, o que pode ser conseguido através de um sistema GPS que comande e controle os dois Registradores Digitais de Perturbação. Caso não se disponha de um sistema para sincronizar as amostras dos dois terminais, teremos um deslocamento de fase entre elas, que se constituirá numa variável adicional a ser determinada, além daquelas já referenciadas, como a resistência de falta e a distância do defeito.

3.3.1 Algoritmos Com Amostras Sincronizadas

De acordo com [Kezunovic et al, 1999], com amostras sincronizadas dos dois terminais, alguns algoritmos podem ser desenvolvidos de forma bastante simples a partir do uso da equação (4), aplicada para os dois terminais, conforme a seguir:

$$V_s = x.Z.I_s + V_F \quad (29)$$

$$V_r = (d - x).Z.I_r + V_F \quad (30)$$

onde:

$V_s, V_r \rightarrow$ As tensões medidas no terminal local e remoto, respectivamente;

$I_s, I_r \rightarrow$ As correntes medidas no terminal local e remoto, respectivamente;

$Z \rightarrow$ A impedância da linha, considerada constante ao longo de sua extensão;

$V_F \rightarrow$ A tensão, desconhecida, no ponto de falta;

$d \rightarrow$ O comprimento total da linha de transmissão;

$x \rightarrow$ A distância do terminal local até o ponto de defeito, a ser calculada;

Manipulando essas duas últimas equações, podemos eliminar a tensão no ponto de falta, e determinar a distância até o ponto de defeito x , através de:

$$x = \frac{V_s - V_r - Z.I_r.d}{Z.(I_s + I_r)} \quad (31)$$

3.3.1.1 Algoritmos Baseados Nas Grandezas De Seqüência

Uma vez que as equações (29), (30) são válidas para qualquer um dos circuitos de seqüência, zero, positiva e negativa, podemos escolher apropriadamente qualquer uma delas, de forma que teremos 6 equações escalares do tipo:

a) Seqüência zero

$$x = \frac{\text{real}(V_{s0} - V_{r0} - Z_0 \cdot I_{r0} \cdot d)}{\text{real}[Z_0 \cdot (I_{s0} + I_{r0})]} \quad (32)$$

ou

$$x = \frac{\text{Im}(V_{s0} - V_{r0} - Z_0 \cdot I_{r0} \cdot d)}{\text{Im}[Z_0 \cdot (I_{s0} + I_{r0})]} \quad (33)$$

b) Seqüência positiva

$$x = \frac{\text{real}(V_{s1} - V_{r1} - Z_1 \cdot I_{r1} \cdot d)}{\text{real}[Z_1 \cdot (I_{s1} + I_{r1})]} \quad (34)$$

ou

$$x = \frac{\text{Im}(V_{s1} - V_{r1} - Z_1 \cdot I_{r1} \cdot d)}{\text{Im}[Z_1 \cdot (I_{s1} + I_{r1})]} \quad (35)$$

c) Seqüência negativa

$$x = \frac{\text{real}(V_{s2} - V_{r2} - Z_2 \cdot I_{r2} \cdot d)}{\text{real}[Z_2 \cdot (I_{s2} + I_{r2})]} \quad (36)$$

ou

$$x = \frac{\text{Im}(V_{s2} - V_{r2} - Z_2 \cdot I_{r2} \cdot d)}{\text{Im}[Z_2 \cdot (I_{s2} + I_{r2})]} \quad (37)$$

Existem várias alternativas de uso dessas equações, que numa primeira abordagem, podem ser usadas isoladamente, se escolhendo aquela mais apropriada de acordo com o tipo de defeito, mono, bi ou trifásico, podendo-se evitar situações em que a soma das correntes da seqüência escolhida seja muito próximo de zero, a ponto de tornar a equação bastante susceptível a pequenos erros de medida ou ruído. É de se esperar, e isso será mais bem avaliado no capítulo seguinte, que para defeitos monofásicos tenhamos um desempenho razoável dos algoritmos com qualquer das grandezas de seqüência zero, positiva e negativa, enquanto que para defeitos bifásicos o desempenho seja mais eficiente para as grandezas de seqüência negativa e positiva.

Outra alternativa é combinar o uso de algumas das equações, de acordo com o tipo de defeito, e utilizar alguma técnica de otimização de forma a encontrar um valor de x que apesar de não resolver individualmente nenhuma das equações, minimize o erro global de acordo com um critério de erro e condições estabelecidas.

Entre essas técnicas, a dos mínimos quadrados – MLS (minimum least squares) é bastante utilizada, procurando assegurar que a soma de todos os erros quadrados seja o menor possível. Para o caso em questão teríamos que encontrar um valor de x tal que:

$$A.x + B = E \quad (38)$$

onde, comparando com a equação (31), teríamos:

$A = -Z(I_s + I_r)$ e $B = V_s - V_r - Z.I_r.d$ → os vetores com as partes real e imaginária das componentes de seqüência zero, positiva e negativa.

$E \rightarrow$ o vetor de erros obtido para o valor de x especificado.

A solução que minimiza o critério $Err = E^T E$ é dada por:

$$x = -(A^T . A)^{-1} . (A^T . B) \quad (39)$$

Finalmente, deve ser observado ainda que a utilização de algoritmos baseados em grandezas de seqüência, conforme descrito acima, além de resolver as imprecisões decorrentes do desconhecimento da resistência de defeito, também elimina os efeitos das mútuas entre fases, uma vez que no cálculo das impedâncias de seqüência esses parâmetros são considerados. Outra vantagem de se usar as grandezas de seqüência é a sua aplicação para qualquer tipo de defeito, sem necessidade de se escolher as tensões e correntes a serem usadas no cálculo, em função do tipo de falta.

3.3.1.2 Algoritmos Baseados Nas Grandezas De Fase

Aplicando-se as equações (29) , (30) e (31) para as grandezas de tensão e corrente de fase, teríamos, para um defeito monofásico envolvendo a fase a :

$$x = \frac{\text{real}(V_{sa} - V_{ra} - Z_a . I_{ra} . d)}{\text{real}[Z_a . (I_{sa} + I_{ra})]} \quad (40)$$

ou

$$x = \frac{\text{Im}(V_{sa} - V_{ra} - Z_a . I_{ra} . d)}{\text{Im}[Z_a . (I_{sa} + I_{ra})]} \quad (41)$$

É importante observar que para se obter uma maior precisão nessa modelagem, seria necessário considerar o efeito das mútuas entre fases e entre linhas, o que seria possível substituindo-se os termos $Z.I$ por uma queda de tensão que venha a incorporar os efeitos das correntes das outras fases da linha de transmissão e de outras paralelas, o que transformaria as equações (40) e (41) em:

$$x = \frac{\text{real}(V_{sa} - V_{ra} - V_{rla}.d)}{\text{real}[V_{rla} + V_{sla}]} \quad (42)$$

ou

$$x = \frac{\text{Im}(V_{sa} - V_{ra} - V_{rla}.d)}{\text{Im}[V_{rla} + V_{sla}]} \quad (43)$$

onde:

$$V_{rla} = Z_{aa}.I_{ra} + Z_{ab}.I_{rb} + Z_{ac}.I_{rc}$$

$$V_{sla} = Z_{aa}.I_{sa} + Z_{ab}.I_{sb} + Z_{ac}.I_{sc}$$

Caso existissem linhas paralelas, teria que ser acrescentada a influência das correntes de fase dessas linhas com as respectivas mútuas para a fase defeituosa.

3.3.1.3 Algoritmos Baseados Em Grandezas Modais

Esse algoritmo é apresentado com maiores detalhes em [Sollero et al, 2001] e faz parte do Sistema Integrado de Apoio à Análise de Perturbações – SINAPE, desenvolvido pelo CEPEL. A filosofia básica da metodologia proposta pode ser mais bem entendida a partir de uma linha monofásica, conforme Figura 3.5 abaixo:

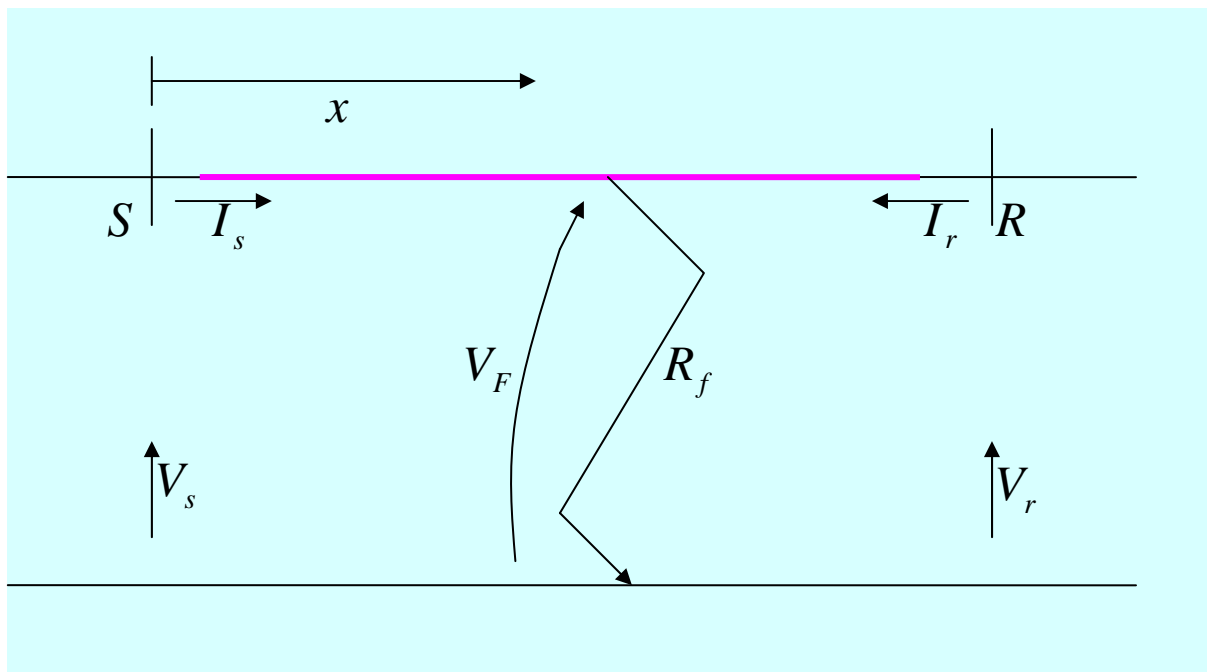


Figura 3.5 – Sistema monofásico sob falha

Usando as equações que definem os perfis de tensão ao longo da linha, em função da distância até o ponto de falha, para os dois terminais, temos:

$$V_F(x) = V_s \cdot \cosh(\gamma \cdot x) - Z_w \cdot I_s \cdot \sinh(\gamma \cdot x) \quad (44)$$

$$V_F(x) = V_r \cdot \cosh[\gamma \cdot (d - x)] - Z_w \cdot I_r \cdot \sinh[\gamma \cdot (d - x)] \quad (45)$$

onde:

$Z_w = \sqrt{Z/Y} \rightarrow$ A impedância característica da linha;

$\gamma = \sqrt{Z.Y} \rightarrow$ A constante de propagação da linha;

Eliminando-se V_r , conclui-se que:

$$x = [\operatorname{tgh}^{-1}(-B/A)]/\gamma \quad (46)$$

onde:

$$A = Z_w \cdot I_r \cdot \cosh(\gamma \cdot d) - V_r \cdot \sinh(\gamma \cdot d) + Z_w \cdot I_s \quad (47)$$

$$B = V_r \cdot \cosh(\gamma \cdot d) - Z_w \cdot I_r \cdot \sinh(\gamma \cdot d) + V_s \quad (48)$$

A extensão para um sistema trifásico é feita substituindo-se essas equações algébricas por relações matriciais similares apropriadas, que incluem também os termos que refletem os acoplamentos mútuos indutivos e capacitivos entre as fases. A simplificação dessas equações matriciais é proposta com a diagonalização dessas matrizes que relacionam as tensões e correntes do sistema, reduzindo a solução para n equações monofásicas independentes.

Essa diagonalização é obtida com a introdução de variáveis modais (subscrito m), através de transformações lineares das tensões e correntes, conforme abaixo:

$$[V] = [S] \cdot [V]_m \rightarrow [V]_m = [S]^{-1} \cdot [V] \quad (49)$$

$$[I] = [Q] \cdot [I]_m \rightarrow [I]_m = [Q]^{-1} \cdot [I] \quad (50)$$

Os detalhes dessa transformação podem ser encontrados em [Wedepohl, 16], mas demonstra-se que se $[Q]$ e $[S]$ forem escolhidas como as matrizes dos autovetores de $[Z] \cdot [Y]$ e de $[Y] \cdot [Z]$ respectivamente, então uma linha trifásica poderá ser

decomposta em sistemas monofásicos desacoplados, existindo um par de equações similares a (44) e (45) para cada uma das 3 componentes modais.

Para cada um dos modos existe uma constante de propagação associada γ_i , definida pela matriz diagonal $[\gamma]$ dos autovalores de $[Z].[Y]$, e uma impedância característica modal, dada pelos elementos da diagonal de $[Z_{wm}] = [\gamma]^{-1} . [S]^{-1} . [Z] . [Q]$.

Com essas novas grandezas modais definidas, as equações (44) e (45) para o modo i ficam da seguinte forma:

$$V_{Fm_i}(x) = V_{sm_i} . \cosh(\gamma_i . x) - Z_{wm_i} . I_{sm_i} . \sinh(\gamma_i . x) \quad (51)$$

$$V_{Fm_i}(x) = V_{rm_i} . \cosh[\gamma_i . (d - x)] - Z_{wm_i} . I_{rm_i} . \sinh[\gamma_i . (d - x)] \quad (52)$$

analogamente, o valor de x será dado por:

$$x = [\operatorname{tgh}^{-1}(-B_i / A_i)] / \gamma_i \quad (53)$$

onde:

$$A_i = Z_{wmi} . I_{rmi} . \cosh(\gamma_i . d) - V_{rmi} . \sinh(\gamma_i . d) + Z_{wmi} . I_{smi} \quad (54)$$

$$B_i = V_{rmi} . \cosh(\gamma_i . d) - Z_{wmi} . I_{rmi} . \sinh(\gamma_i . d) + V_{smi} \quad (55)$$

Para um circuito trifásico simples o valor da distância até o ponto de defeito x pode ser calculada por qualquer um dos modos, cujo desempenho será avaliado nas simulações do capítulo seguinte. Aqui também podemos aplicar o método dos mínimos quadrados aplicado no item 3.3.1.1, equações (38) e (39), onde os vetores A e B seriam:

$$A = [\gamma_1; \gamma_2; \gamma_3]$$

$$B = [\operatorname{tgh}^{-1}(-B_1 / A_1); \operatorname{tgh}^{-1}(-B_2 / A_2); \operatorname{tgh}^{-1}(-B_3 / A_3)]$$

3.3.2 Algoritmos Com Amostras Assíncronas

Ainda de acordo com (Kezunovic et al, 1999), com amostras não sincronizadas dos dois terminais, as equações (29) e (30), que serviram de base para os algoritmos com amostras sincronizadas, terão que ser adaptadas, pois como todas as tensões e correntes coletadas do terminal remoto terão um defasamento φ , constante em relação ao seu real valor na base de tempo do terminal local. Esse defasamento representa uma nova variável a ser eliminada juntamente com a distância do defeito x e da resistência de arco R_f .

3.3.2.1 Algoritmos Baseados Nas Grandezas De Seqüência

Considerando esse defasamento, as equações (29) e (30) permanecem válidas, se escritas da seguinte forma [1]:

$$V_s = x.Z.I_s + V_F \quad (29)$$

$$V_r = (d - x).Z.I_r + V_F' \quad (30')$$

onde V_F e V_F' são as tensões no ponto de falta, calculadas a partir dos dados do terminal local e remoto, respectivamente, que estarão defasados de um ângulo φ , porém terão o mesmo módulo, ou seja:

$$V_F' = V_F \cdot e^{j\varphi} \quad (56)$$

Usando essa condição, teremos:

$$|V_s - x.Z.I_s| = |V_r - (d - x).Z.I_r| \quad (57)$$

que é uma equação quadrática em relação a x , cuja solução possui 2 raízes dadas por:

$$r_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4.a.c}}{2.a} \quad (58)$$

$$r_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4.a.c}}{2.a} \quad (59)$$

com

$$a = |Z.I_r|^2 - |Z.I_s|^2$$

$$b = 2.\{\text{Re}[V_s.(Z.I_s)^*] + \text{Re}[(V_r - d.Z.I_r).(Z.I_r)^*]\}$$

$$c = |V_r - d.Z.I_r|^2 - |V_s|^2$$

As equações (58) e (59) podem ser usadas para qualquer um dos diagramas de seqüência, para defeitos mono ou bifásicos, bastando para isso se escolher as grandezas e parâmetros adequados ao circuito escolhido.

Para uso das grandezas de seqüência zero, por exemplo, e que como veremos adiante, só será efetivo para defeitos envolvendo a terra, teríamos:

$$a = |Z_0.I_{r0}|^2 - |Z_0.I_{s0}|^2$$

$$b = 2.\{\text{Re}[V_{s0}.(Z_0.I_{s0})^*] + \text{Re}[(V_{r0} - d.Z_0.I_{r0}).(Z_0.I_{r0})^*]\}$$

$$c = |V_{r0} - d.Z_0.I_{r0}|^2 - |V_{s0}|^2$$

Para os circuitos de seqüência positiva e negativa teríamos equações similares. A utilização do circuito de seqüência negativa será efetiva tanto para defeitos monofásicos como para bifásicos. Já o circuito de seqüência positiva será o único aplicável para defeitos trifásicos equilibrados.

Um outro aspecto importante é a existência de duas raízes para o valor de x , onde efetivamente apenas uma delas corresponderá ao ponto de defeito. A escolha de qual das raízes dependerá do circuito de seqüência que se estiver usando, e será avaliada no capítulo seguinte.

3.3.2.2 Algoritmos Baseados Nas Grandezas De Fase

Embora o uso dos circuitos de seqüência seja mais vantajoso, pelas razões já citadas no item 3.3.3.1, também podemos utilizar as equações (58) e (59) com as tensões e correntes de fase dos dois terminais, conforme a seguir:

$$a = |Z.I_r|^2 - |Z.I_s|^2$$

$$b = 2 \cdot \{ \text{Re}[V_{sa} \cdot (Z.I_s)^*] + \text{Re}[(V_{ra} - d.Z.I_r) \cdot (Z.I_r)^*] \}$$

$$c = |V_{ra} - d.Z.I_r|^2 - |V_{sa}|^2$$

Aqui também é importante observar a necessidade de se considerar o efeito das mútuas entre fases e entre linhas, substituindo-se os termos $Z.I$ por uma queda de tensão apropriada da fase sob defeito, incorporando os efeitos das

correntes das outras fases da linha transmissão e de outras paralelas, do tipo:

$$ZI_r = Z_{aa} \cdot I_{ra} + Z_{ab} \cdot I_{rb} + Z_{ac} \cdot I_{rc}$$

$$ZI_s = Z_{aa} \cdot I_{sa} + Z_{ab} \cdot I_{sb} + Z_{ac} \cdot I_{sc}$$

3.3.3 Algoritmo de Sachdev

Esse algoritmo é detalhadamente mostrado em [Sachdev et al, 1988], e se propõe a calcular a distância até o ponto de falta a partir de dados não sincronizados dos dois terminais, sem uso de correntes pré-faltas nem de estimativas de fatores de distribuição das fontes equivalentes, como requerido em alguns algoritmos que usam dados de um único terminal mostrados anteriormente.

3.3.3.1 Estimativa Para Faltas Monofásicas

Sem considerar os efeitos da resistência de arco, muitos relés utilizam a relação abaixo para estimar a impedância vista em seu terminal, a partir das grandezas de fase e seqüência, conforme já visto no item 3.2.3.1:

$$Z_{sap} = V_{as} / (I_{as} + 3.k.I_{0s}) \quad (60)$$

$$Z_{rap} = V_{ar} / (I_{ar} + 3.k.I_{0r}) \quad (61)$$

onde os índices s e r referenciam as grandezas dos terminais local e remoto, respectivamente. Utilizando as relações entre as

tensões e correntes dos circuitos de seqüência, mostra-se facilmente que:

$$Z_{sap} = Z_{1sf} + UV_s \cdot (1 + p_0) \cdot R_F \quad (62)$$

$$Z_{rap} = Z_{1rf} + UV_r \cdot (1 + 1/p_0) \cdot R_F \quad (63)$$

onde:

$Z_{1sf}, Z_{1rf} \rightarrow$ Impedância real das barras s e r até o ponto de defeito, a ser comparada com a impedância de seqüência positiva total da linha.

$UV_s = u_s + j \cdot v_s = 3 \cdot I_{0s} / (I_{as} + 3 \cdot k \cdot I_{0s}) \rightarrow$ Relação entre correntes do terminal local, que independe de sincronização.

$UV_r = u_r + j \cdot v_r = 3 \cdot I_{0r} / (I_{ar} + 3 \cdot k \cdot I_{0r}) \rightarrow$ Relação entre correntes do terminal remoto, que independe de sincronização.

$R_F \rightarrow$ Resistência da falta, desconhecida.

$p_0 = I_{0r} / I_{0s} \rightarrow$ relação entre correntes de seqüência zero dos dois terminais, cujo módulo independe de sincronização, e o ângulo φ é uma variável a ser determinada.

Usando o fato de que $Z_{1sf} + Z_{1rf} = Z_{tot}$, é a impedância total de seqüência positiva da linha, e manipulando-se as equações (62) e (63), determina-se os valores de φ e R_F pelas equações seguintes:

$$\cos(\varphi) = \frac{-d + \sqrt{c^2 + d^2 - 1}}{c^2 + d^2} \quad (64)$$

$$\sin(\varphi) = (1 + d \cdot \cos(\varphi)) / c \quad (65)$$

onde:

$$c = \frac{a \cdot (u_s \cdot |p_0| - u_r / |p_0|) + b \cdot (v_s \cdot |p_0| - v_r / |p_0|)}{b \cdot (u_s + u_r) - a \cdot (v_s + v_r)} \quad (66)$$

$$d = \frac{b \cdot (u_s \cdot |p_0| + u_r / |p_0|) - a \cdot (v_s \cdot |p_0| + v_r / |p_0|)}{b \cdot (u_s + u_r) - a \cdot (v_s + v_r)} \quad (67)$$

sendo:

$$a = \text{Re}(Z_{sap} + Z_{rap} - Z_{tot})$$

$$b = \text{Im}(Z_{sap} + Z_{rap} - Z_{tot})$$

Determinado o ângulo φ , calcula-se a resistência de falta R_F e, então, a impedância de seqüência positiva até o ponto de defeito, conforme abaixo:

$$R_F = a / [u_s + u_r + (u_s \cdot |p_0| + u_r / |p_0|) \cdot \cos \varphi - (v_s \cdot |p_0| - v_r / |p_0|) \cdot \sin \varphi] \quad (68)$$

$$Z_{1sf} = Z_{sap} - R_F [(1 + |p_0| \cdot \cos \varphi) \cdot u_s - v_s \cdot |p_0| \cdot \sin \varphi + j \cdot (1 + |p_0| \cdot \cos \varphi) \cdot v_s + u_s \cdot |p_0| \cdot \sin \varphi] \quad (69)$$

A distância até o ponto de defeito será:

$$x = d \cdot [\text{Im}(Z_{1sf}) / \text{Im}(Z_{tot})] \quad (70)$$

3.3.3.2 Estimativa Para Faltas Bifásicas

Para faltas bifásicas, as equações (60) e (61), relativas à impedância vista pelo relé, para um defeito envolvendo as fases a e b de um terminal da linha de transmissão, ficam:

$$Z_{sap} = V_{abs} / I_{abs} \quad (71)$$

$$Z_{rap} = V_{abr} / I_{abr} \quad (72)$$

De forma similar, mostra-se que as equações (62) e (63) permanecem válidas, na forma abaixo, sendo que:

$$Z_{sap} = Z_{1sf} + UV_s \cdot (1 + p_1) \cdot R_F \quad (73)$$

$$Z_{rap} = Z_{1rf} + UV_r \cdot (1 + 1/p_1) \cdot R_F \quad (74)$$

$Z_{1sf}, Z_{1rf} \rightarrow$ Impedância real das barras s e r até o ponto de defeito, a ser comparada com a impedância de seqüência positiva total da linha.

$UV_s = u_s + j \cdot v_s = I_{1s} / (I_{1s} - I_{2s}) \rightarrow$ Relação entre correntes de seqüência positiva e negativa do terminal local, que independe de sincronização.

$UV_r = u_r + j \cdot v_r = I_{1r} / (I_{1r} - I_{2r}) \rightarrow$ Relação entre correntes de seqüência positiva e negativa do terminal remoto, que independe de sincronização.

$R_F \rightarrow$ Resistência da falta, desconhecida.

$p_1 = I_{1r} / I_{1s} \rightarrow$ relação entre correntes de seqüência positiva dos dois terminais, cujo módulo independe de sincronização, e o ângulo φ é uma variável a ser determinada.

Com essa adaptação das grandezas a serem consideradas, todo o processo de cálculo da distância, definido pelas equações (64) a (70) do procedimento anterior, pode ser adotado.

3.4 Outros Algoritmos

Todos os algoritmos apresentados e outros existentes na literatura são baseados em fasores, que precisam ser estimados em cada um dos terminais da linha, a partir das amostras coletadas pelos RDP. A existência de ruídos e a presença de uma componente DC durante o transitório em que ocorre a falta pode gerar erros nessa estimativa, razão pela qual alguns algoritmos dispensam o uso de fasores e utilizam técnicas baseadas nas equações diferenciais da linha (1) e (2).

Segundo [Kezunovic et al, 1999], duas variações dessa técnica têm sido propostas para localização de faltas em linhas de transmissão. A primeira propõe a solução das equações diferenciais usando métodos numéricos, utilizando a tensão e a corrente terminal como condições de contorno. Uma inspeção da solução de tensão ao longo da linha permite a identificação do ponto de falta, conforme mais bem detalhado por [Kholas, 1973] e [Collatz, 1960].

A segunda variante, sem resolver a equação diferencial, se baseia na característica das ondas viajantes, e explora as propriedades das correntes e tensões terminais para calcular a distância através de um adequado processamento dos sinais, conforme [Ibe, 1985] e [Ancell et al, 1994]. Normalmente se utiliza a correlação cruzada entre uma seção da primeira onda viajante direta, e a segunda onda viajante reversa, que reflete no ponto de falta e retorna ao ponto de medida. A distância da falta é então estimada a partir do intervalo de viagem dos transitórios.

Mais recentemente, tem sido proposto o uso de redes neurais, conforme apresentado por [Oleskovicz, 2001], bem como de técnicas especiais para tratamento de sinais, como a transformada wavelet [Silveira, 2001], entretanto, essas

considerações são meramente informativas, uma vez que o foco que pretendemos dar a esse trabalho está direcionado para os algoritmos baseados em fasores.

3.5 Considerações Sobre O Desempenho De Um Algoritmo

Muitos fatores são decisivos ou contribuem fortemente para a *precisão e consistência* de um algoritmo. Alguns deles estão associados aos aspectos intrínsecos do próprio algoritmo, onde as “aproximações ou considerações” realizadas determinam o seu nível de incerteza. Nesse contexto, é de fundamental importância a fidelidade a um modelo completamente idealizado, baseado em parâmetros previamente conhecidos e com dados adequadamente escolhidos e compatíveis com as grandezas medidas.

Outros fatores estão relacionados a critérios de escolha e processamento dos registros oscilográficos, entre os quais ressaltamos:

- A filtragem do sinal – a presença de ruídos e componentes transitórias podem afetar o processamento e conseqüentemente o desempenho de um algoritmo, sendo necessária uma filtragem anti-aliasing.
- Estimativa dos fasores fundamentais – com os algoritmos baseados em fasores, é imprescindível e fundamental a escolha de um método adequado para estimação dos fasores (módulo e ângulo).
- A janela de amostragem – ao longo de um registro oscilográfico temos uma desuniformidade nos sinais de tensão e corrente,

decorrente de ruídos, componentes transitórias, modificação da configuração do sistema com abertura do terminal remoto ou de outros disjuntores de linhas paralelas ou adjacentes, evolução do defeito para outras fases, e variação da resistência de arco, de forma que a escolha do instante em que se processará a aplicação do algoritmo para estimativa do ponto de defeito também merece ser considerado.

- Sincronização entre oscilogramas – Esse é um aspecto importante quando se utiliza algoritmos com dados sincronizados dos dois terminais, sendo importante considerar tanto os erros decorrentes de defasagens nos disparos entre os oscilogramas, bem como a diferença entre a sincronização das amostras.

Diante de todos esses fatores fica implícita a necessidade de se avaliar e definir qual a precisão que se pretende conseguir quando se utiliza um determinado algoritmo. Segundo [Kezunovic, 1999] *“a precisão de um localizador de faltas deveria ter precisão suficiente para definir o ponto de falta entre duas torres de uma linha de transmissão, sendo aceitáveis erros da ordem 0,1%, porém uma precisão de 0,01% seria o desejável”*.

Esse nível de precisão, entretanto, nos parece bem distante da realidade dos localizadores existentes, especialmente quando se empregam algoritmos com dados de um único terminal, que são ainda os mais utilizados. Na prática, erros da ordem de 5% em relação ao comprimento da linha, já fornecem uma boa contribuição para as equipes de manutenção, uma vez que reduzem em 20 vezes a área a ser percorrido para busca do defeito. Esse faixa de erro foi a considerada para enquadramento de cada um dos algoritmos, quando das simulações realizadas no Capítulo 4, quanto a sua classificação no quesito *“precisão”*.

4.1 Introdução

Para testar a *consistência e a precisão* dos algoritmos detalhados no capítulo anterior, realizamos simulações no ATP para um subsistema real de transmissão da CHESF, em 230 kV, que interliga as subestações de Campina Grande (CGD) e Tacaimbó (TAC), cujo diagrama unifilar simplificado é mostrado na Figura 4.1 abaixo, com suas fontes equivalentes representadas nos dois terminais.

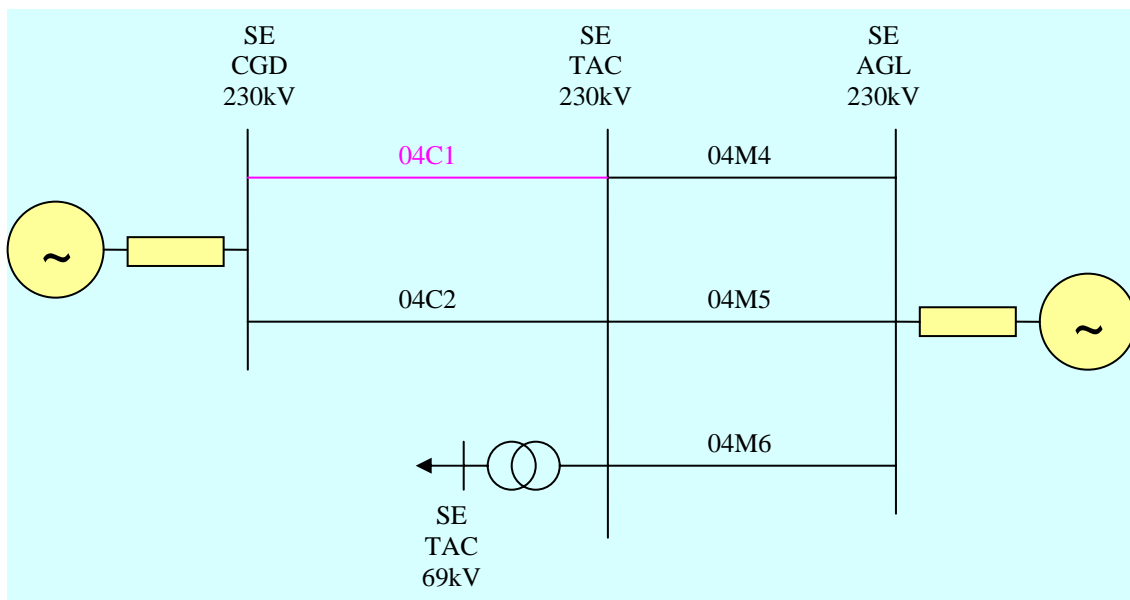


Figura 4.1 – Representação simplificada do sistema utilizado para as simulações

Uma vez que o desempenho dos algoritmos é influenciado por fatores tais como a capacidade das fontes equivalentes, resistência de arco, efeito *infeed* do terminal remoto etc, foram realizadas simulações nas seguintes condições:

a) Variação da capacidade equivalente das fontes

- Simulações com fontes equivalentes nos dois terminais, com o sistema em anel, e com aplicação dos algoritmos para o terminal da subestação Tacaimbó.
- Simulações com fontes equivalentes nos dois terminais, com o sistema em anel, e com aplicação dos algoritmos para o terminal da subestação Campina grande.
- Simulações com fontes equivalentes nos dois terminais, e com o sistema radial, ou seja, com aplicação dos algoritmos para o terminal da subestação Tacaimbó, com o terminal remoto (Campina Grande) aberto.
- Simulações com fonte fraca no terminal de Campina Grande, com o sistema em anel, e com aplicação dos algoritmos para o terminal da subestação Campina Grande.
- Simulações com fonte fraca no terminal de Campina Grande, com o sistema em anel, e com aplicação dos algoritmos para o terminal da subestação Tacaimbó.
- Simulações com fonte fraca no terminal de Campina Grande, e com o sistema radial, ou seja, com aplicação dos algoritmos para o terminal da subestação Campina Grande, com o terminal remoto (Tacaimbó) aberto.

b) Variação do tipo de defeito para cada uma das condições de fontes acima, sendo realizadas simulações para faltas monofásicas e bifásicas.

- c) Variação da distância do defeito para cada uma das combinações acima, para valores de 0, 25, 50, 75 e 100% do comprimento total da linha.
- d) Variação da resistência de arco para cada uma das combinações acima, para valores de 0, 20, 50, 100 e 200 ohm, respectivamente correspondentes a (0), (0,04), (0,1), (0,19), (0,38) p.u.

Todos os 140 arquivos fontes que geraram essas simulações no ATP, com suas respectivas saídas nos formatos *.pl4* e *.lis*, estão disponíveis em CD anexo, entretanto, no anexo 1 apresentamos uma dessas simulações para a condição de fontes equivalentes, defeito monofásico, situado numa distância de 50% com resistência de arco igual a zero.

A partir dos resultados das simulações no ATP, e para cada uma delas, extraímos as componentes fundamentais de corrente e tensão de cada uma das fases dos dois terminais envolvidos, em módulo e ângulo, cujos valores estão agrupados conforme a seguir, para as diferentes condições de fontes:

- Simulações monofásicas – arquivos *mn_t1_tac*, *mn_t1_cgd*, *mn_tom_tac*, *mn_wom_cgd*, *mn_w_tac*, *mn_w_cgd* (ver anexo 2).
- Simulações bifásicas – arquivos *bi_t1_tac*, *bi_t1_cgd*, *bi_to_tac*, *bi_cwo_cgd*, *bi_cw_tac*, *bi_cw_cgd* (ver anexo 3).

Essa base de dados foi aplicada então em cada um dos algoritmos detalhados no capítulo anterior, com auxílio de um programa desenvolvido em Matlab para leitura e processamento

dos mesmos, gerando as saídas com o erro percentual de cada uma das simulações, por algoritmo. Esses programas estão detalhados nos anexos 4 e 5, com as duas versões para defeitos monofásicos (algomono.m) ou bifásicos (algobi.m).

Todos os algoritmos serão avaliados, a seguir, em função desses erros apresentados, cabendo esclarecer que em cada gráfico que será apresentado, a seguir, teremos a seguinte composição:

- As 5 primeiras medidas correspondem à simulação no km 31, para uma resistência de falta variando de 0 - 20 - 50 -100 - 200 ohm.
- As 5 medidas seguintes correspondem à simulação no km 62, também para uma resistência de falta variando de 0 - 20 - 50 -100 -200 ohm.
- Essa seqüência é seguida sucessivamente para defeitos nos km 93 e 124, conforme indicado para cada gráfico.

4.2 Desempenho do algoritmo de Takagi

Os gráficos das Figuras 4.2 e 4.3, a seguir, mostram a resposta dos algoritmos de Takagi na sua versão normal, que pressupõe as mútuas entre fases. Dessas simulações concluímos que de uma forma geral, *o algoritmo de Takagi apresentou um bom desempenho* para as diversas situações testadas, sendo possível observar:

Para simulações monofásicas, (fig 4.2).

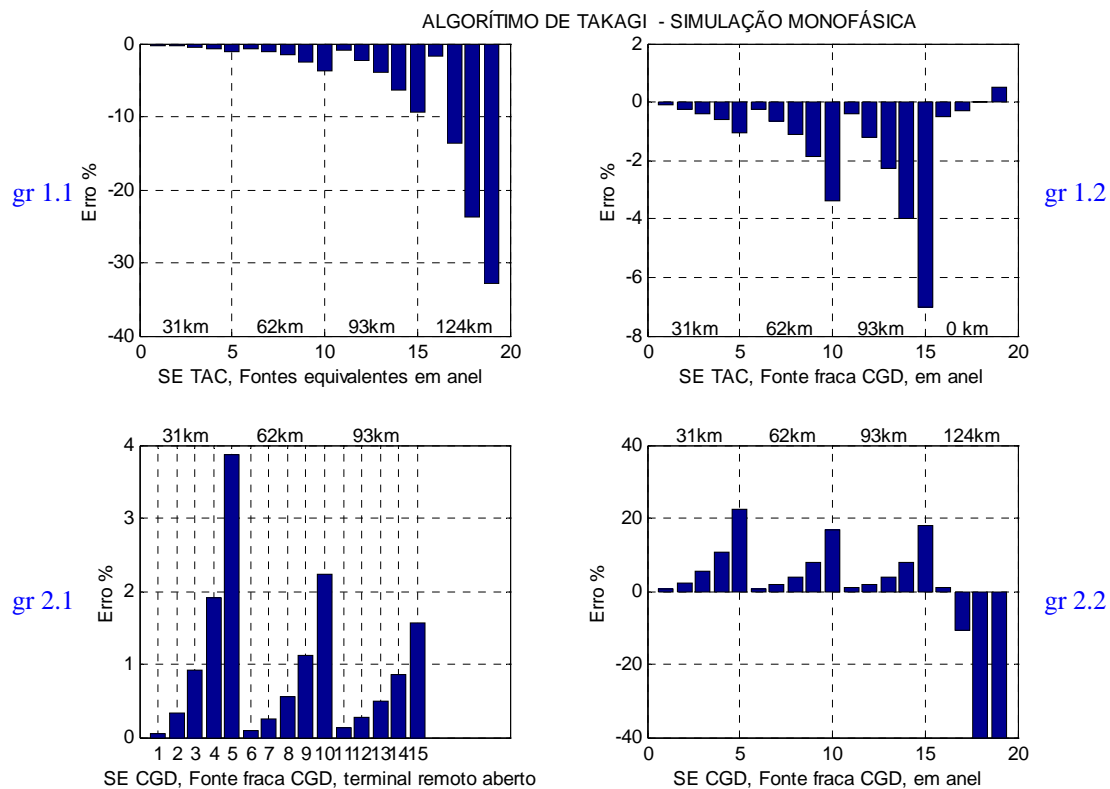


Figura 4.2 – Desempenho do algoritmo de Takagi – simulação monofásica

- Com o sistema em anel e fontes equivalentes nos dois terminais, a precisão do algoritmo de Takagi é muito boa para defeitos até a metade da linha, com pouca influência da resistência de falta. Nessas condições, o erro máximo, para valores altíssimos de resistência de arco, não passou de 4%. Para defeitos mais próximos ao terminal remoto a precisão só é boa para faltas com baixa resistência de arco. (fig 4.2, gr 1.1)
- Com a medição sendo realizada no terminal de fonte forte, o algoritmo é ainda mais preciso, inclusive para defeitos próximos ao terminal remoto e para todas as resistências de defeito testadas. O erro máximo não passou de 1% para defeitos no meio da linha, enquanto que para defeitos no final da linha caiu de 32, registrado na condição anterior, para cerca de 7%, mesmo na pior condição de resistência de falta. (fig 4.2, gr 1.2)

- Já com a simulação sendo realizada no terminal de fonte fraca, o algoritmo só é preciso para defeitos com baixa resistência de falta. (fig 4.2, gr 2.2)
- Para configurações radiais, ou seja, com o terminal remoto aberto, o algoritmo apresenta elevada precisão, mesmo para altas resistências de falta e diferentes distâncias do ponto de defeito. (fig 4.2, gr 2.1)

Para simulações bifásicas (fig 4.3).

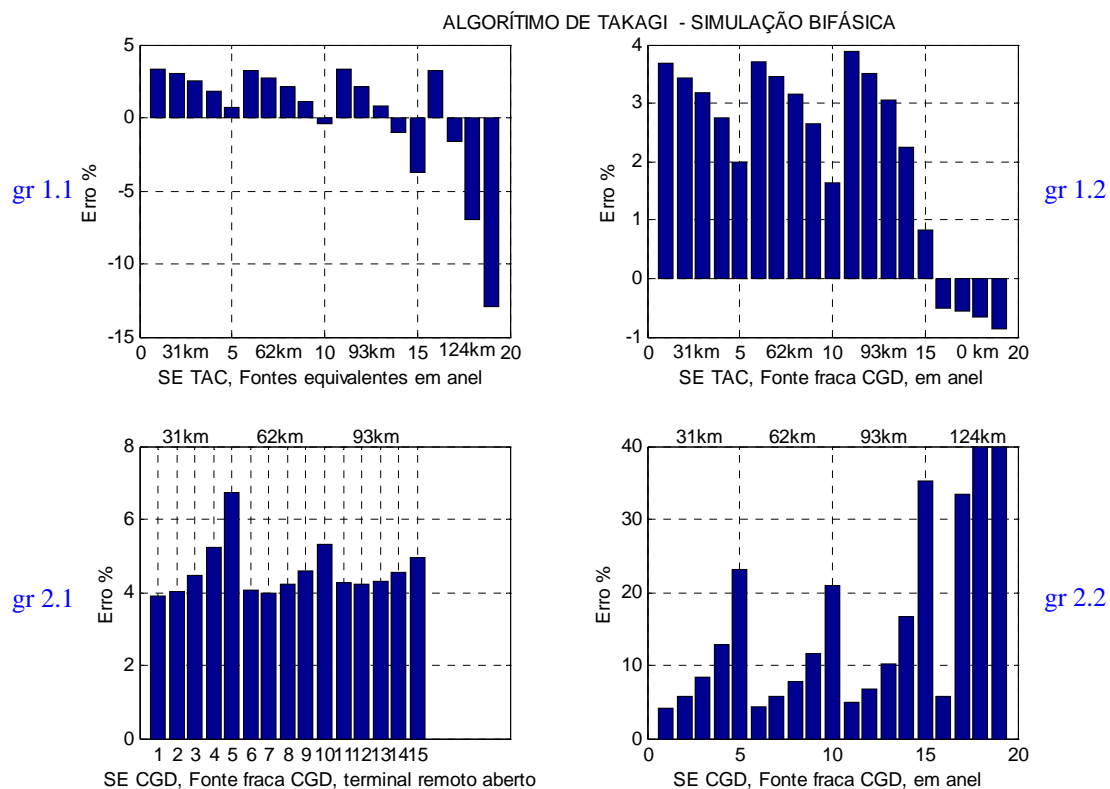


Figura 4.3 – Desempenho do algoritmo de Takagi – simulação bifásica

- Com o sistema nas mesmas condições de simulação descritas acima, o algoritmo de Takagi continua com bom desempenho, e apresenta resultados similares aos verificados nas simulações monofásicas, sendo mais eficiente para as medições efetuadas no terminal de fonte forte, para defeitos mais próximos ao terminal em que está sendo efetuada a medição e para menores resistências de falta.

Os gráficos da Figura 4.4, a seguir, mostram a resposta dos algoritmos de Takagi na sua versão corrigida, que pressupõe as mútuas entre fases e elimina os efeitos da aproximação $\tan(\gamma.x) = \gamma.x$.

Nessas simulações, apresentadas apenas para defeitos monofásicos, observamos pequenos ajustes, porém sem maior relevância, já que esse efeito só é importante para linhas de comprimento longo, acima de 100km.

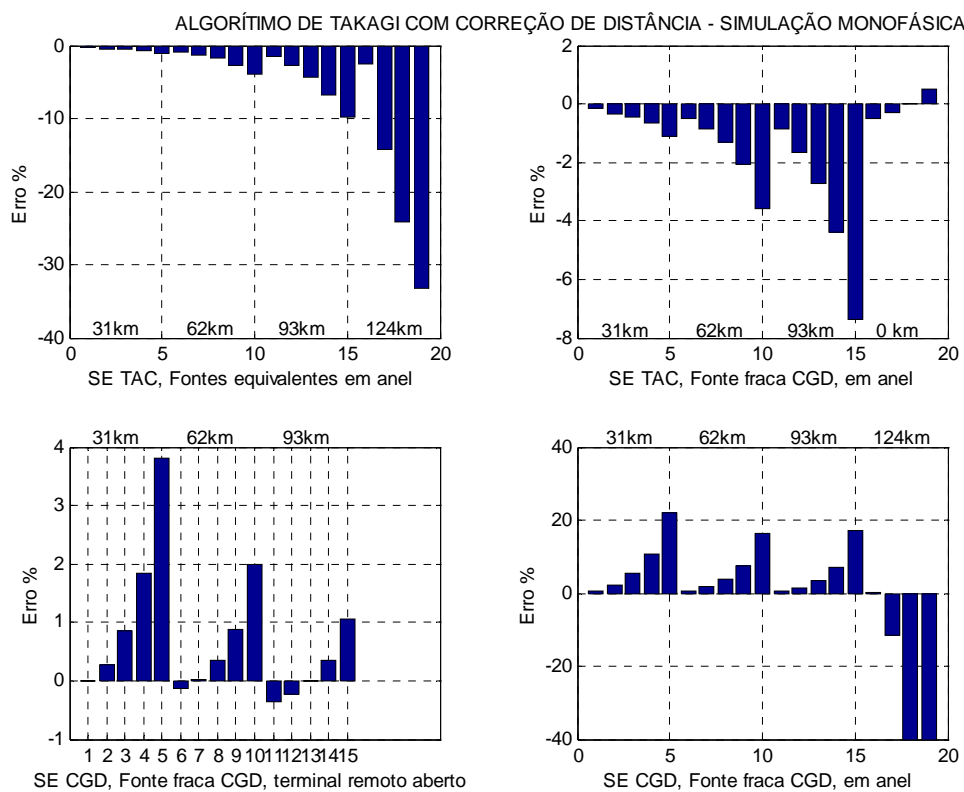


Figura 4.4 – Desempenho do algoritmo de Takagi versão corrigida – simulação monofásica

Os gráficos da Figura 4.5, a seguir, mostram a resposta dos algoritmos de Takagi na sua versão simplificada, que desconsidera as mútuas entre fases.

Nessas simulações observamos que o algoritmo perde significativamente sua eficiência e é fortemente afetado pelos 3 fatores em foco, ou seja, a resistência de falta, a capacidade das fontes e a proximidade do defeito.

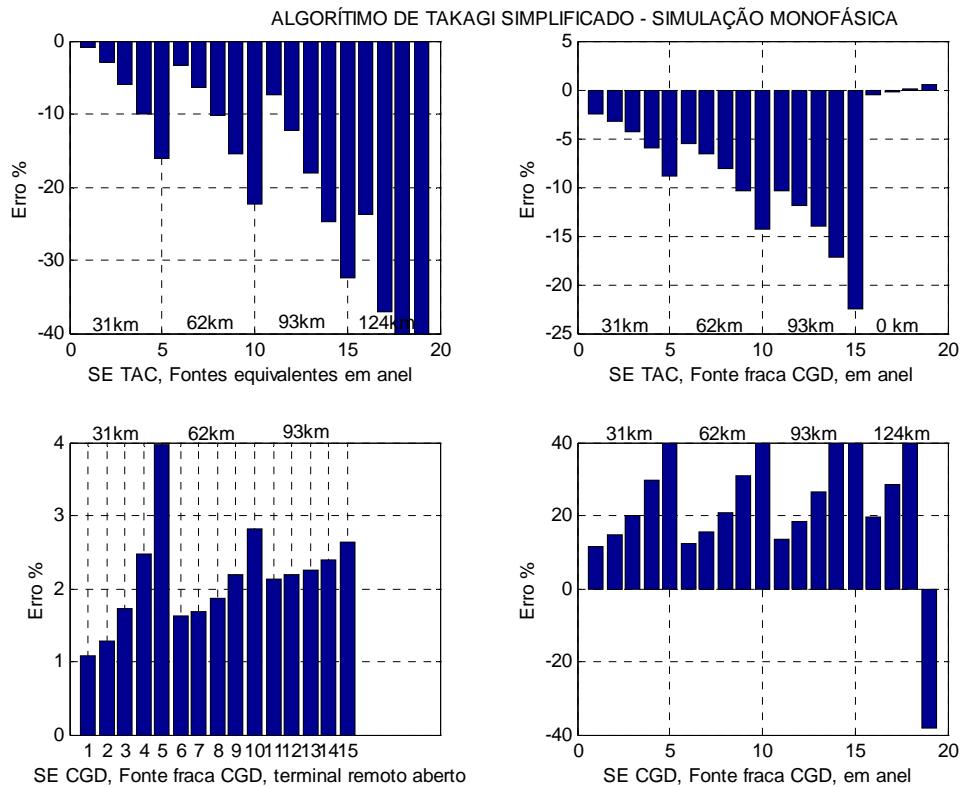


Figura 4.5 - Desempenho do algoritmo de Takagi versão simplificada - simulação monofásica

4.3 Desempenho Do Algoritmo De Wiszniewski.

Os gráficos das Figuras 4.6 e 4.7, a seguir, mostram a resposta do algoritmo de Wiszniewski. Dessas simulações concluímos que, de uma forma geral, *o algoritmo de Wiszniewski também apresentou um bom desempenho* para as diversas situações testadas, sendo possível observar:

Para simulações monofásicas (fig 4.6),

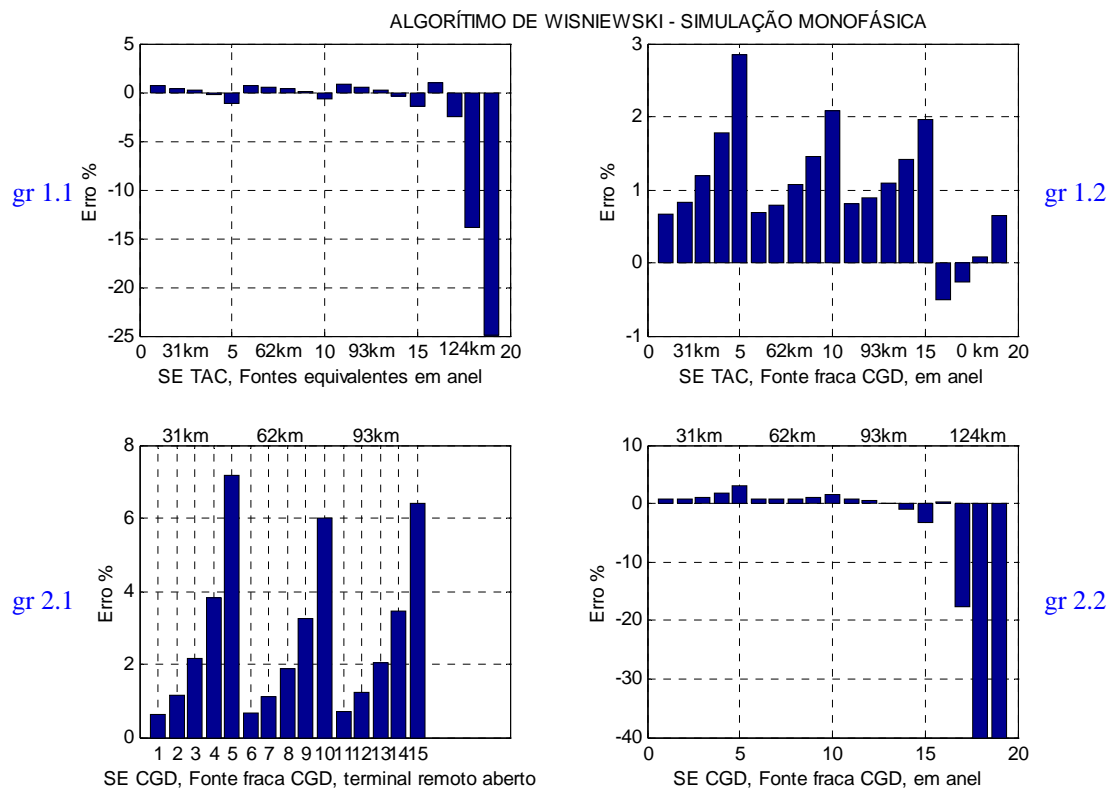


Figura 4.6 – Desempenho do algoritmo de Wisniewski – simulação monofásica

- Com o sistema em anel e fontes equivalentes nos dois terminais, a precisão do algoritmo de Wisniewski é muito boa para defeitos ao longo de praticamente toda a linha, com pouca influência da resistência de falta. Apenas para defeitos bastante próximos do terminal remoto e de alta resistência de falta é que observamos erros significativos. (fig 4.6, gr 1.1)
- Com a medição sendo realizada no terminal de fonte forte, o algoritmo é ainda mais preciso, inclusive para defeitos próximos ao terminal remoto e para todas as resistências de defeito testadas. O erro máximo não passou de 2% para defeitos no fim da linha, mesmo na pior condição de resistência de falta. (fig 4.6, gr 1.2)
- Também para as simulações realizadas no terminal de fonte fraca, o algoritmo se mostrou preciso, só perdendo sua

exatidão para defeitos com alta resistência de falta, e bastante próximos ao terminal remoto. (fig 4.6, gr 2.2)

- Para configurações radiais, ou seja, com o terminal remoto aberto, o algoritmo apresenta elevada precisão, mesmo para altas resistências de falta e diferentes distâncias do ponto de defeito. (fig 4.6, gr 2.1)

Para simulações bifásicas (fig 4.7).

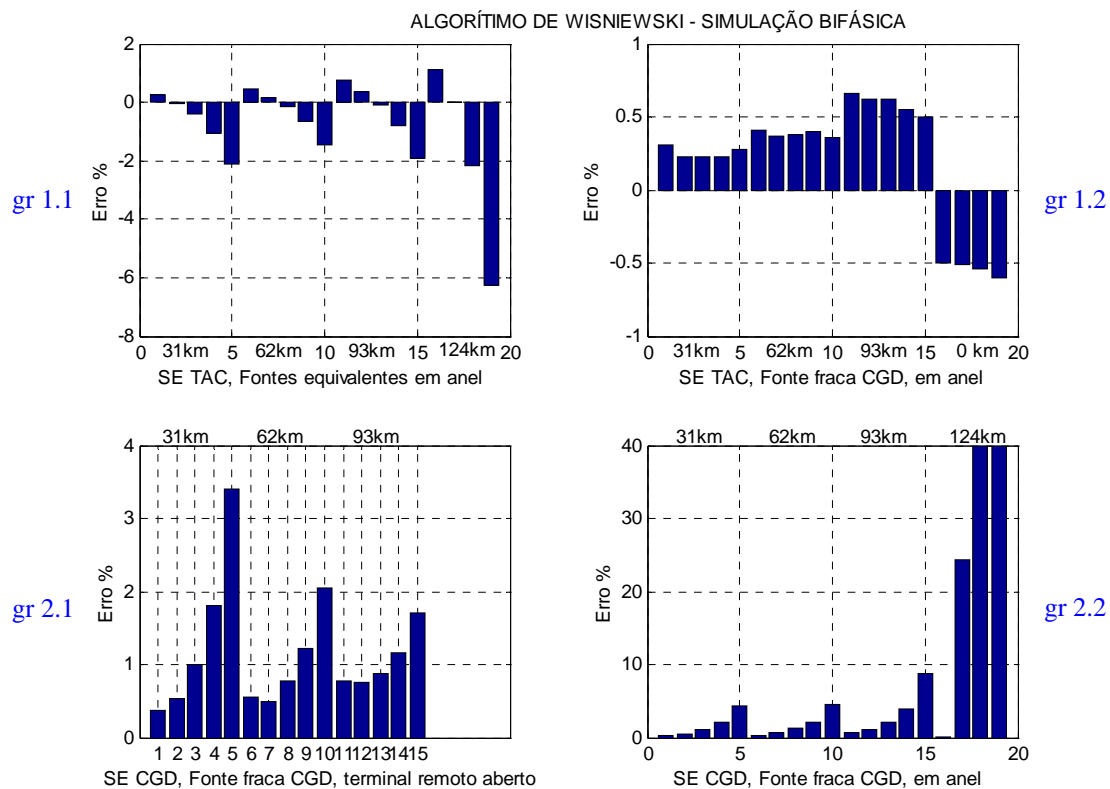


Figura 4.7 – Desempenho do algoritmo de Wisniewski – simulação bifásica

- Com o sistema nas mesmas condições de simulação descritas acima, o algoritmo de Wisniewski continua com bom desempenho, e apresenta resultados similares e ainda mais preciso do que os verificados nas simulações monofásicas, só apresentando erros indesejáveis na ocorrência simultânea de:
 - a) medições efetuadas no terminal de fonte fraca,
 - b) defeitos bastante próximos ao terminal remoto,
 - c) elevada resistência de falta.

4.4 Desempenho Do Algoritmo Da Impedância Vista Pelo Relé.

Os gráficos das Figuras 4.8 e 4.9, a seguir, mostram a resposta do *algoritmo da impedância vista pelo relé* para as simulações monofásicas e bifásicas nas diferentes condições de fontes terminais e resistência de falta, onde podemos observar que, de uma forma geral, sua resposta não é adequada, apresentando erros sistemáticos e significativos, o que já era esperado em função da simplicidade de suas considerações.

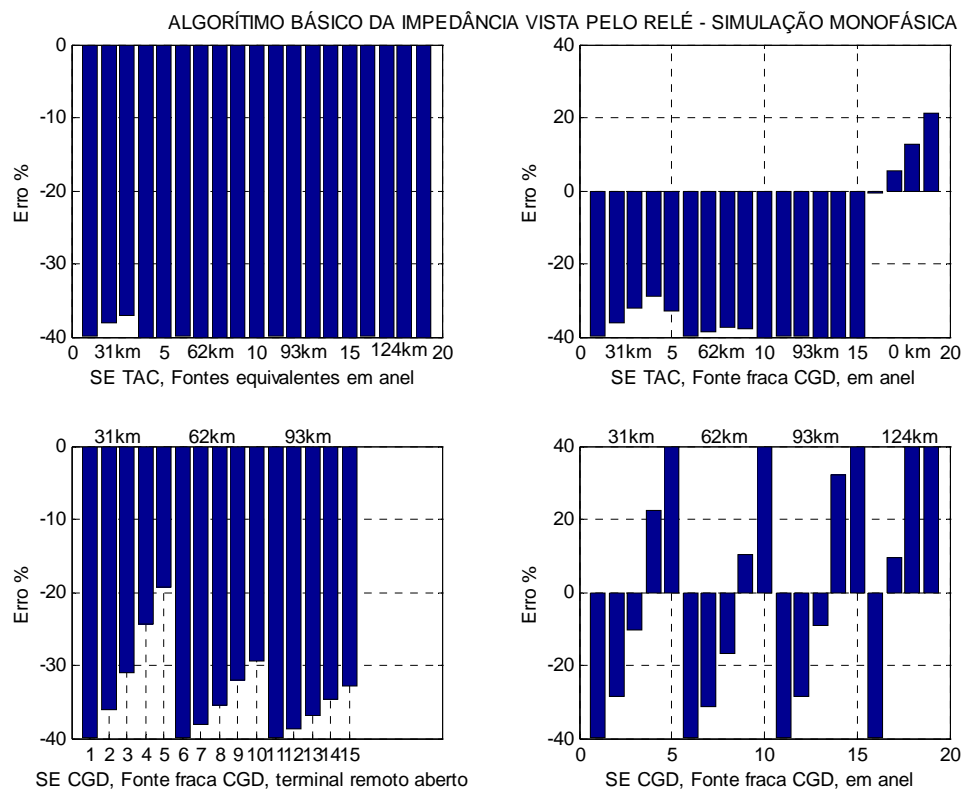


Figura 4.8 – Desempenho do algoritmo da impedância vista pelo relé – simulações monofásicas.

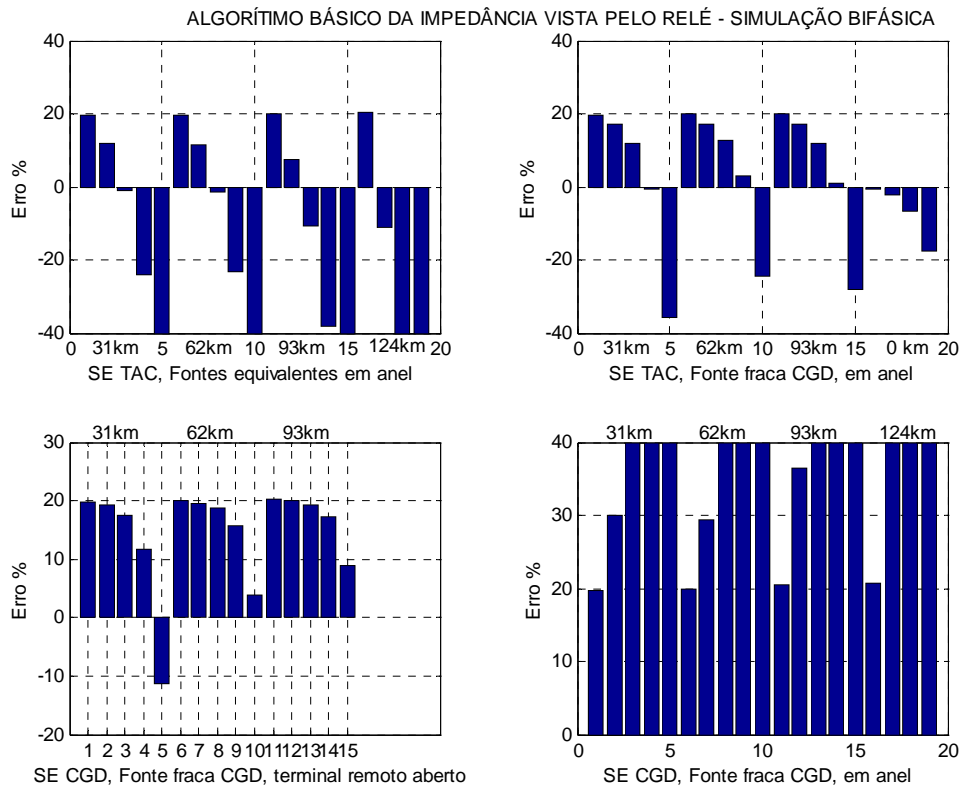


Figura 4.9 - Desempenho do algoritmo da impedância vista pelo relé - simulações monofásicas.

4.5 Desempenho Dos Algoritmos Utilizados No SISREP.

a) Algoritmo monofásico simplificado- variante 1

Os gráficos da Figura 4.10 e 4.11, a seguir, mostram a resposta dessa *variante dos algoritmos do SISREP* para as simulações monofásicas nas diferentes condições de fontes terminais e resistência de falta, onde podemos observar:

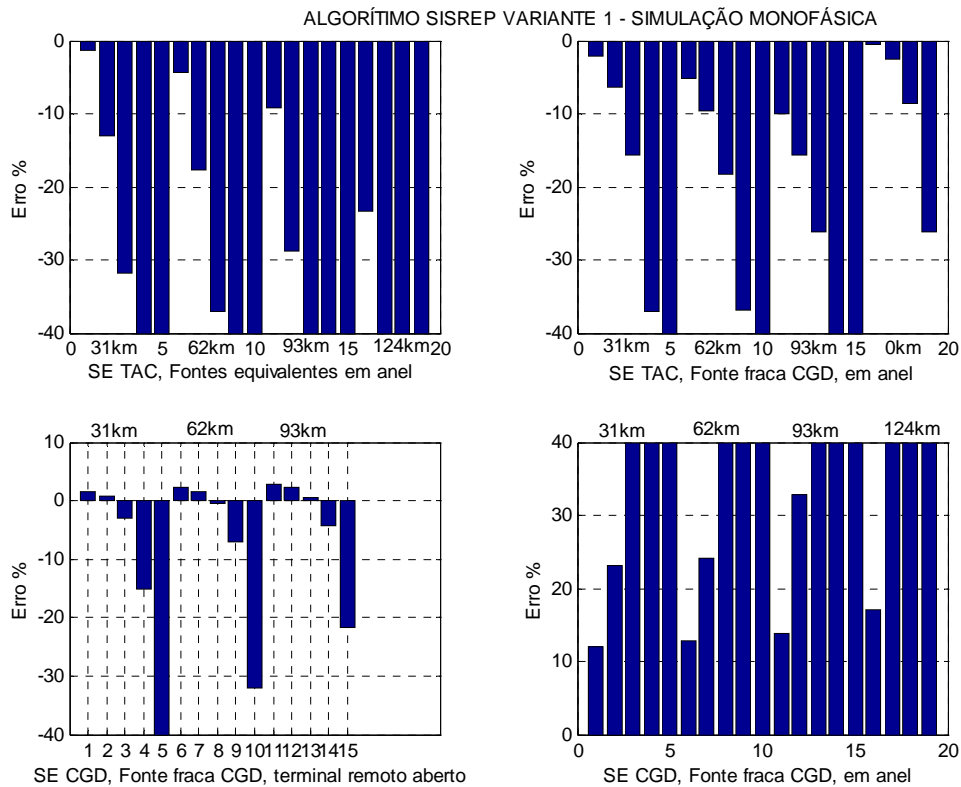


Figura 4.10 - Desempenho do algoritmo SISREP variante 1 - monofásico, com efeito da corrente de carga.

- Considerando o efeito da corrente de carga, o algoritmo só apresenta resposta aceitável para defeitos de baixa resistência de falta ou para aplicações em terminais de fonte forte ou única, quando ainda apresenta erros toleráveis para resistências de faltas até 50ohm (fig 4.10).
- Retirando o efeito da corrente de carga, o desempenho do algoritmo melhora consideravelmente, conforme podemos observar na fig 4.11. Suas respostas são boas para condições de aplicação no lado de fonte forte ou única, bem como para fontes equivalentes para defeitos de baixa ou média impedância, desde que situadas não muito próximos do terminal remoto. O algoritmo também responde

razoavelmente para defeitos nessa mesma região, mesmo quando aplicado em terminal de fonte fraca.

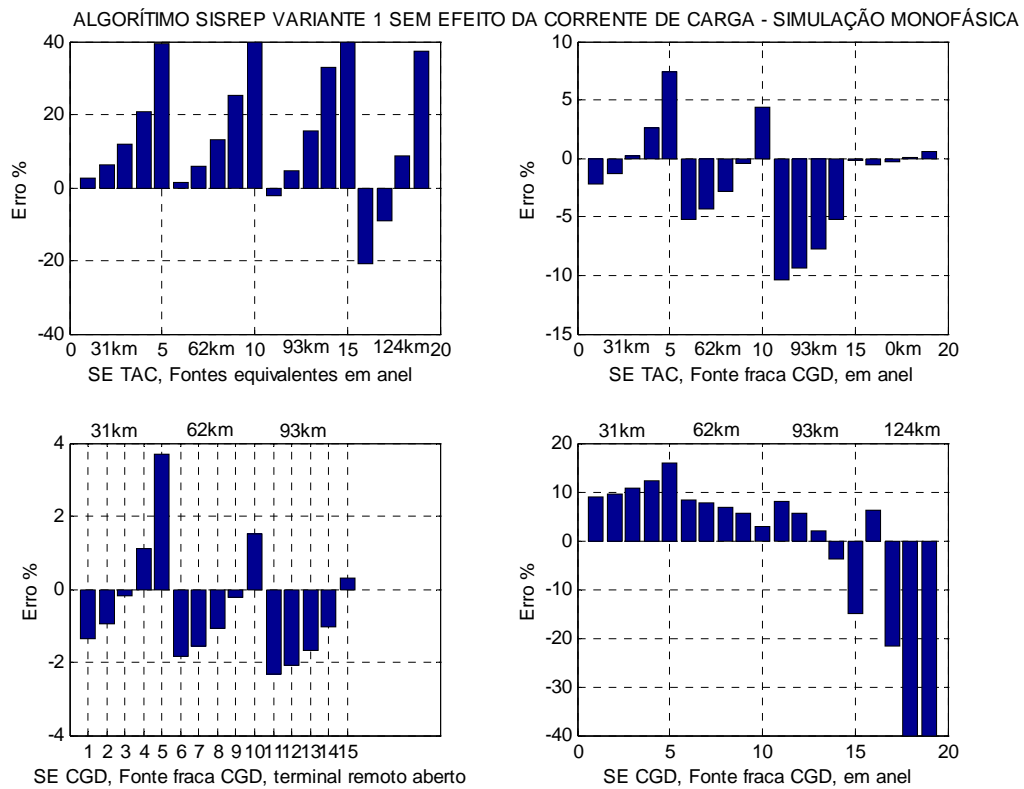


Figura 4.11 - Desempenho do algoritmo SISREP variante 1 - monofásico, sem efeito da corrente de carga.

b) Algoritmo monofásico simplificado- variante 2

Os gráficos das Figuras 4.12 e 4.13, a seguir, mostram a resposta dessa *variante dos algoritmos do SISREP* para as simulações monofásicas nas diferentes condições de fontes terminais e resistência de falta, onde podemos observar:

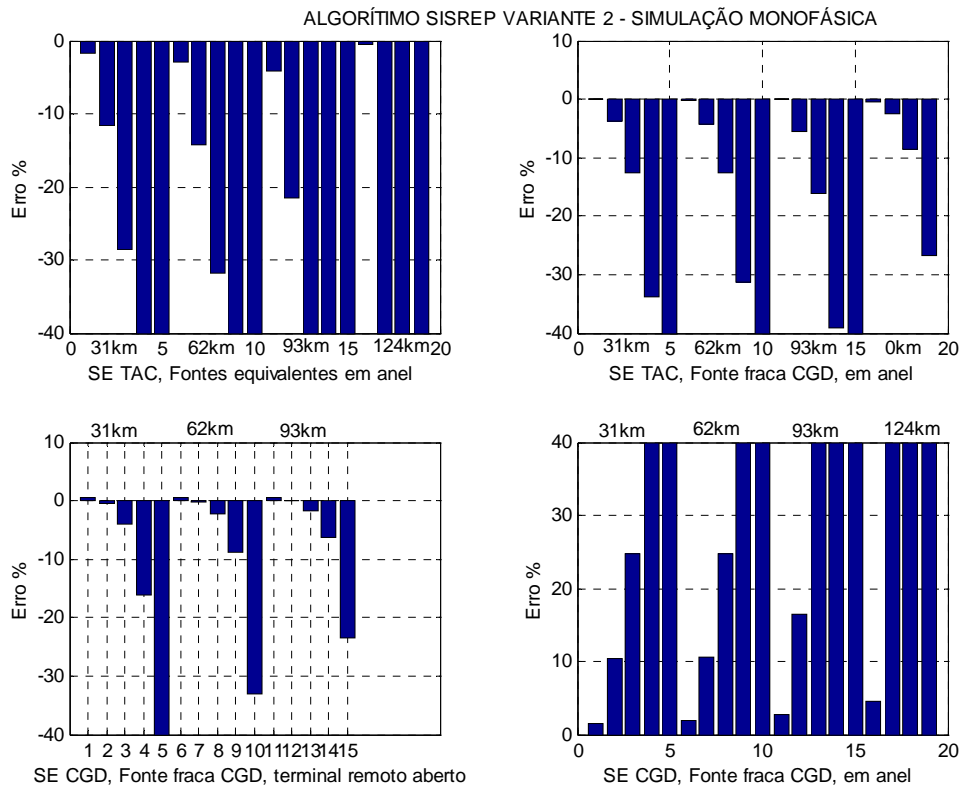
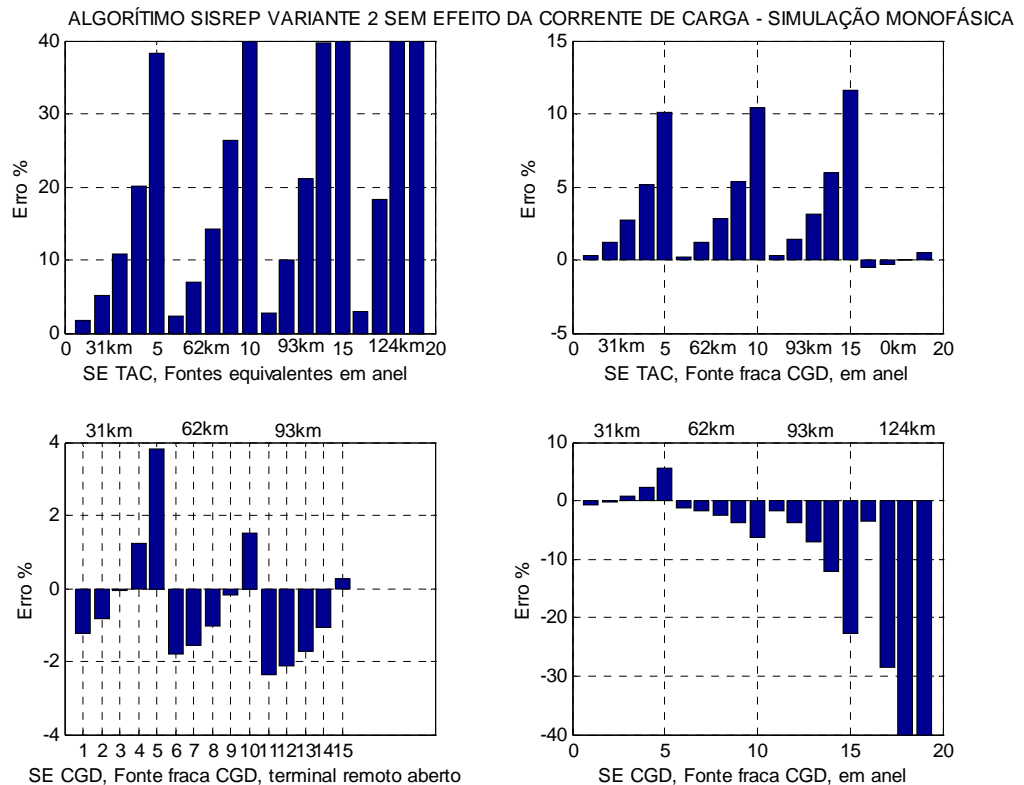


Figura 4.12 - Desempenho do algoritmo SISREP variante 2 - monofásico, com efeito da corrente de carga

- Considerando o efeito da corrente de carga, o algoritmo só apresenta resposta aceitável para defeitos de baixa resistência de falta ou para aplicações em terminais de fonte forte ou única, quando ainda apresenta erros toleráveis para resistências de faltas até 50ohm (fig 4.12). Em relação à variante 1, e de uma forma geral, verificamos uma maior precisão para defeitos de baixa impedância, conforme pretendido e mencionado no Capítulo 3 item 3.2.3.2 b.
- Sem considerar o efeito da corrente de carga (fig 4.13), da mesma forma que ocorreu para a variante 1, o desempenho



• **Figura 4.13 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 2 – monofásico, sem efeito da corrente de carga.**

do algoritmo melhora consideravelmente, conforme podemos observar na Figura acima. Suas respostas continuam boas para condições de aplicação no lado de fonte forte ou única, bem como para fontes equivalentes para defeitos de baixa ou média impedância, desde que situadas não muito próximos do terminal remoto. O algoritmo também responde razoavelmente para defeitos nessa mesma região, mesmo quando aplicado em terminal de fonte fraca. *Vale ressaltar que seu desempenho é bom para todos os defeitos de baixa resistência de falta, independente das condições de fontes simuladas, e mesmo para defeitos próximos ao terminal remoto, quando o erro máximo observado não passou de 3%.*

- Resumidamente poderíamos dizer que essa variante apresenta um desempenho global similar à variante 1, fazendo um deslocamento geral dos erros, de forma a minimizá-lo para a condição de resistência de falta igual a zero.

c) Algoritmo monofásico simplificado - variante 3

Os gráficos das Figuras 4.14 e 4.15, a seguir, mostram a resposta dessa *variante dos algoritmos do SISREP* para as simulações monofásicas nas diferentes condições de fontes terminais e resistência de falta, onde podemos observar que suas respostas são invariavelmente inconsistentes, gerando erros consideráveis, mesmo quando se elimina o efeito da corrente de carga (fig 4.14).

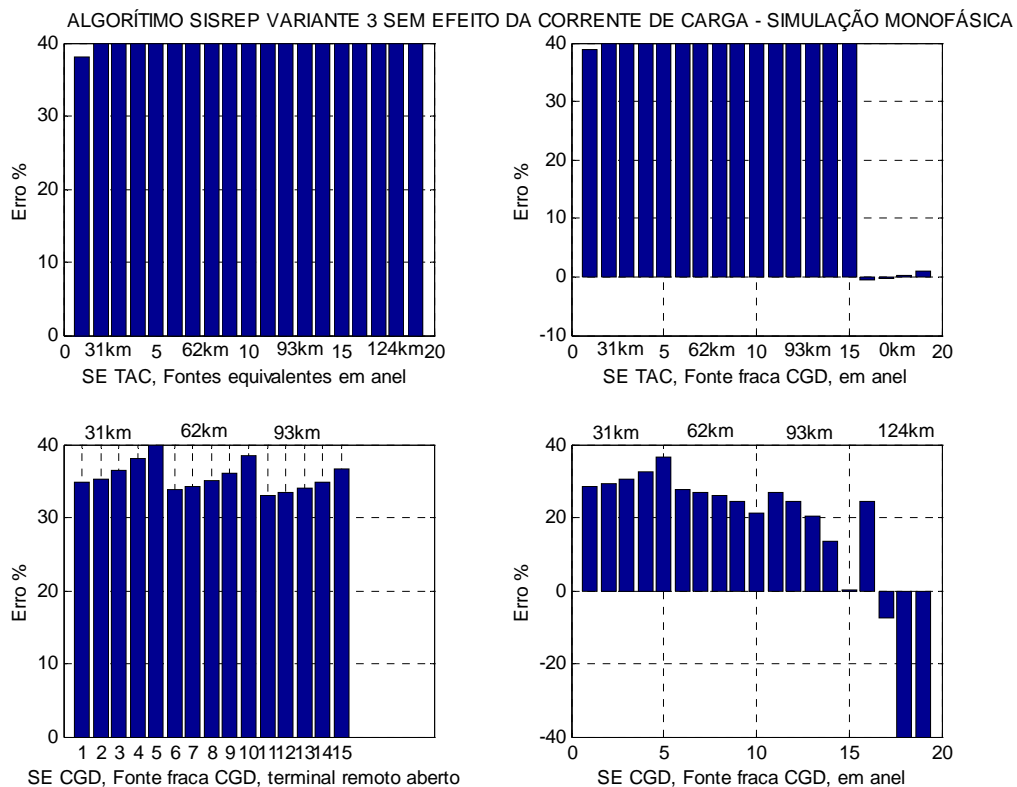


Figura 4.14 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 3 – monofásico, sem efeito da corrente de carga.

A pretensão de que o algoritmo funcionasse para defeitos de média impedância, conforme relatado no item 3.2.3.2, só foi parcialmente alcançada em casos de aplicação em terminais de fontes fortes ou equivalentes, e para defeitos até a metade da linha, e apenas para a versão do algoritmo que não elimina o efeito da corrente de carga (fig 4.15).

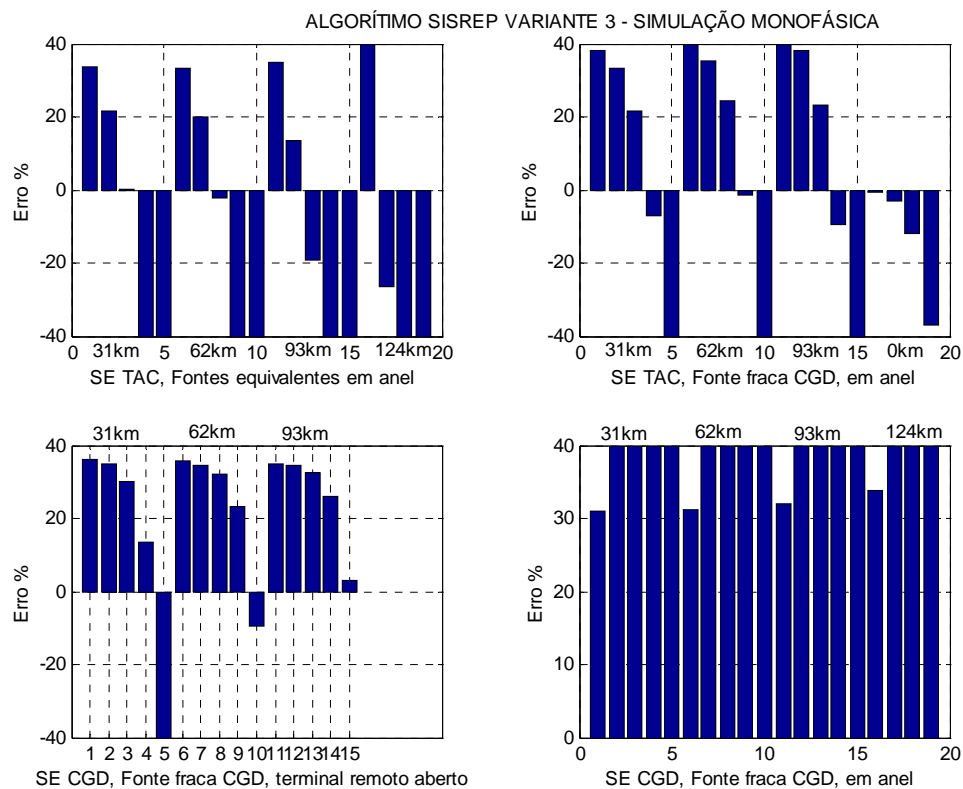


Figura 4.15 - Desempenho do algoritmo SISREP variante 3 - monofásico, com efeito da corrente de carga.

d) Algoritmo monofásico simplificado - variante 4

Essa *variante dos algoritmos do SISREP* também não apresenta nenhuma consistência, conforme podemos verificar nos gráficos das Figuras 4.16 e 4.17, a seguir, que mostram sua resposta para as simulações monofásicas nas diferentes condições de fontes terminais e resistência de falta.

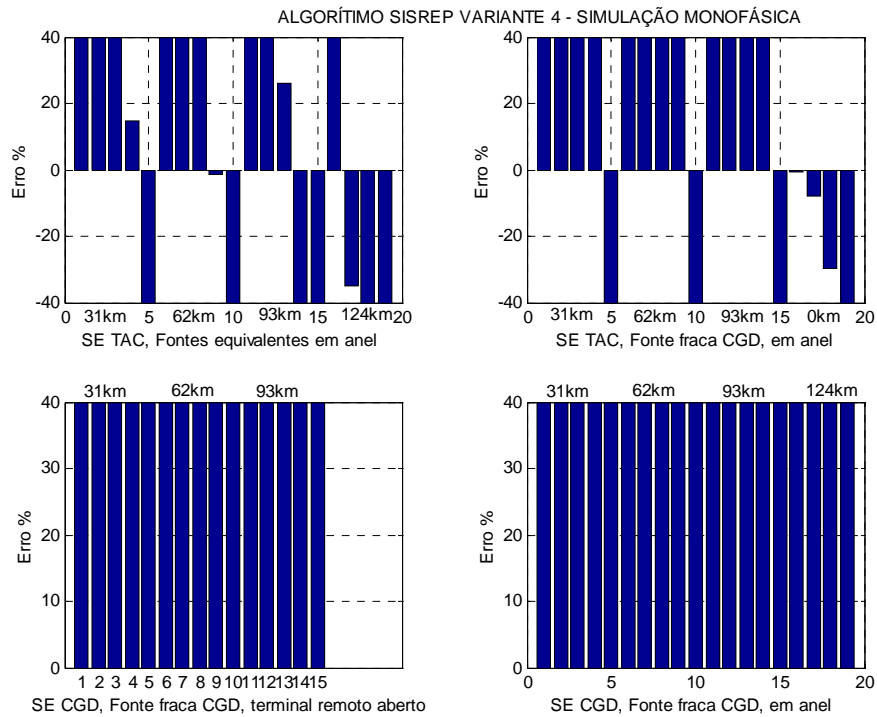


Figura 4.16 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 4 – monofásico, com efeito da corrente de carga.

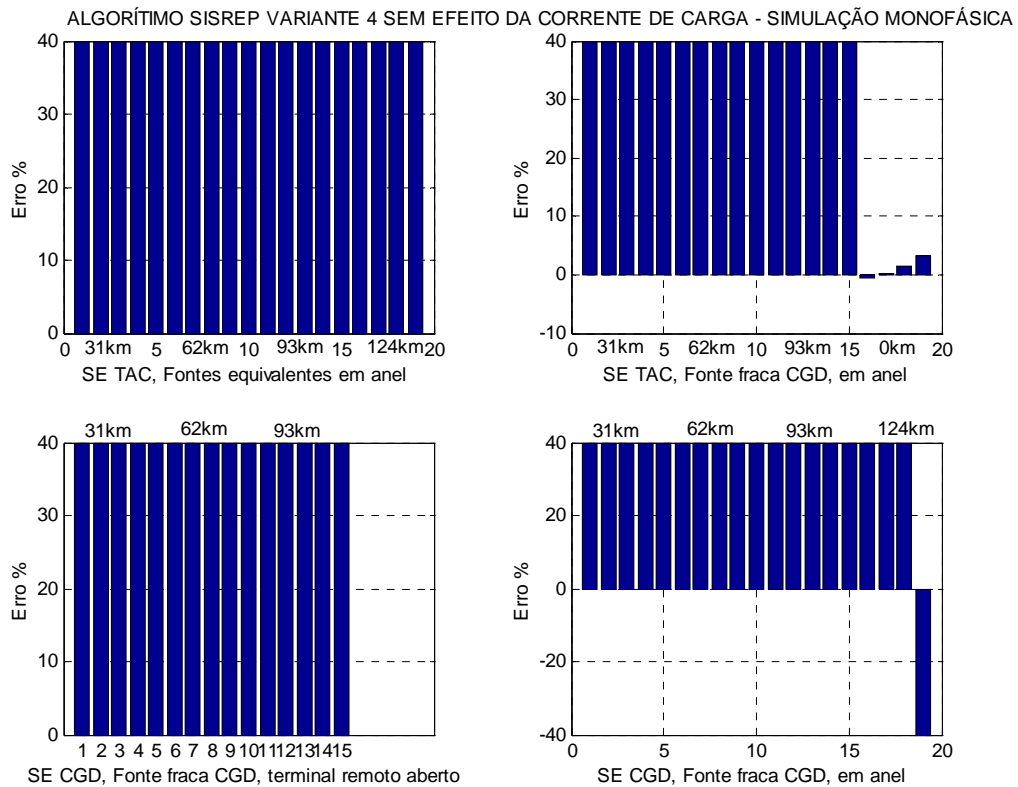


Figura 4.17 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 4 – monofásico, sem efeito da corrente de carga.

e) Algoritmo bifásico simplificado - variante 1

Os gráficos das Figuras 4.18 e 4.19, a seguir, mostram a resposta dessa *variante dos algoritmos do SISREP* para as simulações bifásicas nas diferentes condições de fontes terminais e resistência de falta, onde podemos observar:

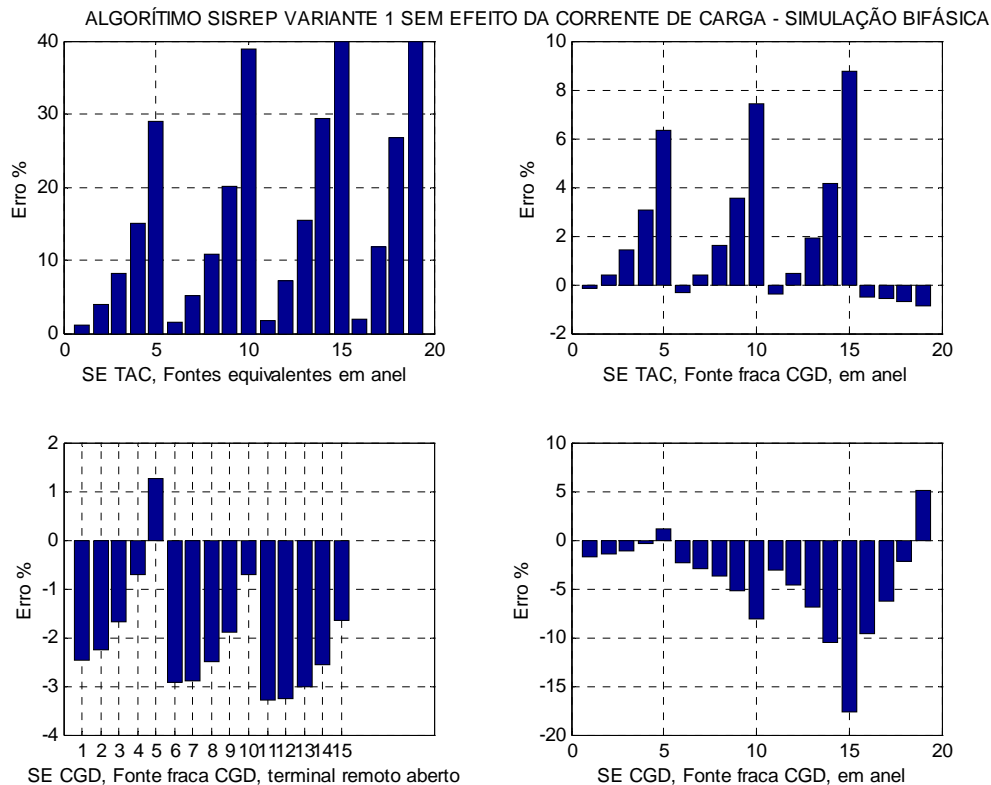


Figura 4.18 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 1 – bifásico, sem efeito da corrente de carga.

- Para aplicação em terminal de fonte forte ou com o terminal remoto aberto, o algoritmo alcança uma melhor precisão quando elimina o efeito da corrente de carga (fig 4.18), já que na versão em que esse efeito não é eliminado, os erros crescem acentuadamente para maiores resistências de falta (fig 4.19).
- Se a medição for realizada em terminal de fonte fraca, o algoritmo que elimina os efeitos da corrente de carga é mais

eficiente e responde de forma aceitável para defeitos na primeira metade da linha. Para defeitos na segunda metade da linha, os erros oscilam acentuadamente com a resistência de falta e a distância.

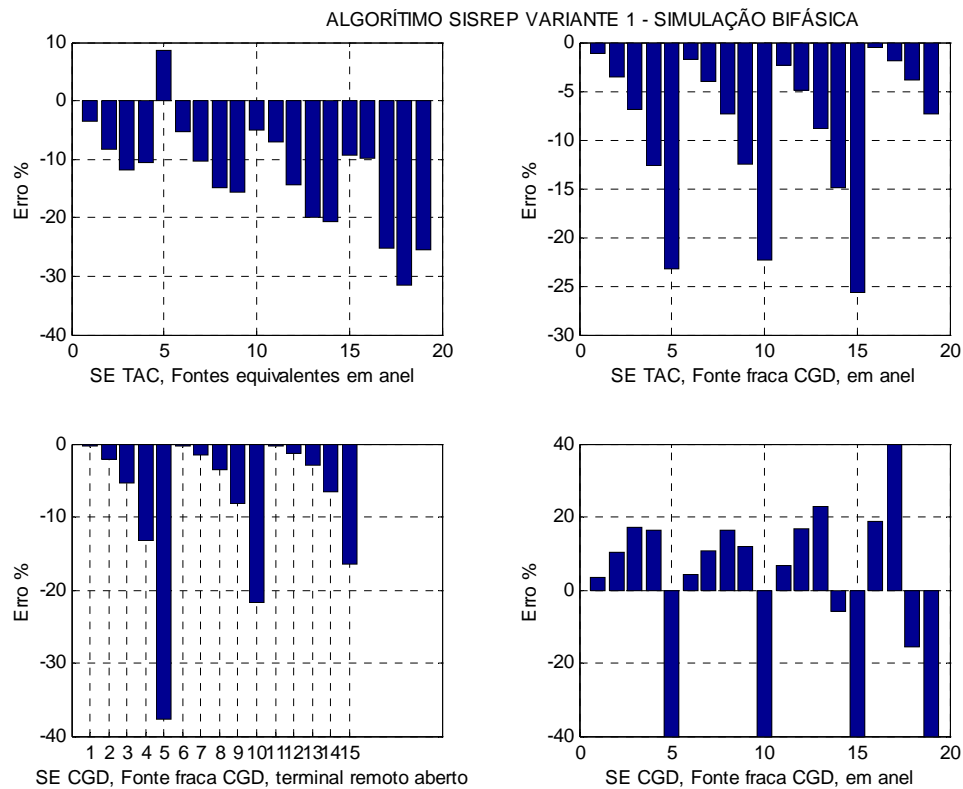


Figura 4.19 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 1 – bifásico, com efeito da corrente de carga.

- Para aplicação em terminais de fontes equivalentes, a versão do algoritmo que elimina o efeito da corrente de carga é preciso para defeitos de baixa impedância. Já a versão que não elimina os efeitos da corrente de carga, apesar de não ser muito preciso para nenhuma condição de falta, apresenta uma maior consistência e menor sensibilidade às variações da resistência de falta, com os erros oscilando entre 3 e 31%.

f) Algoritmo bifásico simplificado- variante 2

Os gráficos das Figuras 4.20 e 4.21, a seguir, mostram a resposta dessa *variante dos algoritmos do SISREP* para as simulações bifásicas nas diferentes condições de fontes terminais e resistência de falta, onde podemos observar:

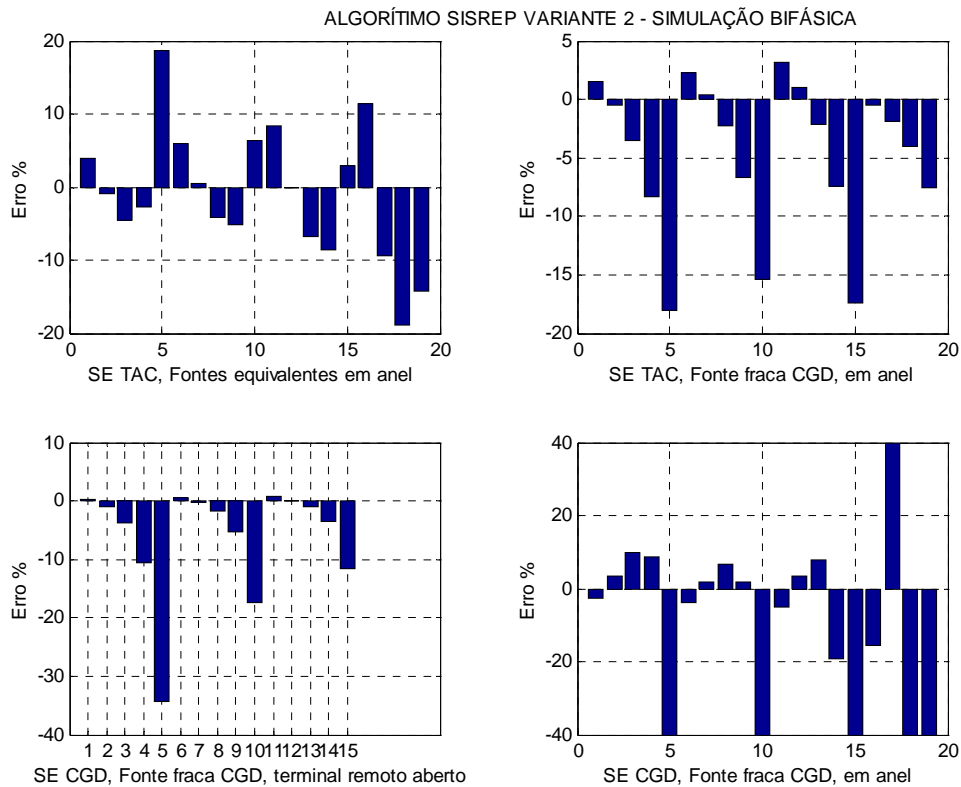


Figura 4.20 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 2 – bifásico, com efeito da corrente de carga.

- A versão dessa variante que não elimina o efeito da corrente de carga responde de forma aceitável para todas as condições de fontes equivalentes (forte, equivalente ou fraca), em casos de defeitos da baixa e média impedância (0 a 50ohm), ao longo dos três primeiros quartos da linha (fig 4.20). Para defeitos de alta impedância, os erros são significativos mesmo na melhor condição de aplicação com o terminal remoto aberto.

- Já a versão que elimina o efeito da corrente de carga, mostrado na Figura 4.21, responde de forma similar à variante 1 mostrada anteriormente no item 4.5.e.

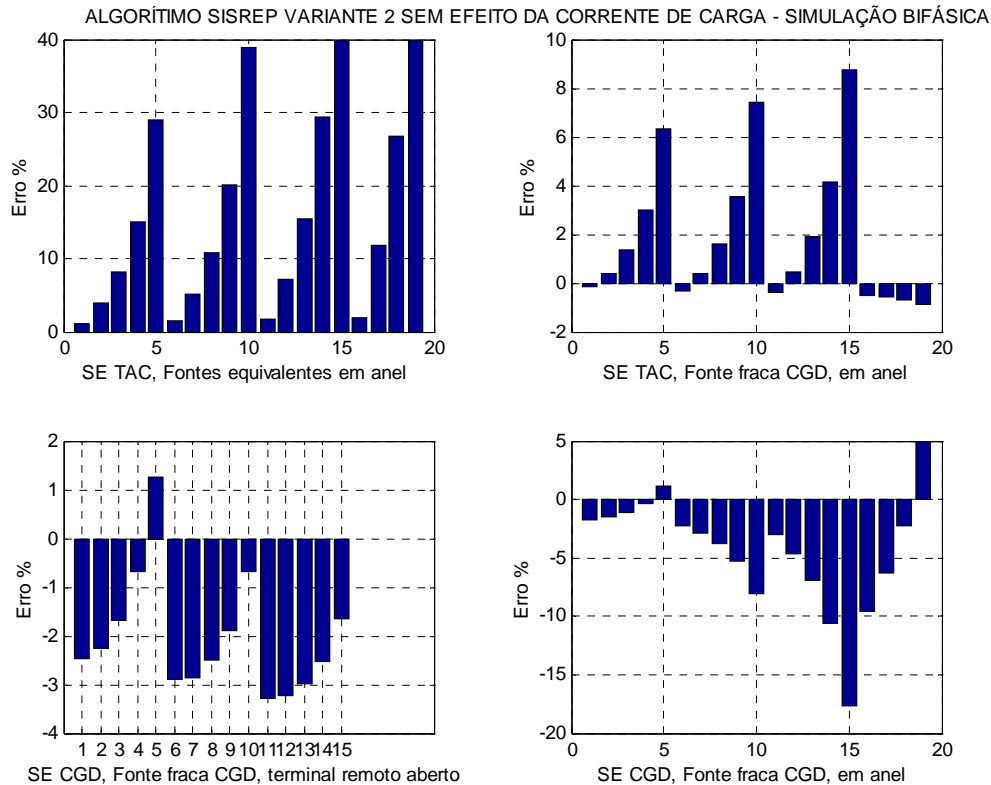
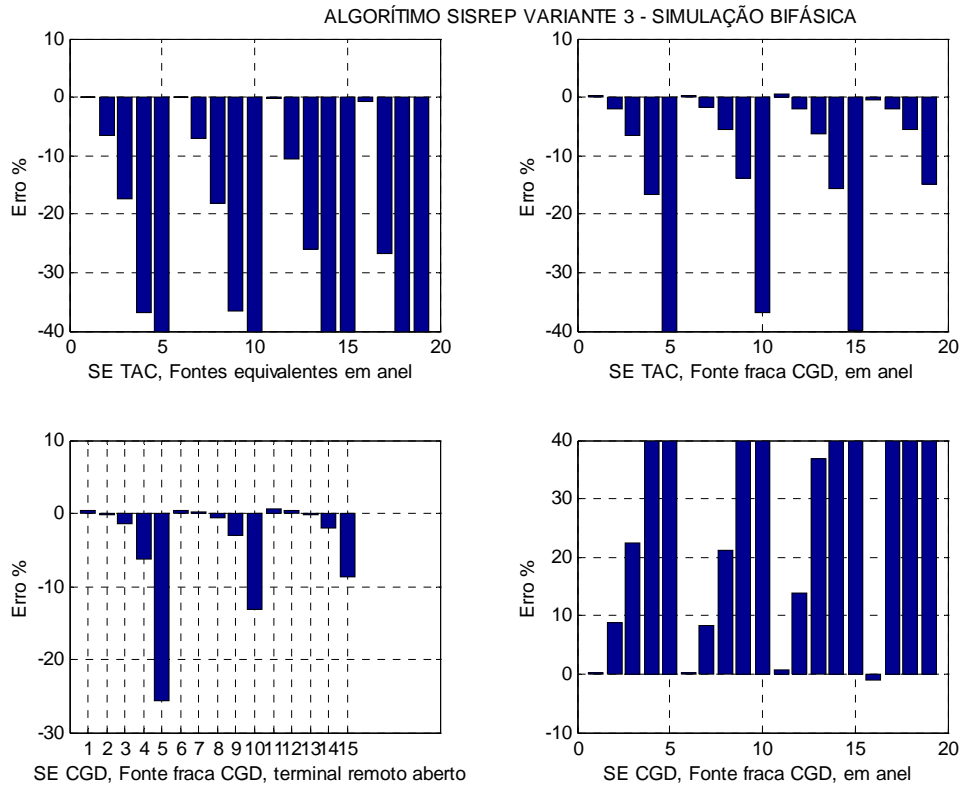


Figura 4.21 – Desempenho do algoritmo SISREP variante 2 – bifásico, sem efeito da corrente de carga.

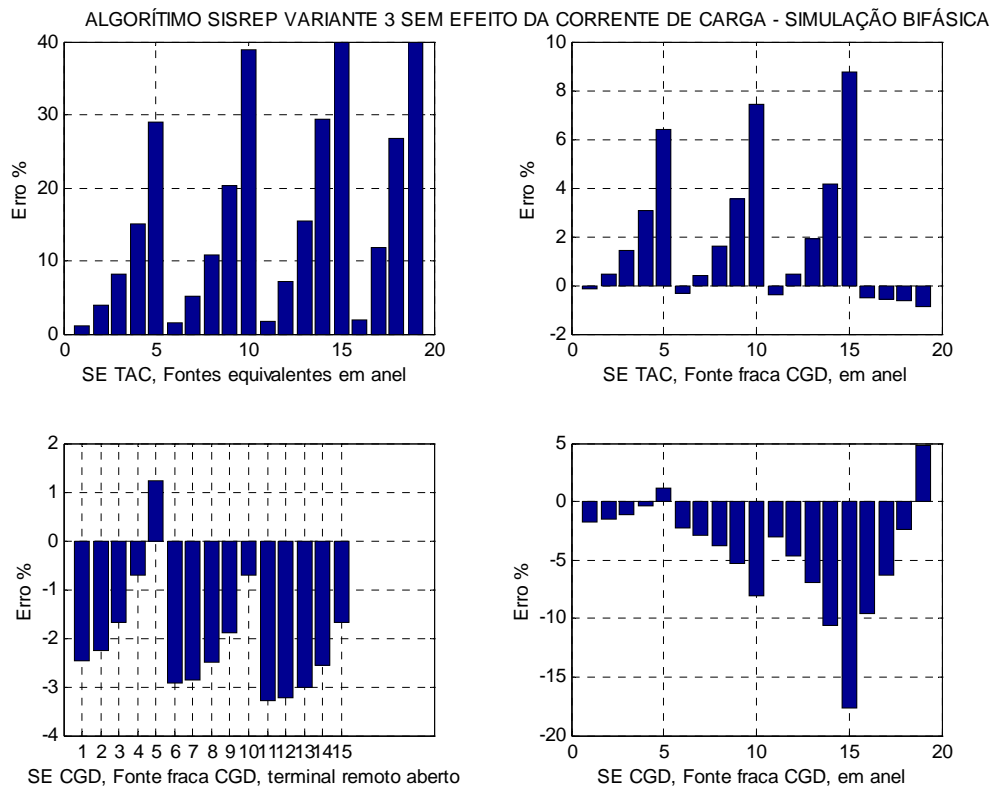
g) Algoritmo bifásico simplificado- variante 3

Os gráficos das Figuras 4.22 e 4.23, a seguir, mostram a resposta dessa *variante dos algoritmos do SISREP* para as simulações bifásicas nas diferentes condições de fontes terminais e resistência de falta, onde podemos observar:

- A versão dessa variante que não elimina o efeito da corrente de carga (fig 4.22) responde de forma similar à variante 2 mostrada anteriormente no item 4.5.f, com valores aceitáveis para todas as condições de fontes equivalentes (forte),



Figuras 4.22 e 4.23 - Desempenho do algoritmo SISREP variante 3 - bifásico, com e sem efeito da corrente de carga, respectivamente.



equivalente ou fraca), em casos de defeitos da baixa impedância (0 a 20ohm), ao longo dos três primeiros quartos da linha;

- A versão que elimina o efeito da corrente de carga também responde de forma similar às variantes 1 e 2 mostradas anteriormente nos itens 4.5.e e 4.5.f.

h) Algoritmo bifásico simplificado- variante 4

Essa *variante dos algoritmos do SISREP* não apresenta nenhuma consistência, conforme podemos verificar nos gráficos a seguir que mostram sua resposta para as simulações bifásicas nas diferentes condições de fontes terminais e resistência de falta (fig 4.24 e 4.25).

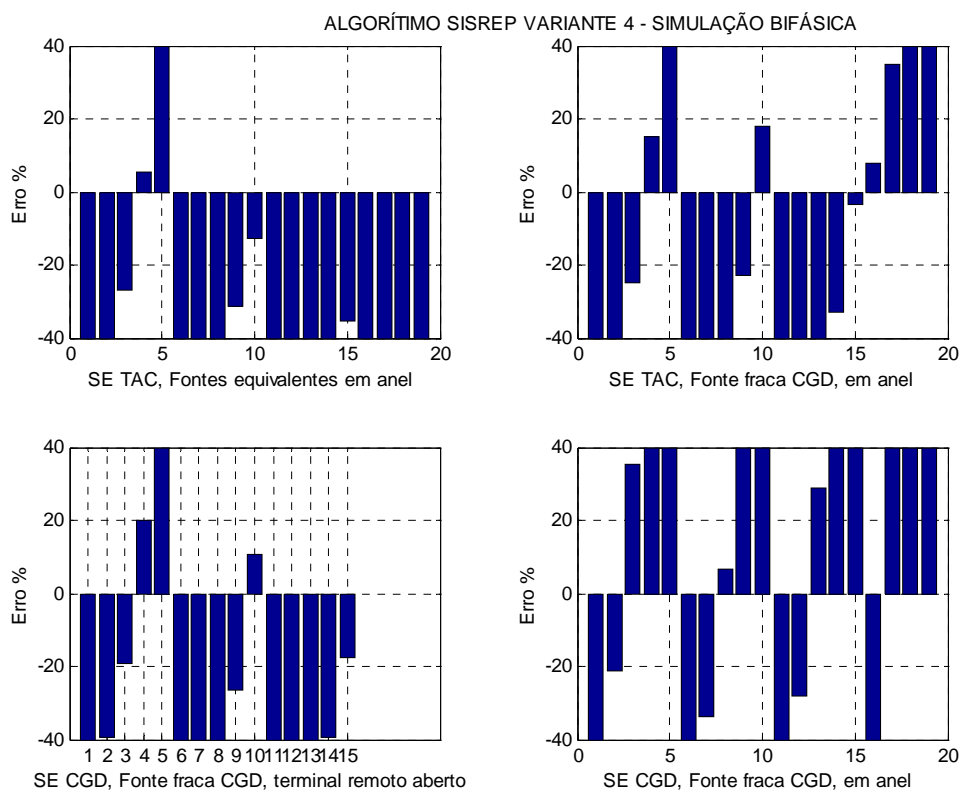


Figura 4.24 - Desempenho do algoritmo SISREP variante 4 - bifásico, com efeito da corrente de carga.

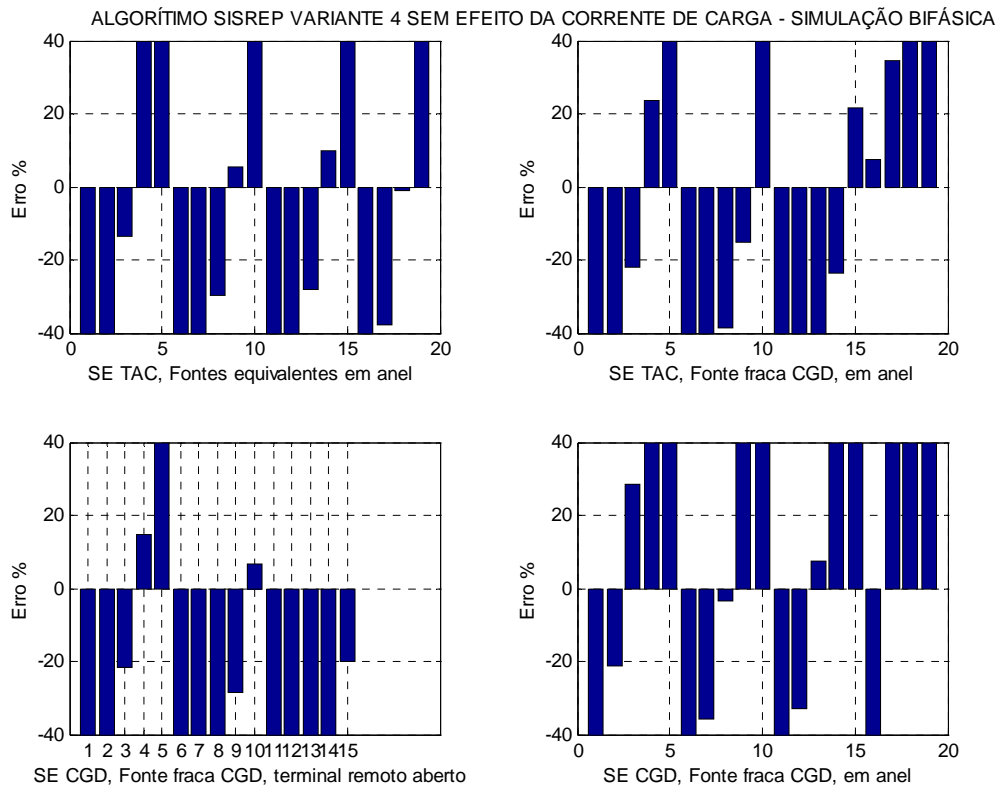


Figura 4.25 - Desempenho do algoritmo SISREP variante 4 - bifásico, sem efeito da corrente de carga.

4.6 Desempenho Dos Algoritmos Sincronizados Baseados Nas Grandezas De Seqüência.

De uma forma geral, os algoritmos que utilizam dados sincronizados dos dois terminais apresentam um bom desempenho, conforme será verificado a seguir, devendo apenas se observar qual das variantes disponíveis, (seqüência zero, negativa ou positiva – parte real ou imaginária) melhor se adequar para o tipo de defeito aplicado.

4.6.1 Seqüência Zero

Os gráficos das Figuras 4.26 a 4.29, a seguir, mostram a resposta da *variante de seqüência zero* nas duas versões possíveis definidas no item 3.3.1.1, ora utilizando a "*parte real*" (equação 32), ora a "*parte imaginária*" (equação 33).

Para as simulações monofásicas (fig 4.26 e 4.27) nas diferentes condições de fontes terminais e resistência de falta, podemos observar que as duas versões, "*real e imaginária*", apresentam **elevada precisão e consistência de resultados**, sendo possível constatar melhor desempenho ainda para a "*versão real*", cujos erros se mostraram abaixo de 0,5%, com alguns poucos casos acima desse valor.

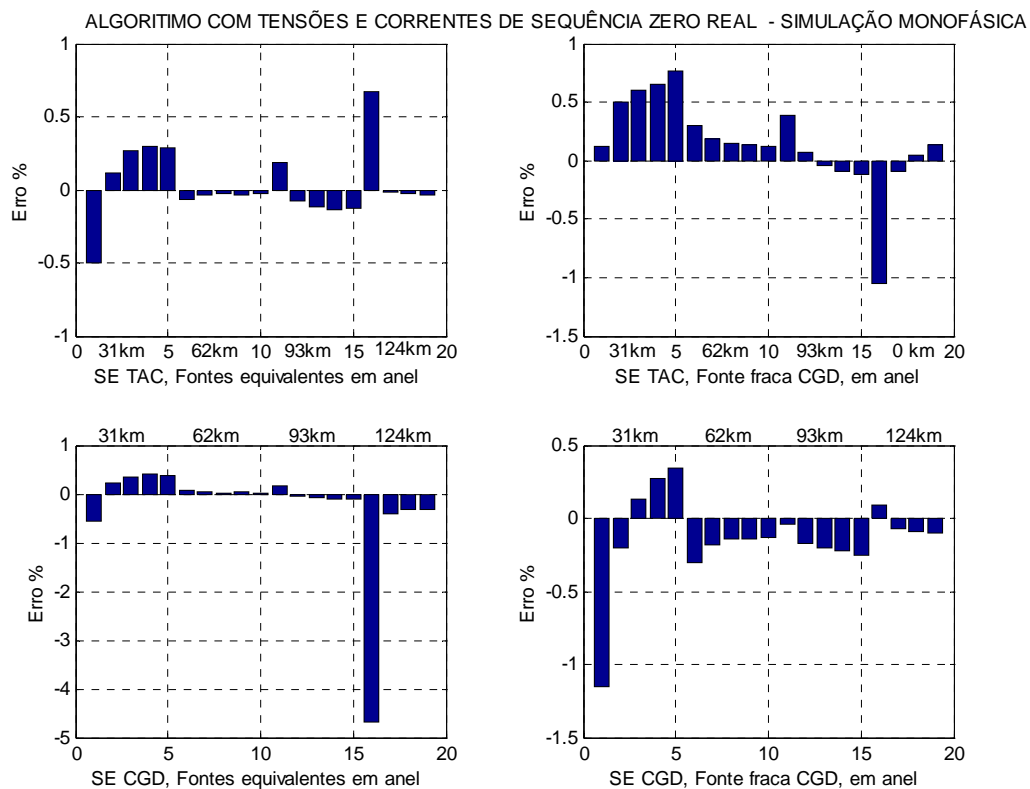


Figura 4.26 - Desempenho do algoritmo seqüência zero, sincronizado, parte real - simulação monofásica.

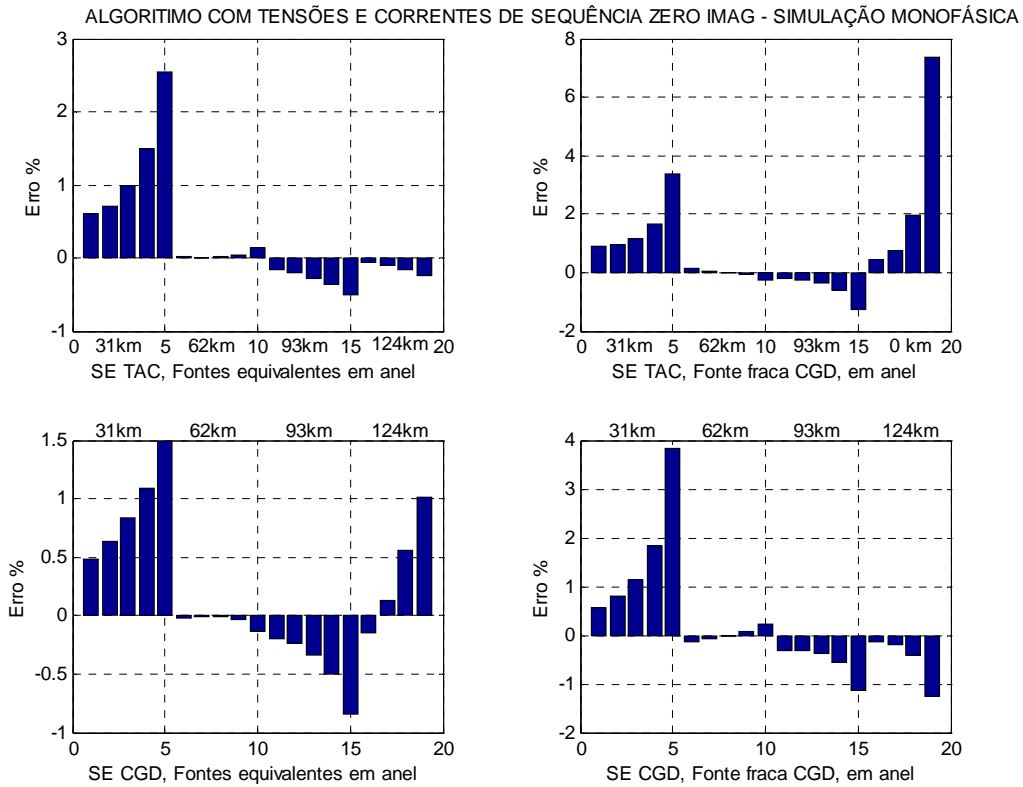
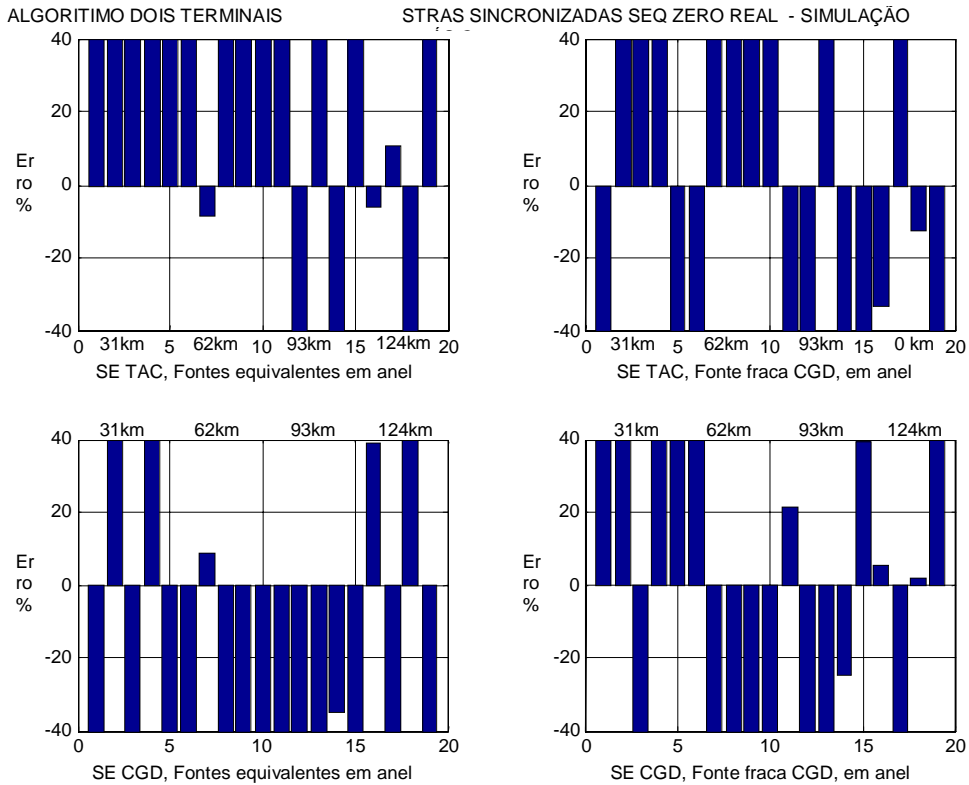
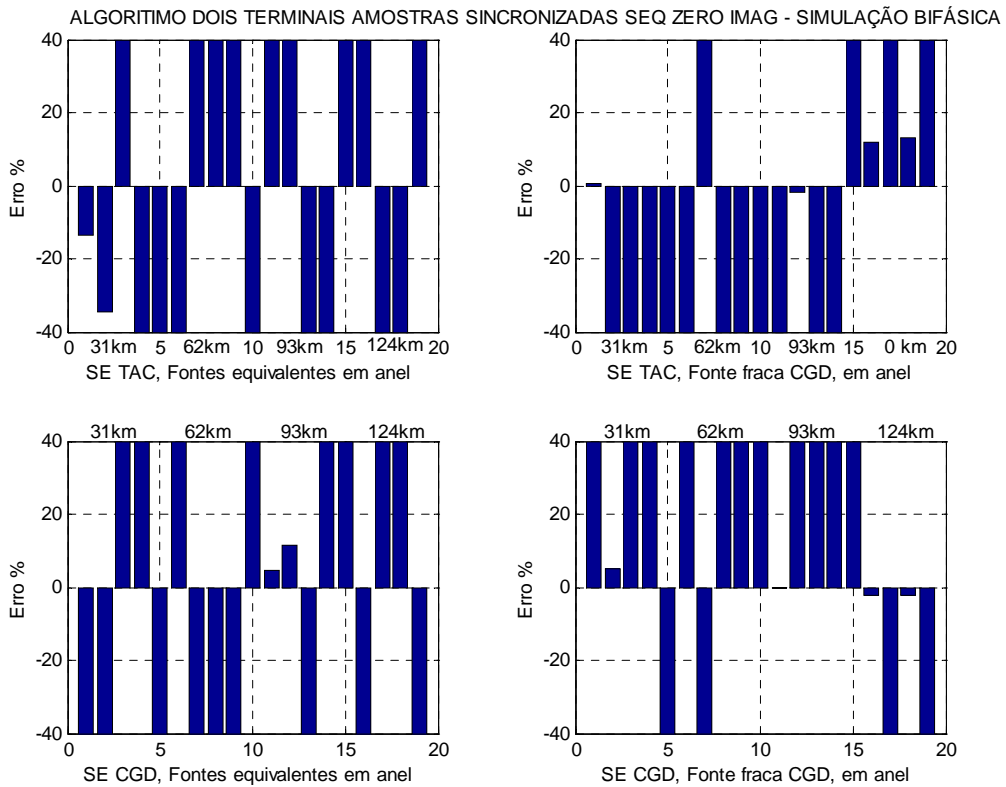


Figura 4.27 - Desempenho do algoritmo seqüência zero, sincronizado, parte imaginária - simulação monofásica.

Para as simulações bifásicas mostradas a seguir (fig 4.28 e 4.29), a resposta das duas versões não é adequada, o que já era esperado, em face da pouca relevância das grandezas de seqüência zero para esse tipo de defeito.



Figuras 4.28 e 4.29 - Desempenho do algoritmo seqüência zero, sincronizado, partes real e imaginária respectivamente - simulação bifásica.



4.6.2 Seqüência Negativa

Os gráficos das Figuras 4.30 a 4.33, a seguir, mostram a resposta da *variante de seqüência negativa* nas duas versões possíveis definidas no item 3.3.1.1, ora utilizando a "*parte real*" (equação 36), ora a "*parte imaginária*" (equação 37).

Nas simulações monofásicas (fig 4.30 e 4.31), a resposta da "*versão real*" também apresenta **elevada precisão e consistência de resultados**, para todas as condições de fontes terminais e resistência de falta. Porém, a resposta da "*versão imaginária*", embora apresente respostas **precisas** para todas as condições de fontes terminais, não se mostra totalmente consistente para algumas situações de elevada resistência de falta, quando os erros verificados não são compatíveis com os demais.

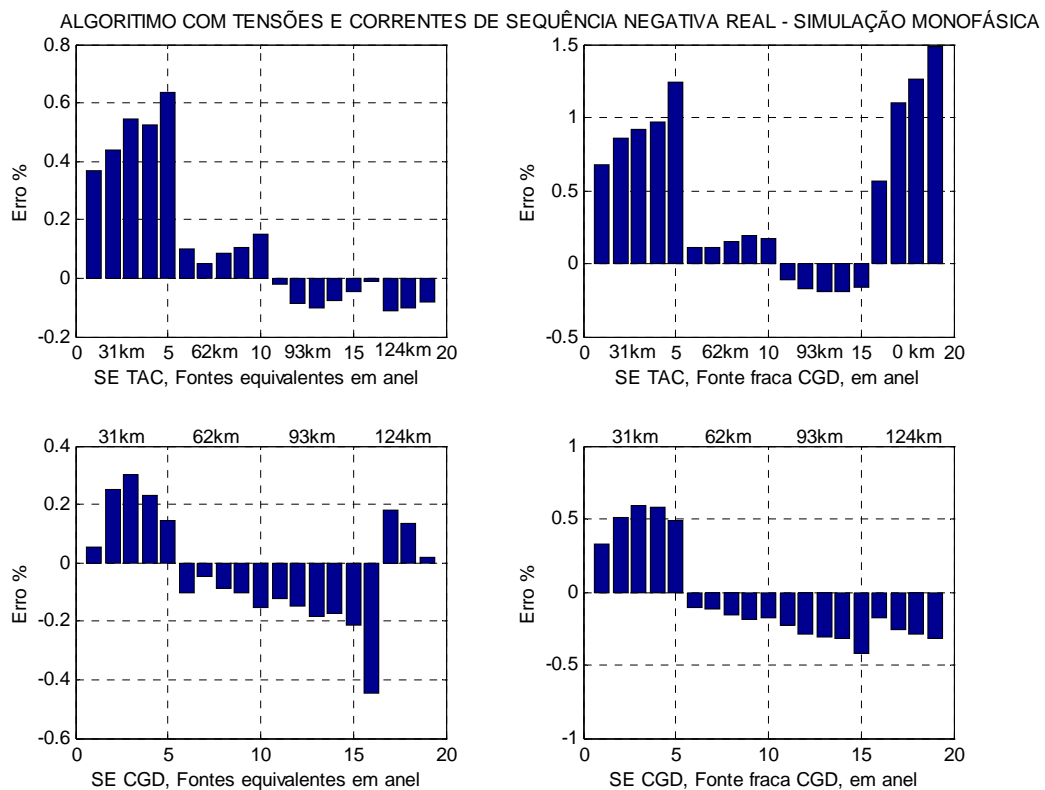


Figura 4.30 – Desempenho do algoritmo seqüência negativa, sincronizado, parte real – simulação monofásica.

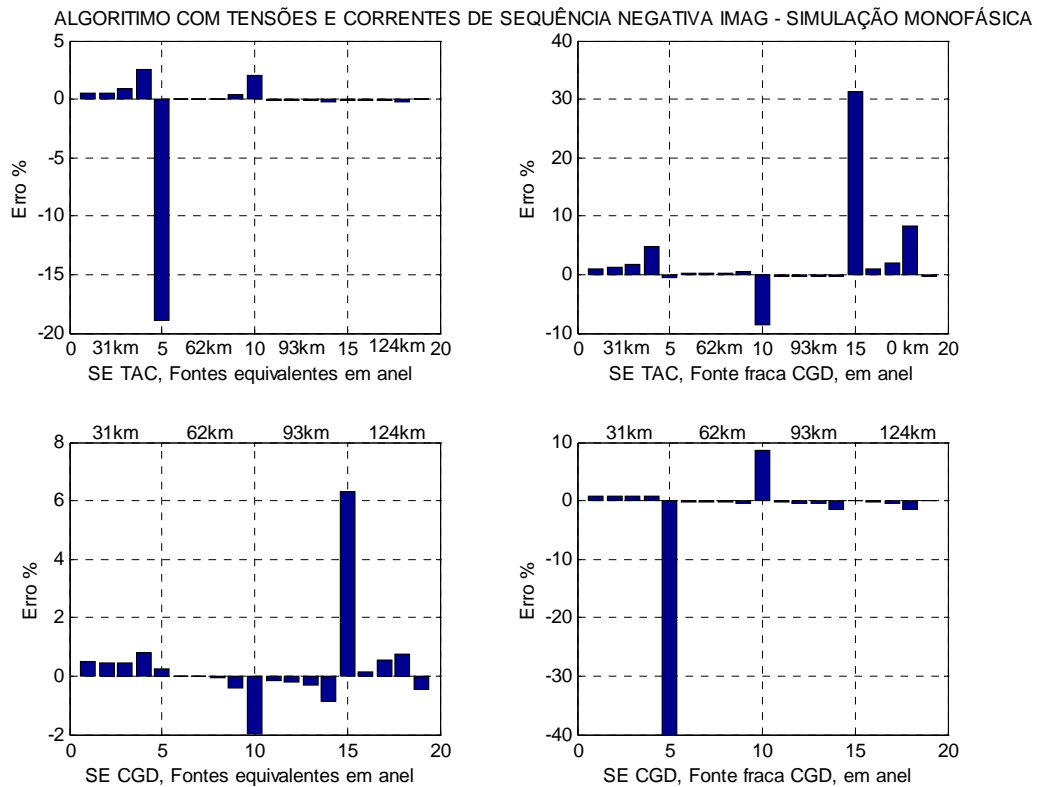
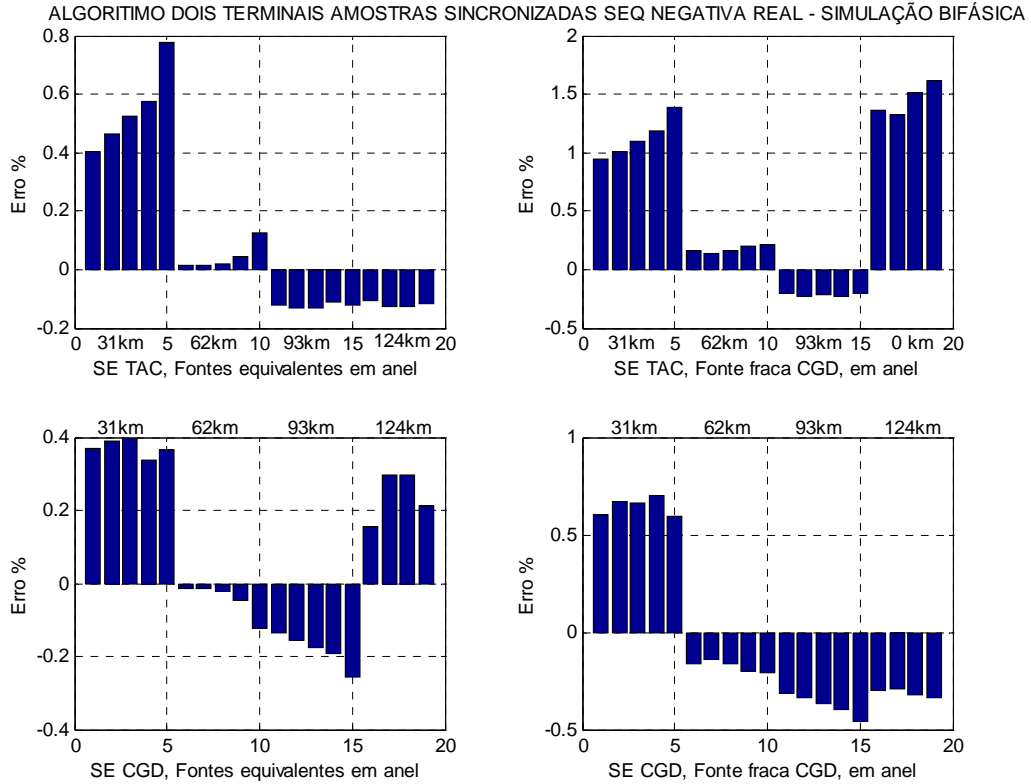
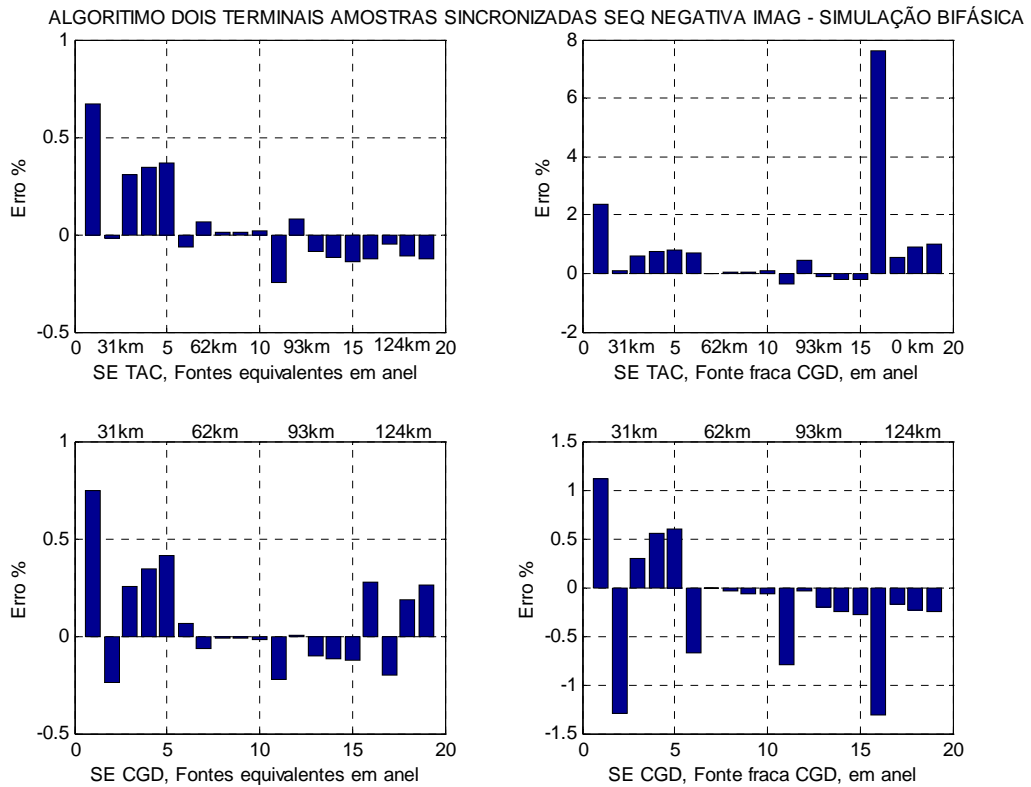


Figura 4.31 - Desempenho do algoritmo seqüência negativa, sincronizado, parte imaginária- simulação monofásica.

Para as simulações bifásicas mostradas a seguir nas Figuras 4.32 e 4.33, a seguir, nas diferentes condições de fontes terminais e resistência de falta, podemos observar que as duas versões, "*real e imaginária*", continuam apresentando **elevada precisão e consistência de resultados**, sendo possível constatar melhor desempenho ainda para a "*versão real*", cujos erros se mostraram abaixo de 0,5%, com alguns poucos casos acima desse valor.



Figuras 4.32 e 4.33 - Desempenho do algoritmo seqüência negativa, sincronizado, partes real e imaginária respectivamente - simulação bifásica.



4.6.3 Seqüência Positiva

Os gráficos das Figuras 4.34 a 4.37, a seguir, mostram a resposta da *variante de seqüência positiva* nas duas versões possíveis definidas no item 3.3.1.1, ora utilizando a "*parte real*" (equação 34), ora a "*parte imaginária*" (equação 35).

Para as simulações monofásicas, nas diferentes condições de fontes terminais e resistência de falta, podemos observar que a "*versão real*" (fig 4.34) apresenta **elevada precisão e consistência de resultados**, exceto para alguns poucos casos de maior resistência de falta, quando verificamos erros da ordem de 6% .

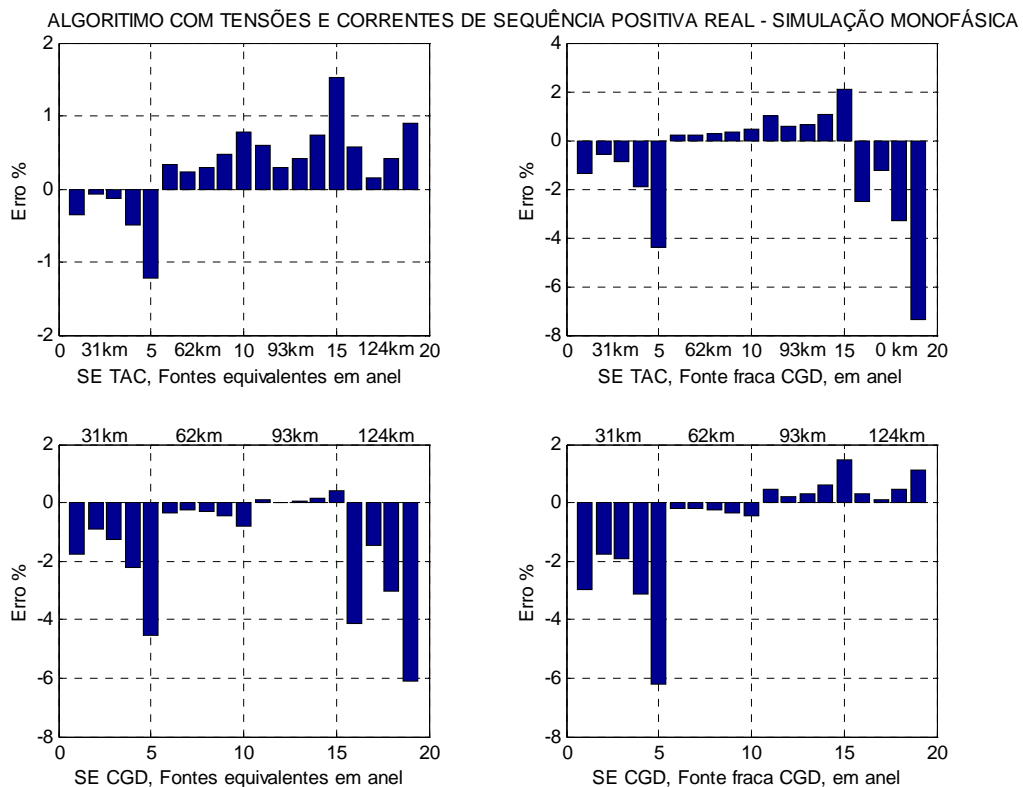


Figura 4.34 - Desempenho do algoritmo seqüência positiva, sincronizado, parte real – simulação monofásica.

Por sua vez, a “**versão imaginária**” (fig 4.35) não apresentou resultados consistentes e precisos, exceto para defeitos em torno da metade da linha para qualquer uma das condições de fontes terminais, inibindo sua utilização para fins de localização de falta.

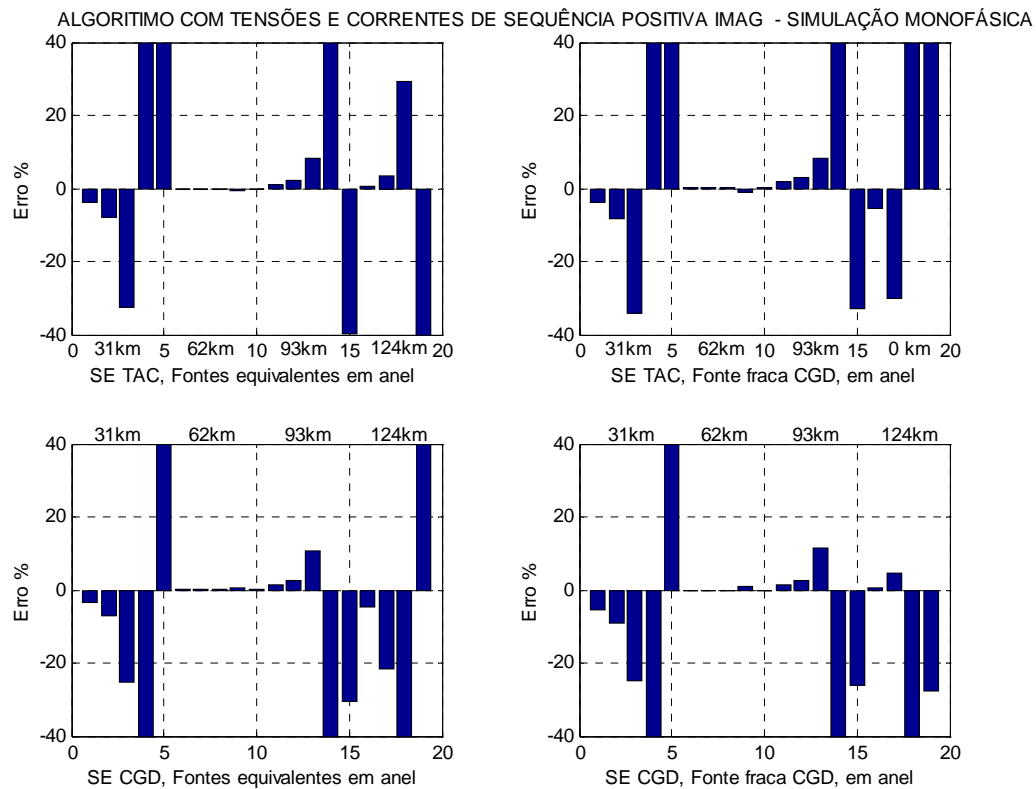
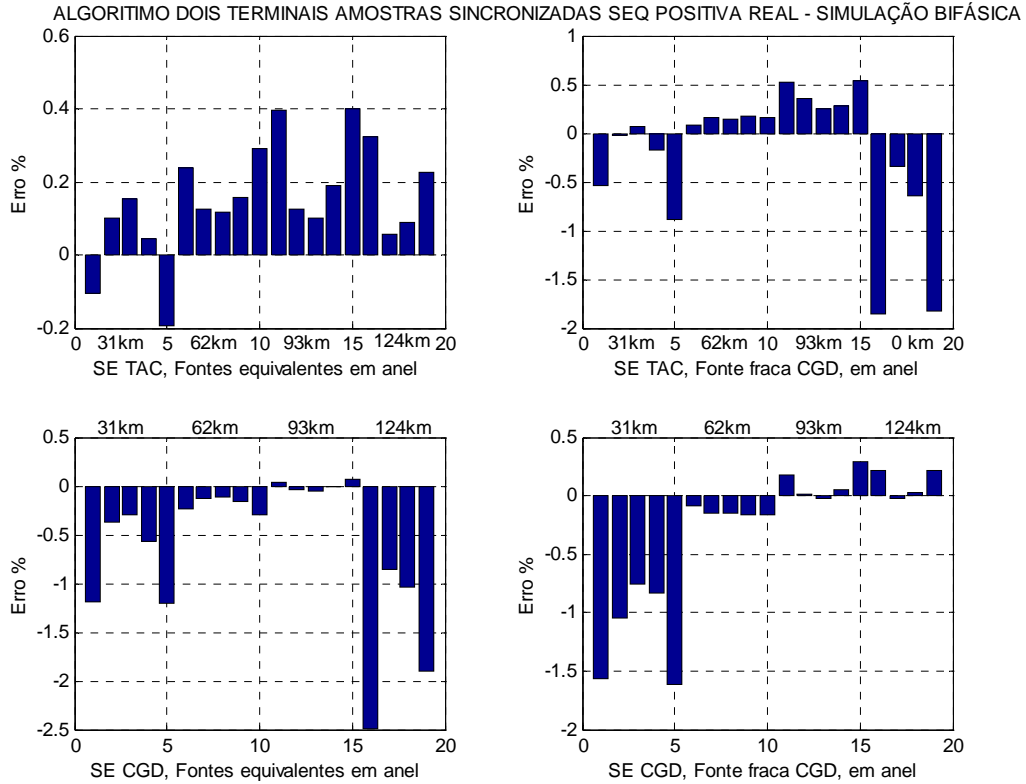
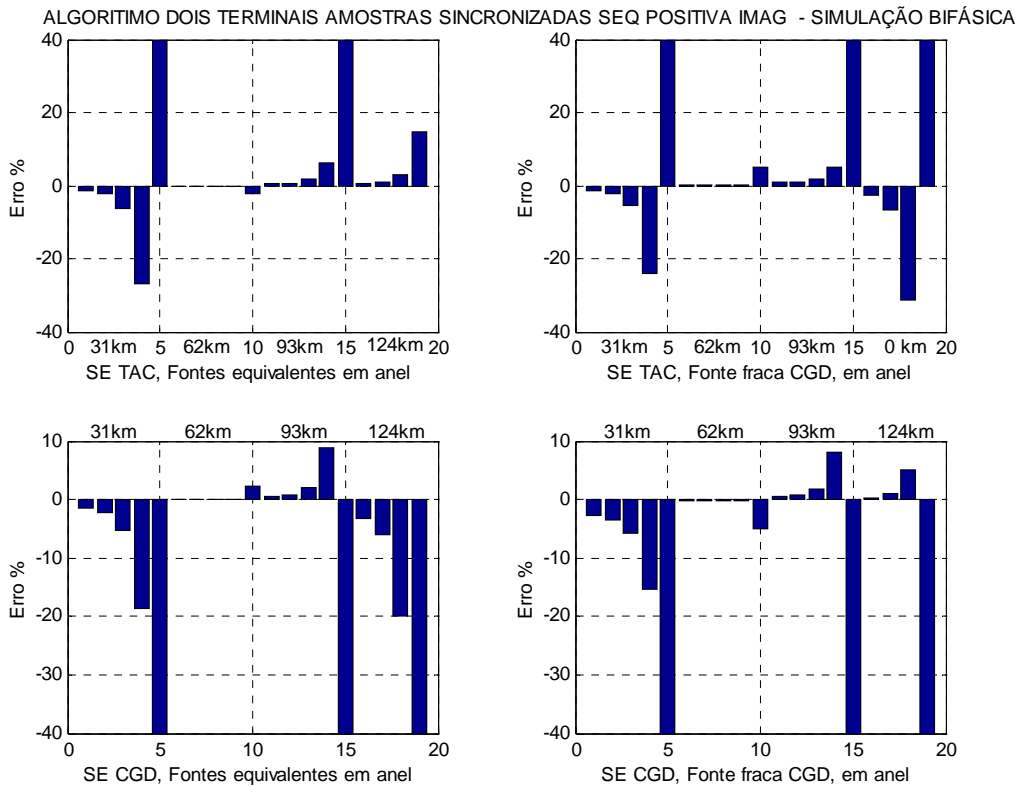


Figura 4.35 - Desempenho do algoritmo seqüência positiva, sincronizado, parte imaginária – simulação monofásica.

Para as simulações bifásicas (fig 4.36 e 4.37), a seguir, a resposta das duas versões, “**real e imaginária**”, se comporta de forma similar ao caso anterior, para as componentes de seqüência negativa utilizadas para defeitos monofásicos, com a “**versão real**” também apresentando **elevada precisão e consistência de resultados**, enquanto que a resposta da “**versão imaginária**”, apesar de apresentar respostas de **razoável precisão** para todas as condições de fontes terminais, se mostra menos consistente para algumas situações de elevada resistência de falta, quando os erros verificados não são compatíveis com os demais.



Figuras 4.36 e 4.37 - Desempenho do algoritmo seqüência positiva, sincronizado, partes real e imaginária respectivamente - simulação bifásica.



4.6.4 Combinação De Todas As Seqüências – Critério Erro Mínimo Quadrático.

Os gráficos das Figuras 4.38 e 4.39, a seguir, mostram a resposta da *variante de seqüência - erro mínimo quadrático*, combinando todas as 3 variantes de seqüência e cada uma das duas versões possíveis definidas no item 3.3.1.1, ou seja, a "*parte real*" e a "*parte imaginária*". Nessas simulações podemos ver que essa alternativa produz respostas **altamente precisas e de elevada consistência** para todas as condições de fontes terminais e resistência de falta. Vale salientar ainda que essa precisão poderia ser bem maior, caso descartássemos do critério *erro mínimo quadrático* aquelas variantes de menor precisão e consistência, descritas anteriormente nos itens 4.6.1, 4.6.2 e 4.6.3.

ALGORITMO COM TENSÕES E CORRENTES DE SEQÜÊNCIA - CRITÉRIO ERRO MÍNIMO QUADRÁTICO - SIMULAÇÃO MONOFÁSICA

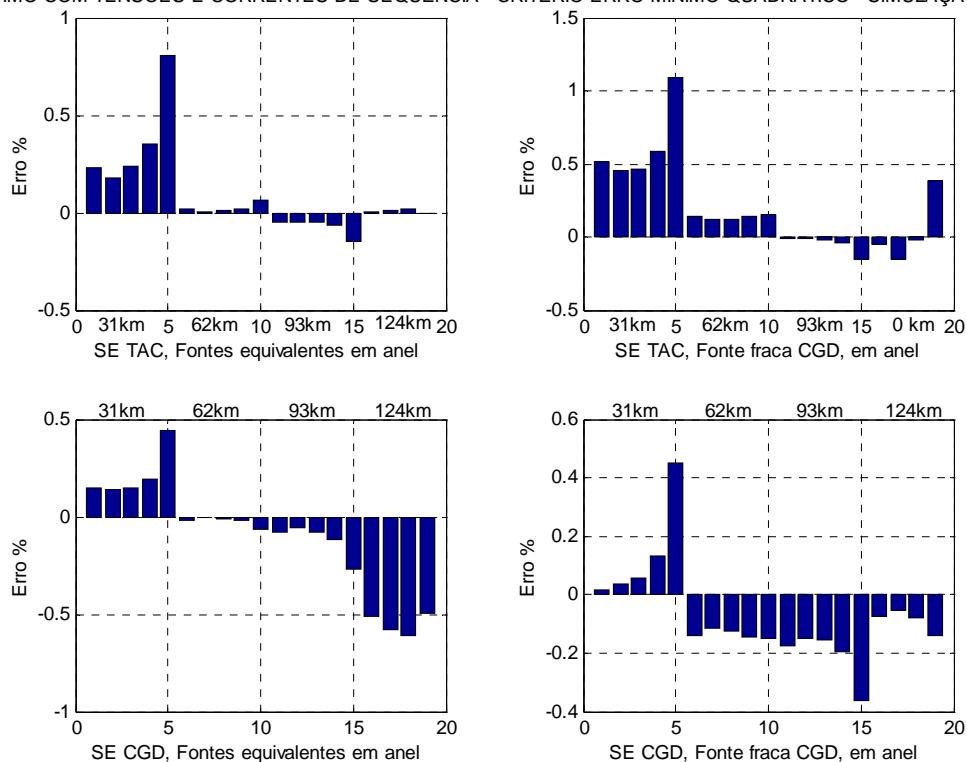


Figura 4.38 – Desempenho dos algoritmos de seqüência, sincronizado, critério Erro Mínimo Quadrático – simulação monofásica.

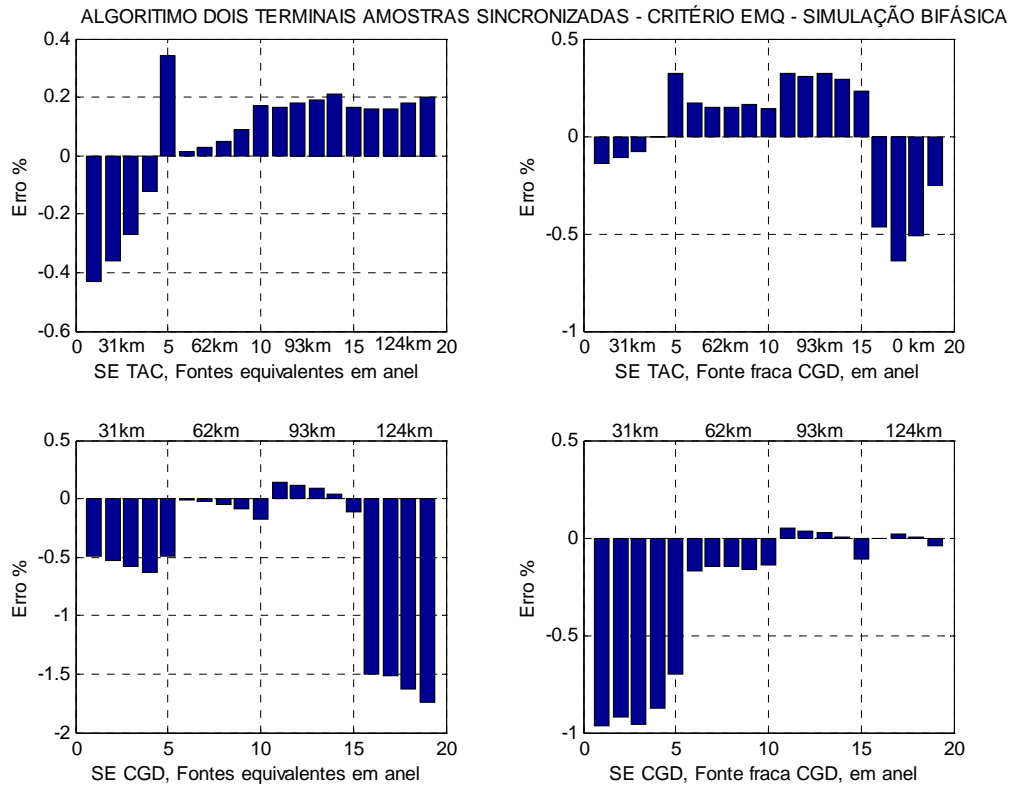


Figura 4.39 – Desempenho dos algoritmos de seqüência, sincronizado, critério Erro Mínimo Quadrático – simulação bifásica.

4.7 Desempenho Dos Algoritmos Sincronizados Baseados Nas Grandezas De Fase.

Os gráficos das Figuras 4.40 a 4.43, a seguir, mostram a resposta da *variante utilizando grandezas de fase* nas duas versões possíveis definidas no item 3.3.1.2, ora utilizando a "*parte real*" (equação 40), ora a "*parte imaginária*" (equação 41).

Para as simulações monofásicas, nas diferentes condições de fontes terminais e resistência de falta, podemos observar que a “*versão real*” (fig 4.40) apresenta **boa precisão e consistência de resultados**, exceto para alguns poucos pontos em que o erro atingiu cerca de 5%.

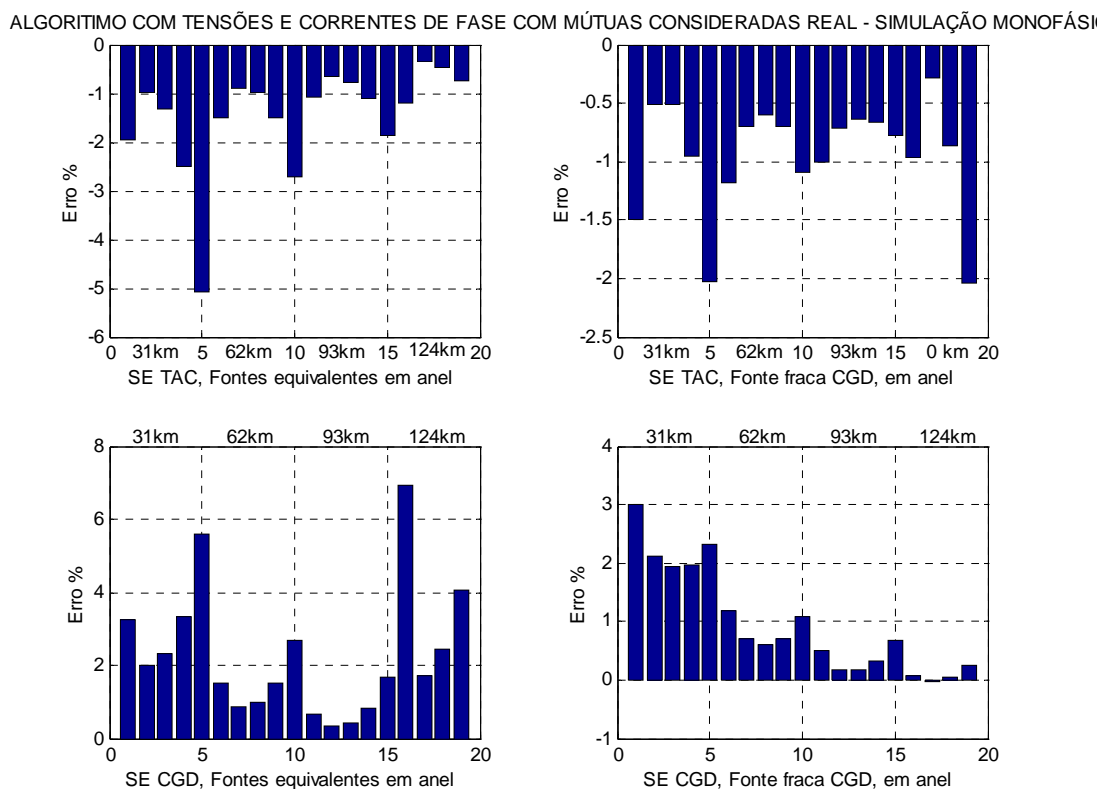


Figura 4.40 – Desempenho do algoritmo de fase, sincronizado, parte real – simulação monofásica.

Por outro lado, a resposta da “*versão imaginária*”, apesar de apresentar respostas de **boa precisão** para todas as condições de fontes terminais, não se mostra totalmente consistente para

algumas situações de elevada resistência de falta, quando os erros verificados não são compatíveis com os demais, conforme Figura 4.41 abaixo.

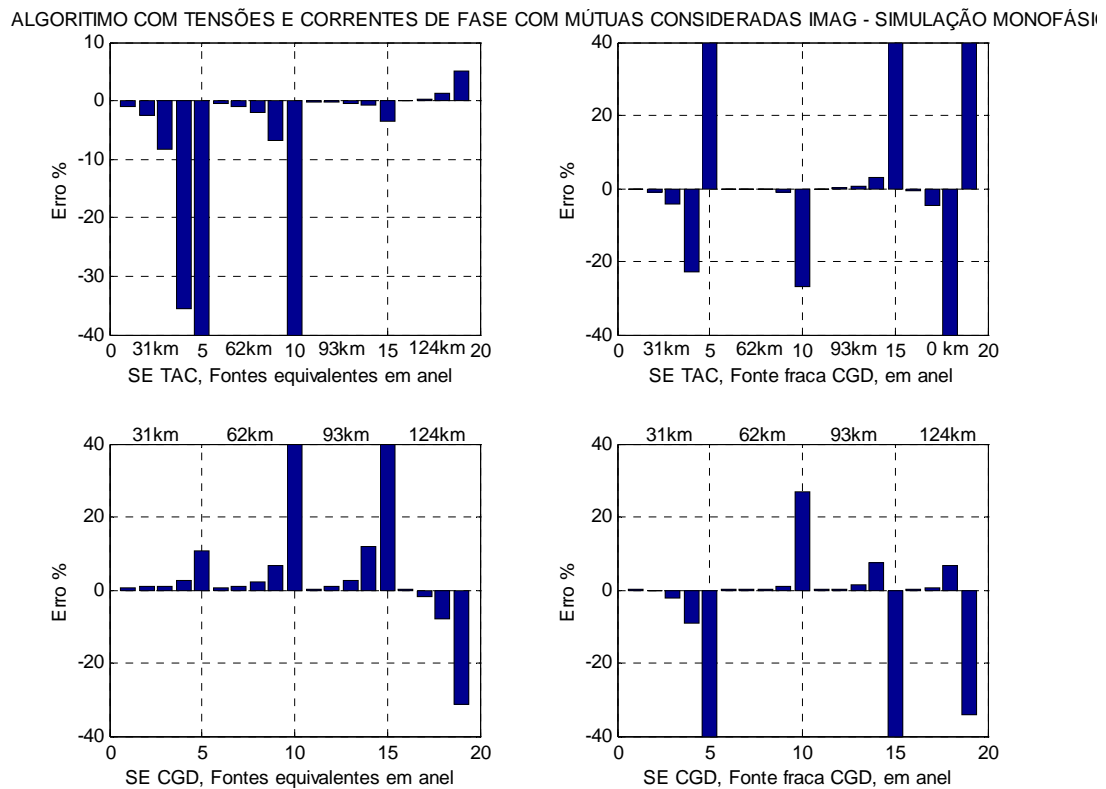
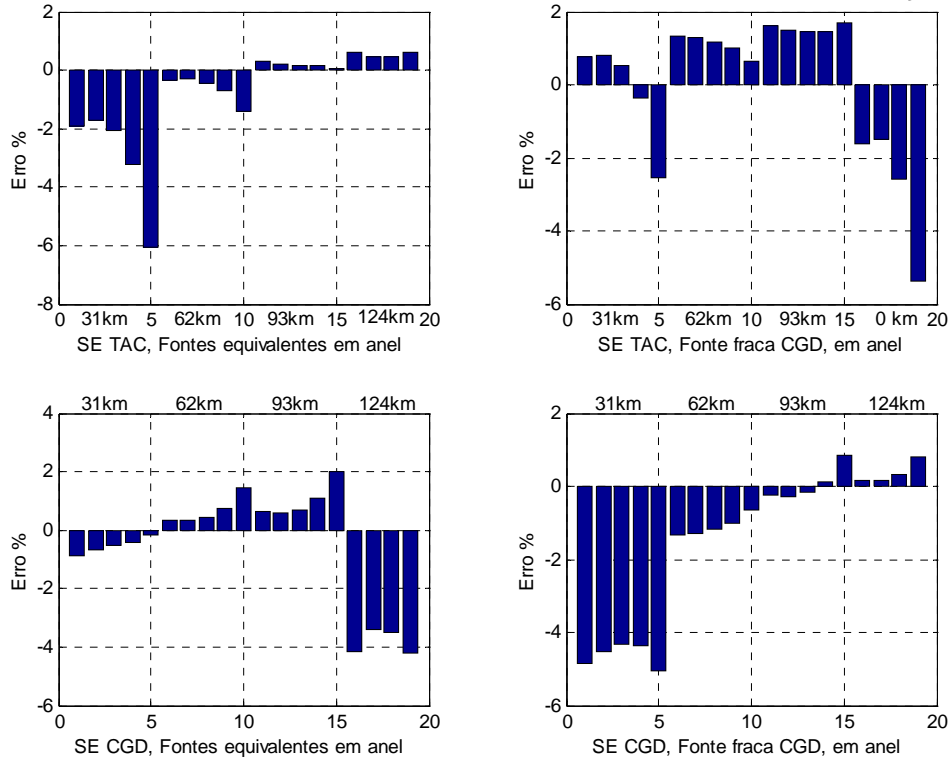


Figura 4.41 – Desempenho do algoritmo de fase, sincronizado, parte imaginária simulação monofásica.

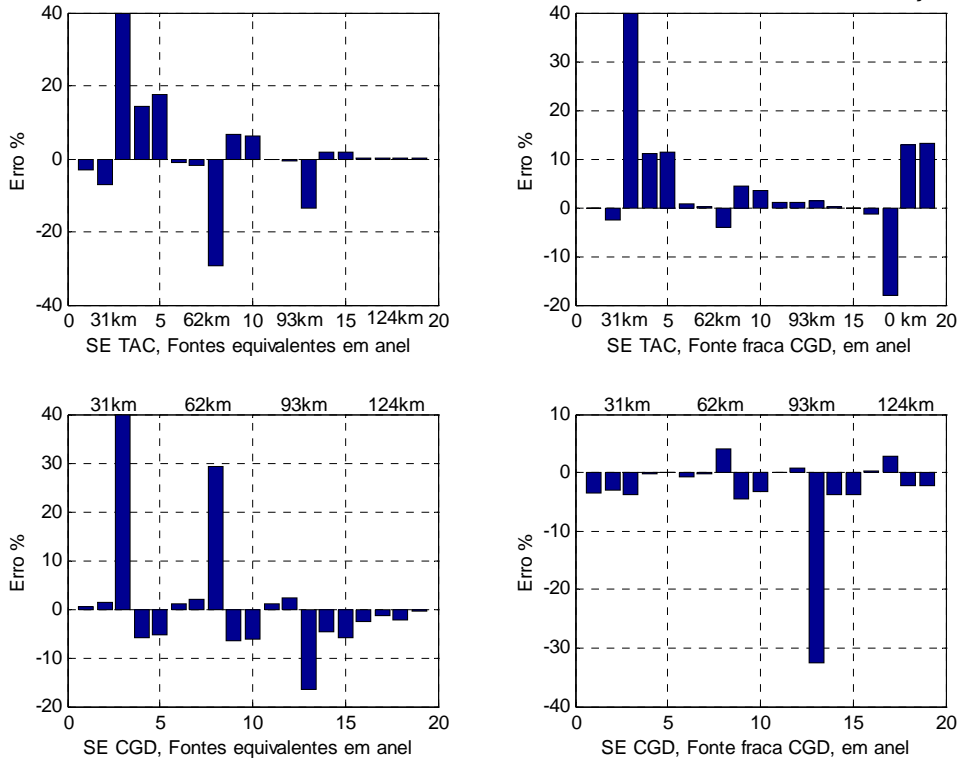
Para as simulações bifásicas mostradas nas Figuras 4.42 e 4.43, a seguir, o desempenho é o mesmo, ou seja, a resposta das duas versões se comporta de forma similar à resposta de cada uma delas para defeitos monofásicos, descritos no parágrafo anterior.

ALGORITMO DOIS TERMINAIS AMOSTRAS SYNC DE FASE MÚTUAS CONSIDERADAS REAL - SIMULAÇÃO BIFÁSICA



Figuras 4.42 e 4.43 - Desempenho do algoritmo de fase, sincronizado, partes real e imaginária respectivamente - simulação bifásica.

ALGORITMO DOIS TERMINAIS AMOSTRAS SYNC DE FASE MÚTUAS CONSIDERADAS IMAG - SIMULAÇÃO BIFÁSICA



4.8 Desempenho Dos Algoritmos Sincronizados Baseados Em Grandezas Modais.

Os gráficos a seguir mostram a resposta dos algoritmos sincronizados utilizando os modos 1, 2 e 3 conforme definido no item 3.3.1.3. Dessas simulações concluímos que, de uma forma geral, esses algoritmos *apresentam conjuntamente um bom desempenho* para as diversas situações testadas, sendo possível observar:

Para defeitos monofásicos (fig 4.44 a 4.46):

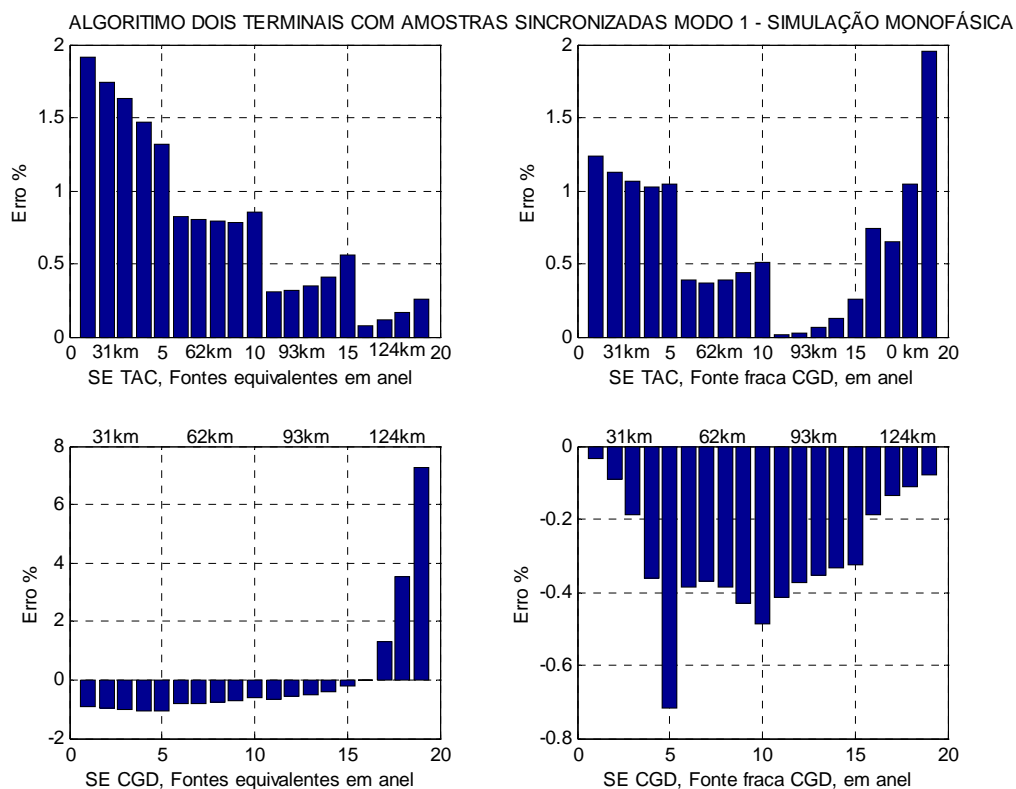


Figura 4.44 - Desempenho do algoritmo modo 1 - monofásico.

- As medições efetuadas no *modo 1* (fig 4.44 acima) apresentaram **elevada precisão e consistência de**

resultados, com erros sempre inferiores a 2% para todas as condições de fontes e resistências de falta, exceto para 2 simulações com fontes equivalentes e elevada resistência de falta, que apresentaram erros da ordem de 3 e 7%.

- As medições efetuadas nos **modos 2 e 3** apresentaram **boa precisão**, porém inferior à do modo 1, especialmente em algumas situações de elevada resistência de falta, conforme Figuras 4.45 e 4.46 a seguir.

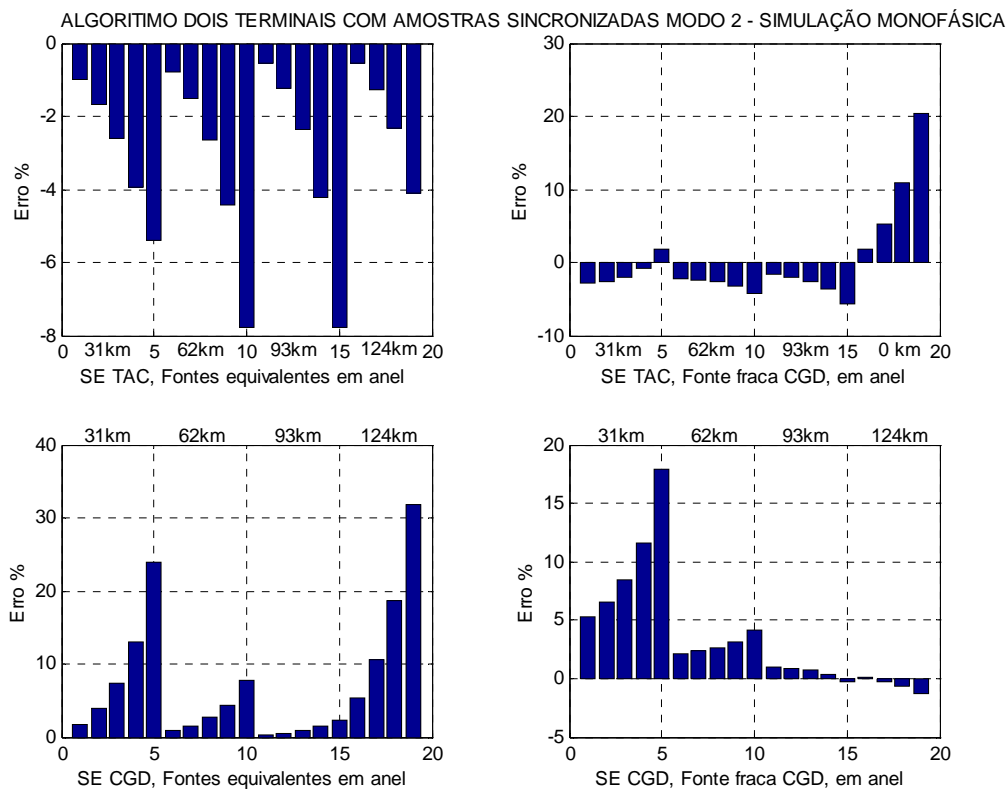


Figura 4.45 - Desempenho do algoritmo modo 2 - monofásico.

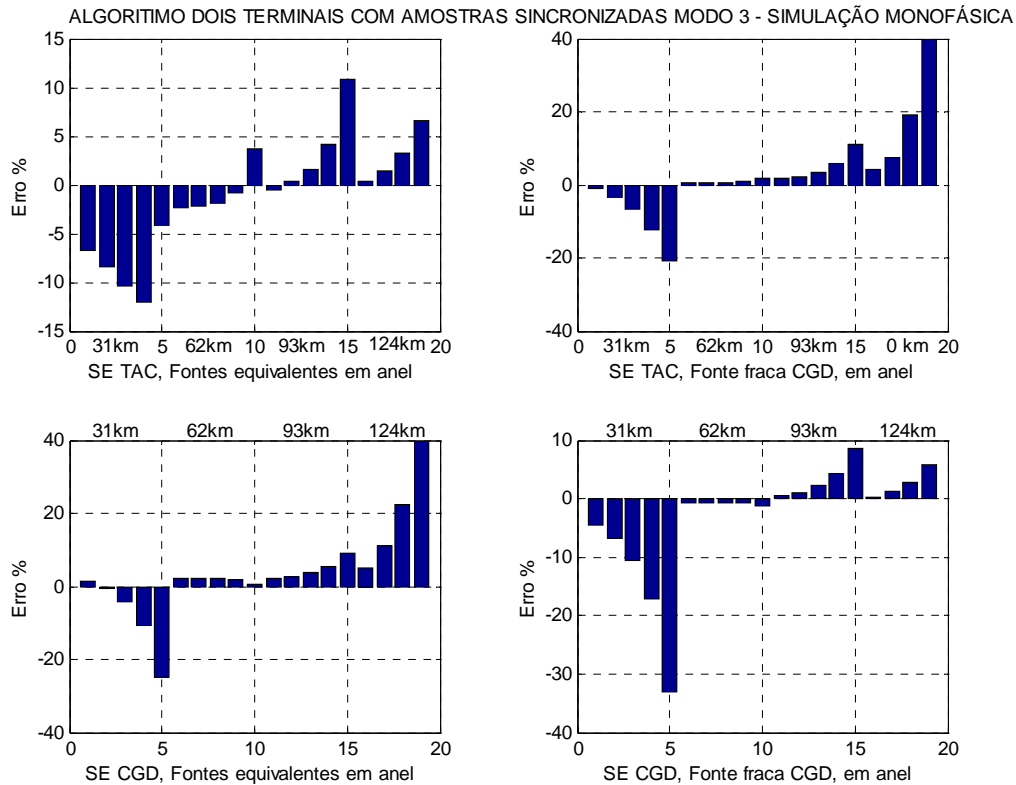


Figura 4.46 - Desempenho do algoritmo modo 3 - monofásico.

Para defeitos bifásicos (fig 4.47 a 4.49):

- As medições efetuadas no **modo 3** apresentaram **muito boa precisão e consistência de resultados**, com erros sempre inferiores a 4% para todas as condições de fontes e resistência de falta, exceto para o caso específico de simulação no terminal de fonte fraca e para defeitos muito próximos a esse terminal, quando foram observados erros mais significativos, da ordem de 12%, para alta resistência de falta, conforme Figura 4.47, a seguir.

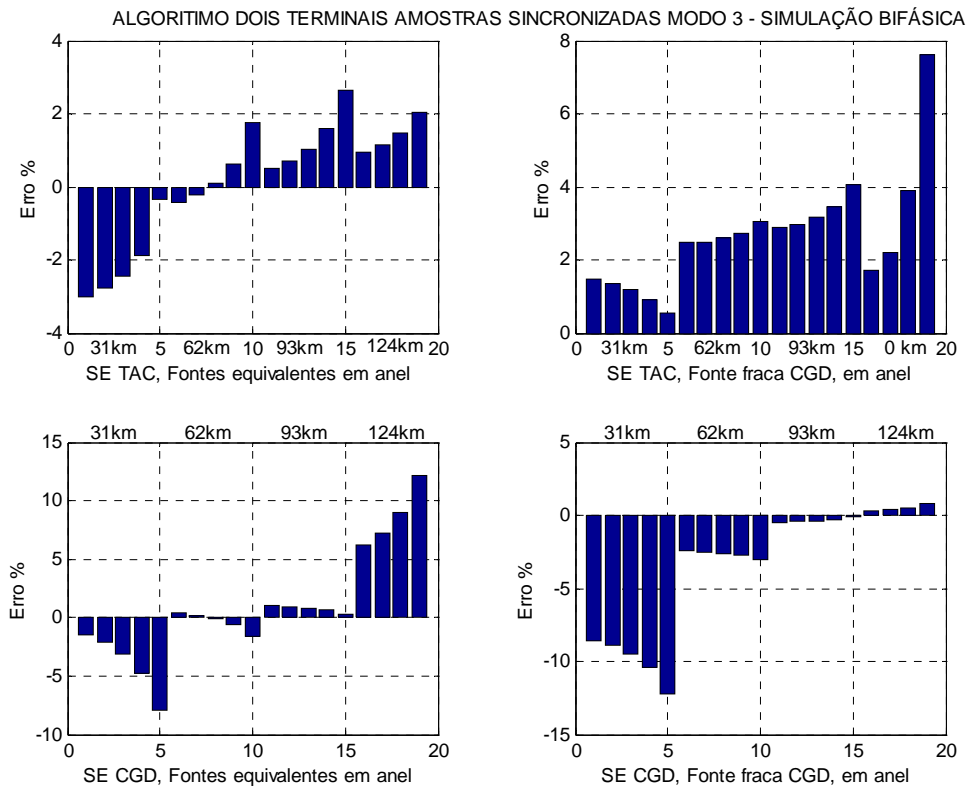


Figura 4.47 - Desempenho do algoritmo modo 3 - bifásico.

- As medições efetuadas no *modo 2* apresentam um desempenho similar ao **modo 3** descrito acima, o que pode ser verificado na Figura 4.48, a seguir, enquanto que o **modo 1** deve ser descartado para esse tipo de defeito, em face dos elevados erros e inconsistência na série, conforme mostrado na Figura 4.49.

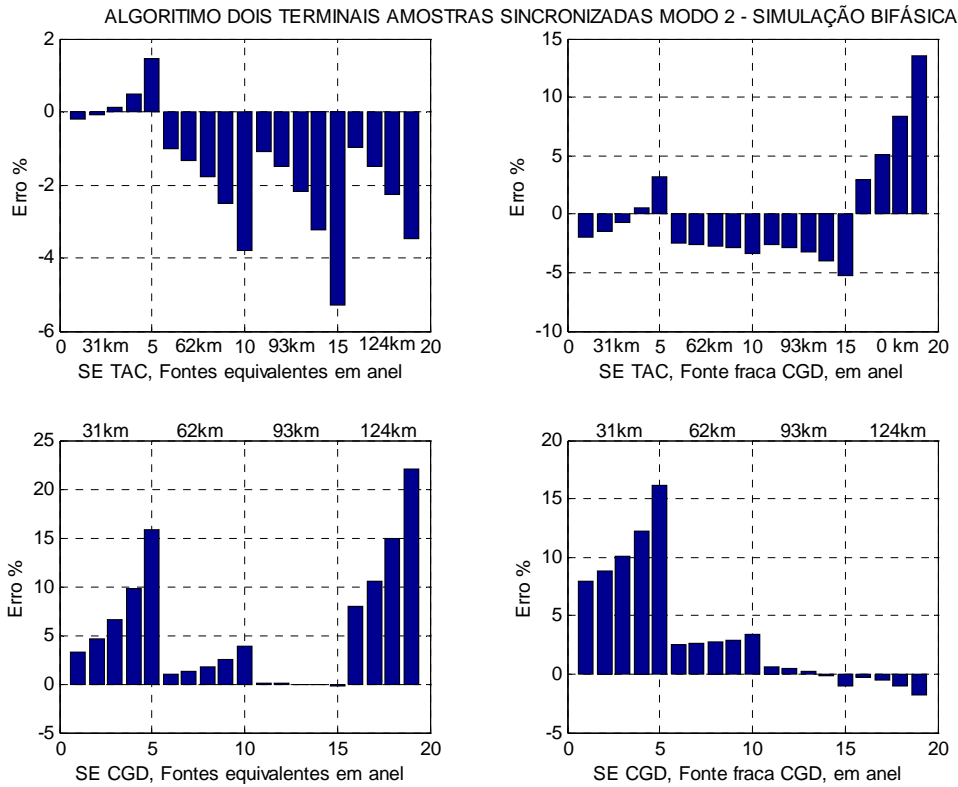


Figura 4.48 - Desempenho do algoritmo modo 2 - bifásico.

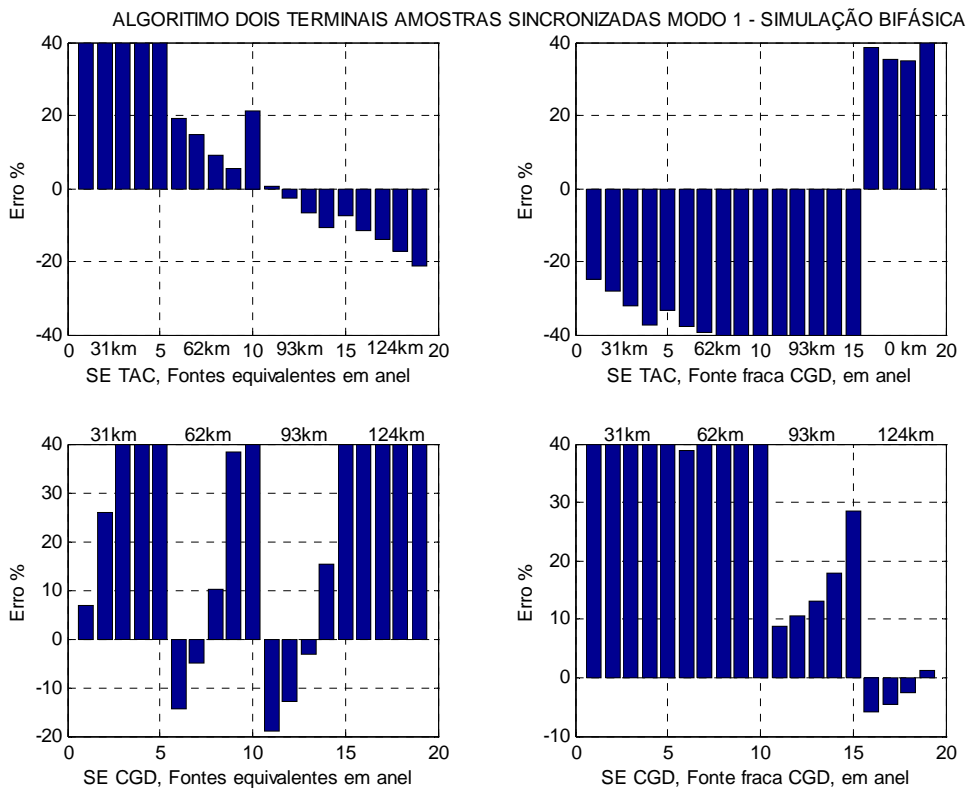


Figura 4.49 - Desempenho do algoritmo modo 1 - bifásico.

Os gráficos das Figuras 4.50 e 4.51, a seguir, mostram a resposta do critério do *erro mínimo quadrático* aplicado aos algoritmos sincronizados utilizando os modos 1, 2 e 3 para defeitos monofásicos, enquanto que para defeitos bifásicos foram utilizados apenas os modos 2 e 3, em função da avaliação efetuada no parágrafo acima. Dessas simulações concluímos que, também nesse caso, esse artifício otimiza consideravelmente o desempenho dos algoritmos, que passam a se *apresentar mais precisos e consistentes* para as diversas situações de fontes e resistência de falta.

TIMO DOIS TERMINAIS COM AMOSTRAS SINCRONIZADAS MODO - CRITÉRIO ERRO MÍNIMO QUADRÁTICO - SIMULAÇÃO MOI

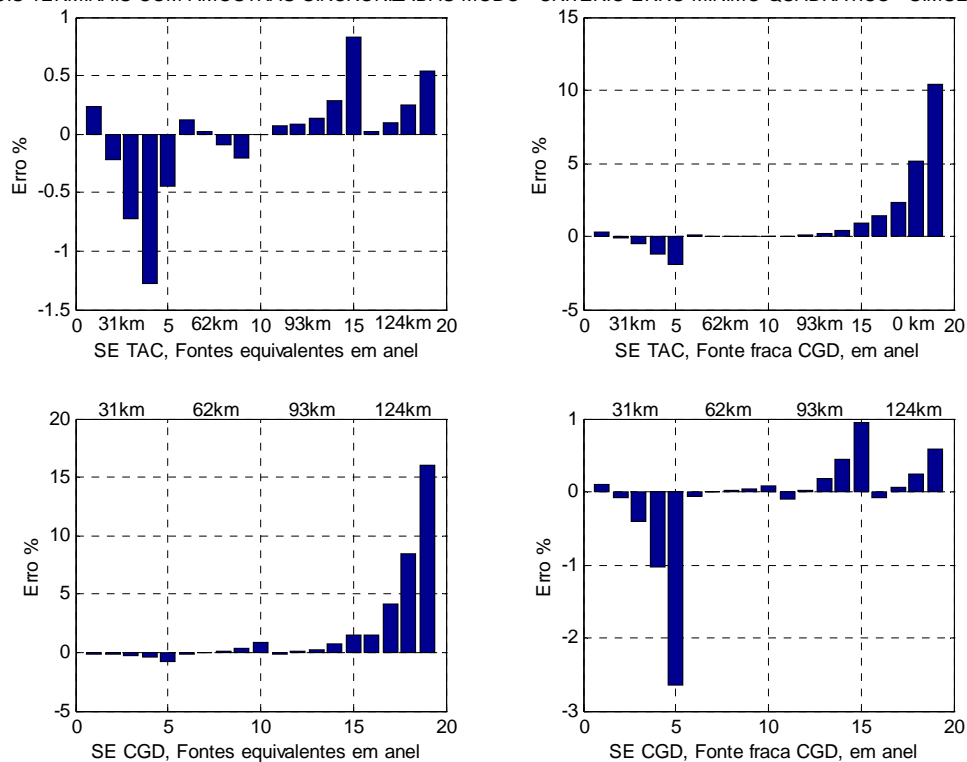


Figura 4.50 - Desempenho dos algoritmos de modo - critério EMQ - monofásico.

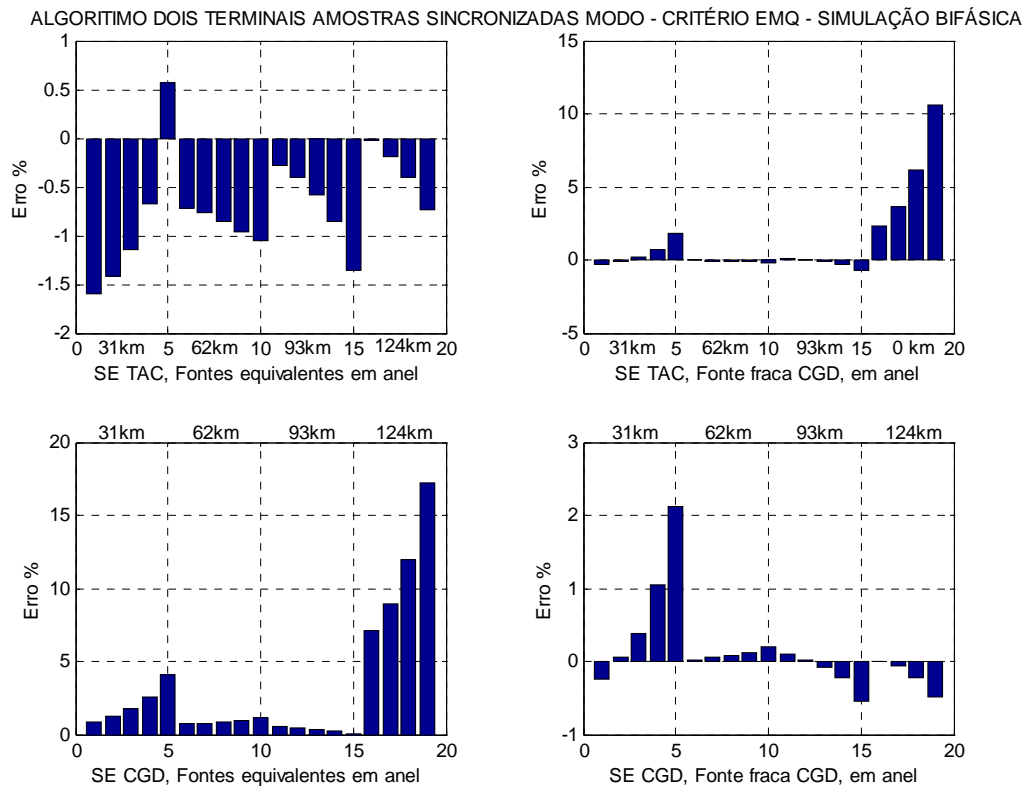


Figura 4.51 – Desempenho dos algoritmos de modo – critério EMQ - bifásico.

4.9 Desempenho Dos Algoritmos Com Amostras Assíncronas Baseadas Nas Grandezas De Seqüência.

De uma forma geral, os algoritmos que utilizam dados assíncronos dos dois terminais também apresentam um bom desempenho, conforme será verificado a seguir, devendo apenas se observar qual das variantes disponíveis, (seqüência zero, negativa ou positiva – raiz 1 ou 2) se adequar melhor para o tipo de defeito aplicado.

4.9.1 Seqüência Zero

Os gráficos das Figuras 4.52 a 4.55, a seguir, mostram a resposta da *variante de seqüência zero* nas duas versões possíveis definidas no item 3.3.2.1, ora utilizando a "*raiz 1*" (equação 58), ora a "*raiz 2*" (equação 59).

Para as simulações monofásicas nas diferentes condições de fontes terminais e resistência de falta, podemos observar que a utilização da "*raiz 2*" (equação 59) é a adequada, e apresenta **elevada precisão e consistência de resultados**, para todas as condições de fontes terminais e resistência de falta, conforme Figuras 4.52 e 4.53. Os erros se situaram em torno e abaixo de 0,5%.

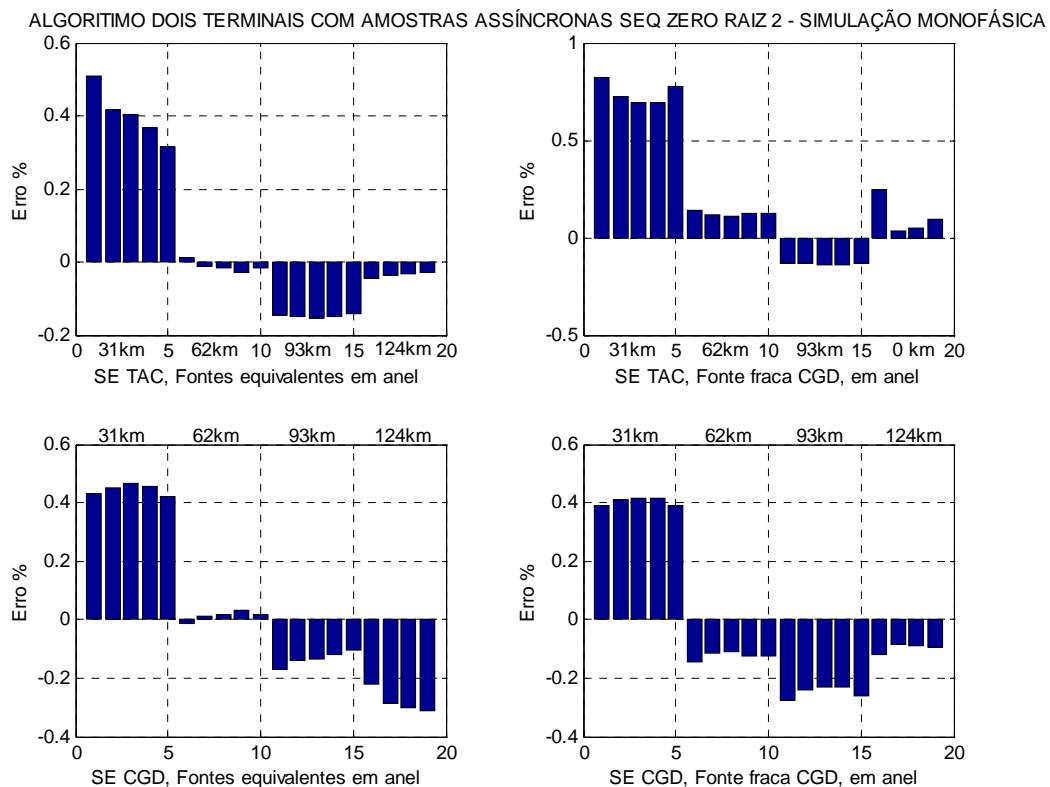


Figura 4.52 - Desempenho do algoritmo seqüência zero, assíncrono, raiz 2 - simulação monofásica.

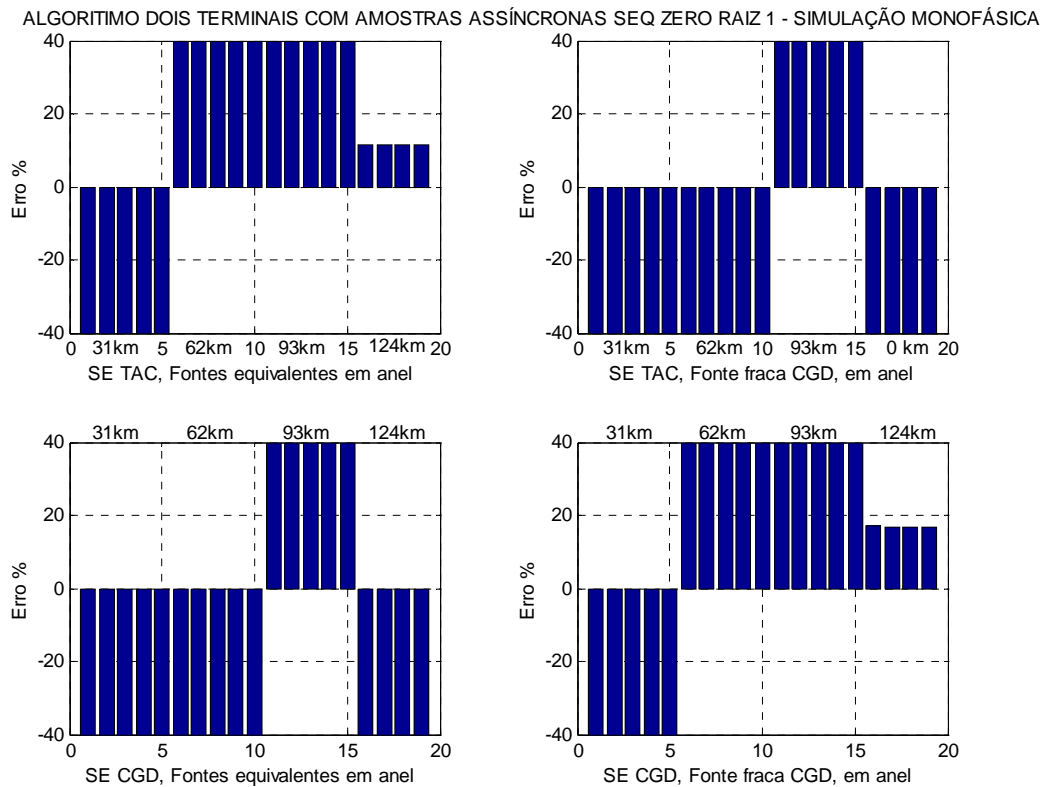
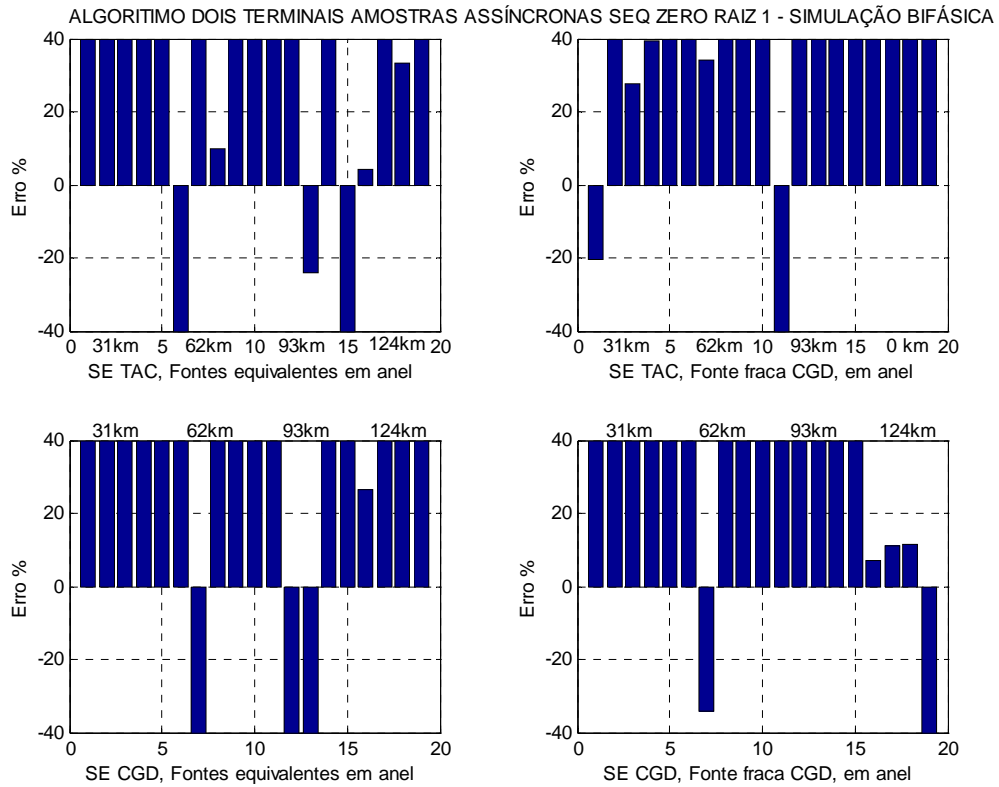
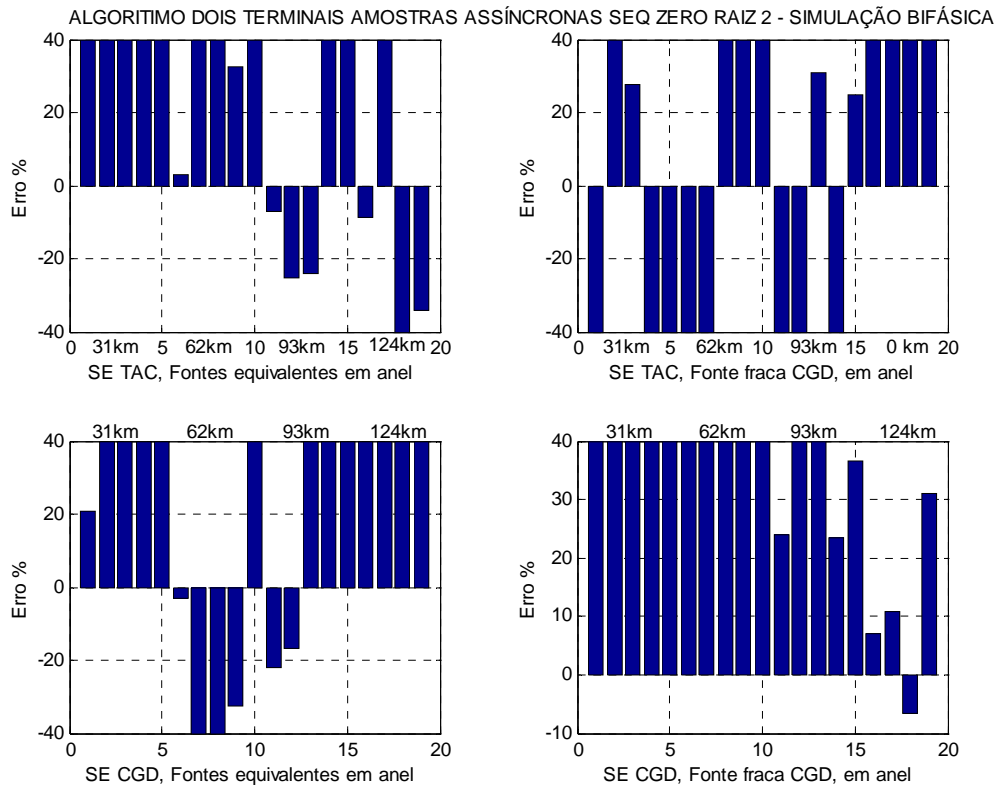


Figura 4.53 - Desempenho do algoritmo seqüência zero, assíncrono, raiz 1 - simulação monofásica.

Para as simulações bifásicas, da mesma forma que tivemos para o caso da amostras sincronizadas, a resposta das duas versões não é adequada, em face da pouca relevância das grandezas de seqüência zero para esse tipo de defeito, conforme podemos verificar nas Figuras 4.54 e 4.55, a seguir.



Figuras 4.54 e 4.55 - Desempenho do algoritmo seqüência zero, assíncrono, raízes 1 e 2 - simulação bifásica.



4.9.2 Seqüência Negativa

Os gráficos das Figuras 4.56 a 4.59, a seguir, mostram a resposta da *variante de seqüência negativa* nas duas versões possíveis definidas no item 3.3.2.1, ora utilizando a "*raiz 1*" (equação 58), ora a "*raiz 2*" (equação 59).

Para as simulações monofásicas (fig 4.56 e 4.57), a resposta adequada ainda é obtida com a utilização da "*raiz 2*" (equação 59), que também apresenta **elevada precisão e consistência de resultados**, para todas as condições de fontes terminais e resistência de falta. Os erros se situaram em torno e abaixo de 1%.

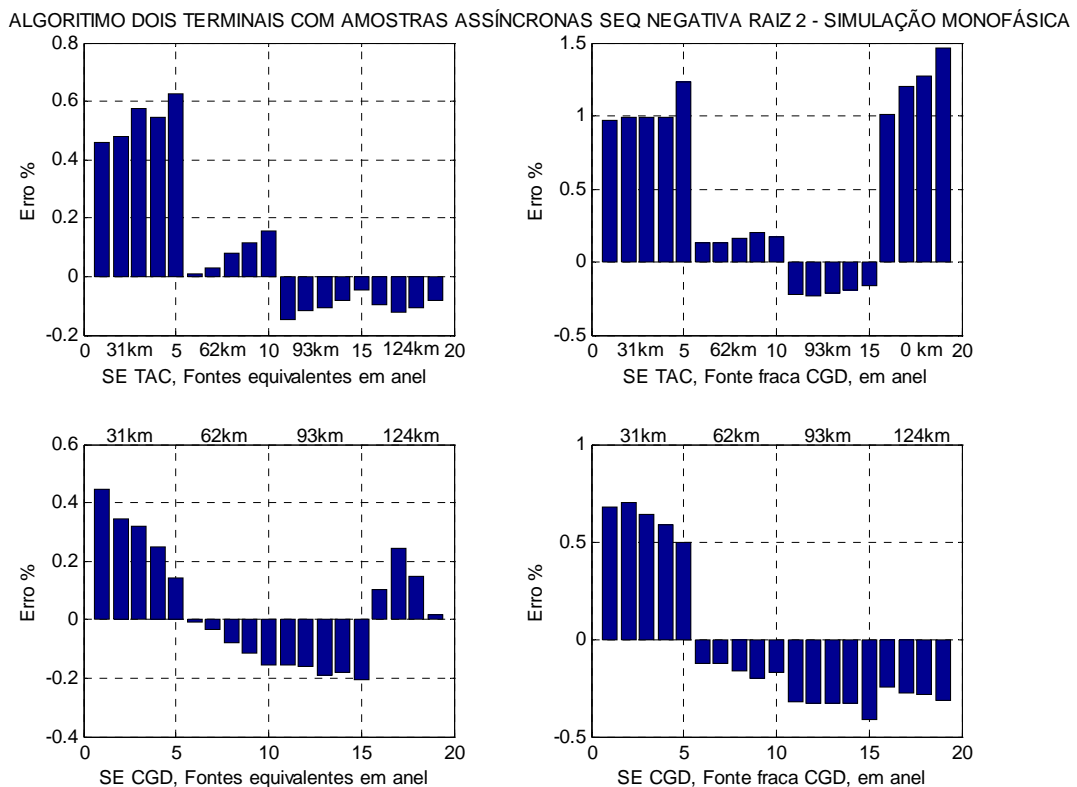


Figura 4.56 – Desempenho do algoritmo seqüência negativa, assíncrono, raiz 2 – simulação monofásica.

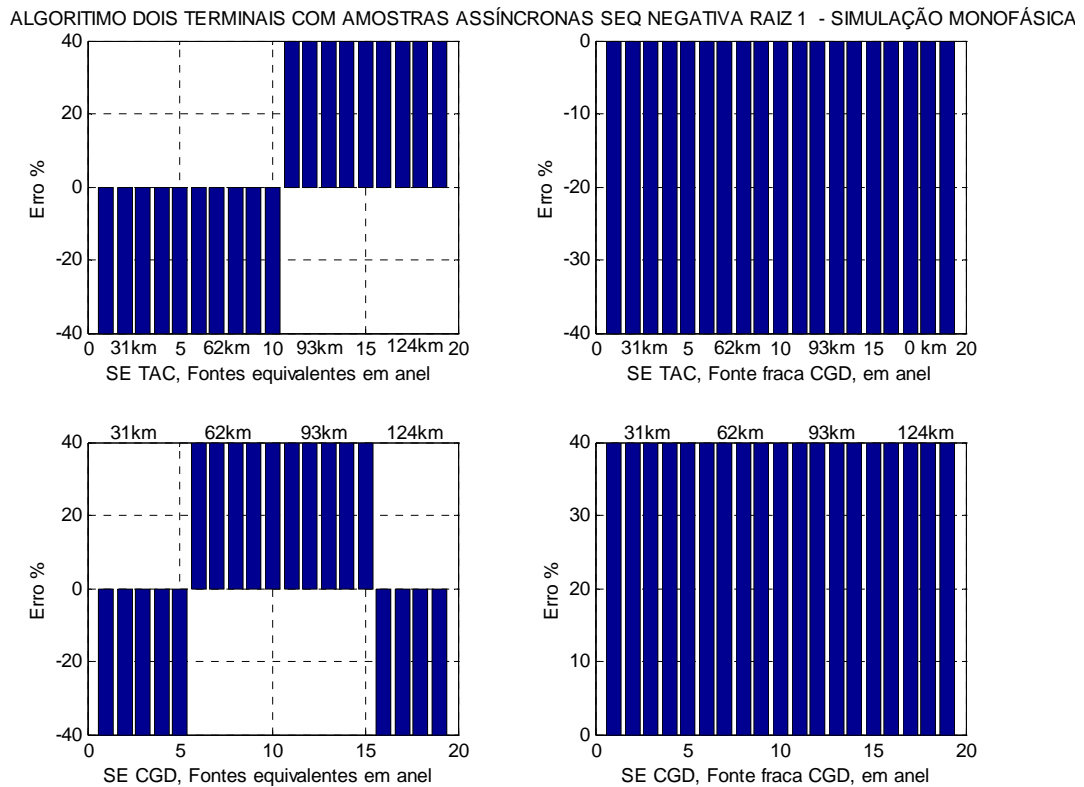
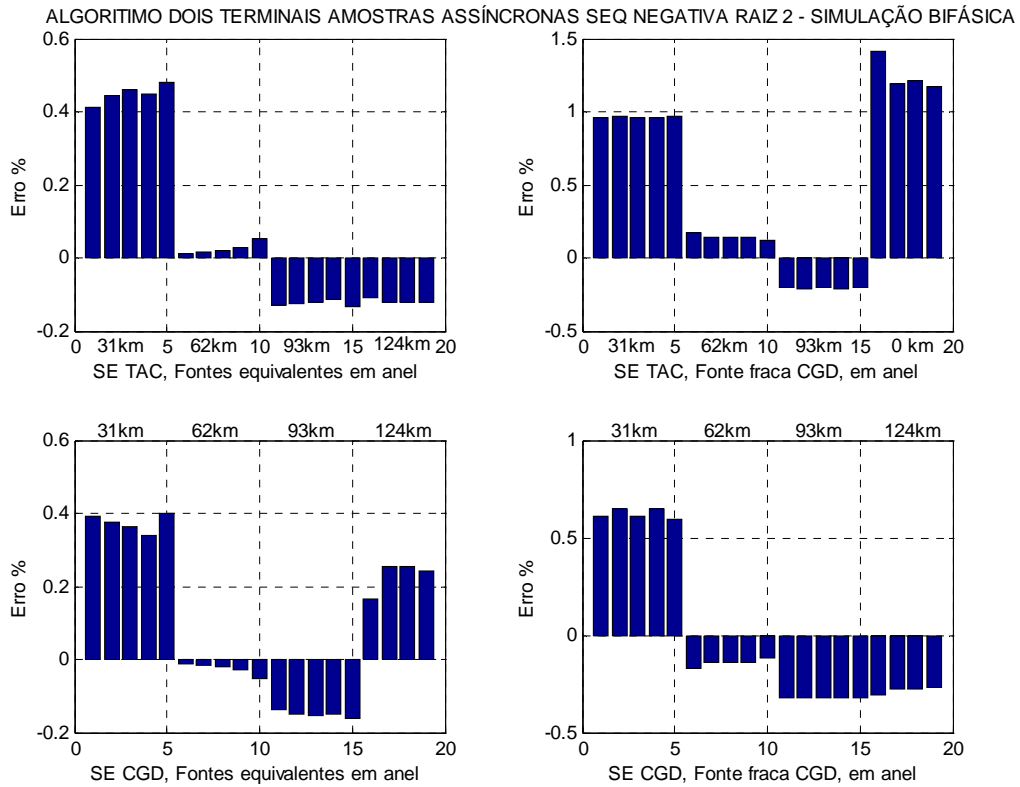
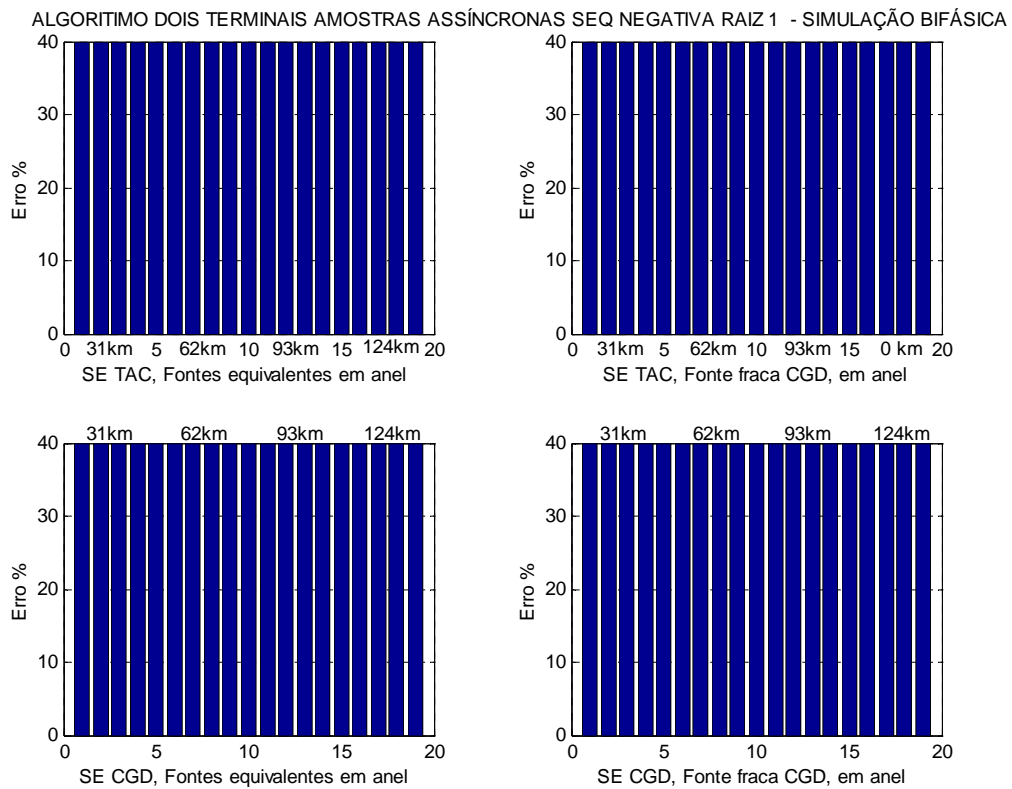


Figura 4.57 - Desempenho do algoritmo seqüência negativa, assíncrono, raiz 1 - simulação monofásica.

Para as simulações bifásicas, mostradas nas Figuras 4.58 e 4.59, a seguir, nas diferentes condições de fontes terminais e resistência de falta, o desempenho é similar ao verificado para as simulações monofásicas, com a resposta mais adequada da "raiz 2" (equação 59) e mesmo nível de precisão e consistência de resultados, conforme podemos verificar na Figura 4.55.



Figuras 4.58 e 4.59 - Desempenho dos algoritmos seqüência negativa, assíncrono, raízes 1 e 2 - simulação monofásica.



4.9.3 Seqüência Positiva

Os gráficos das Figuras 4.60 a 4.63, a seguir, mostram a resposta da *variante de seqüência positiva* nas duas versões possíveis definidas no item 3.3.2.1, ora utilizando a "*raiz 1*" (equação 58), ora a "*raiz 2*" (equação 59).

Para as simulações monofásicas (fig 4.60 e 4.61), a resposta adequada agora é obtida com a utilização da "*raiz 1*" (equação 58), que também apresenta **boa precisão nos resultados**, para todas as condições de fontes terminais, entretanto se mostrou sensível à incrementos maiores na resistência de falta, especialmente quando o ponto de defeito se aproximava de um dos terminais da linha.

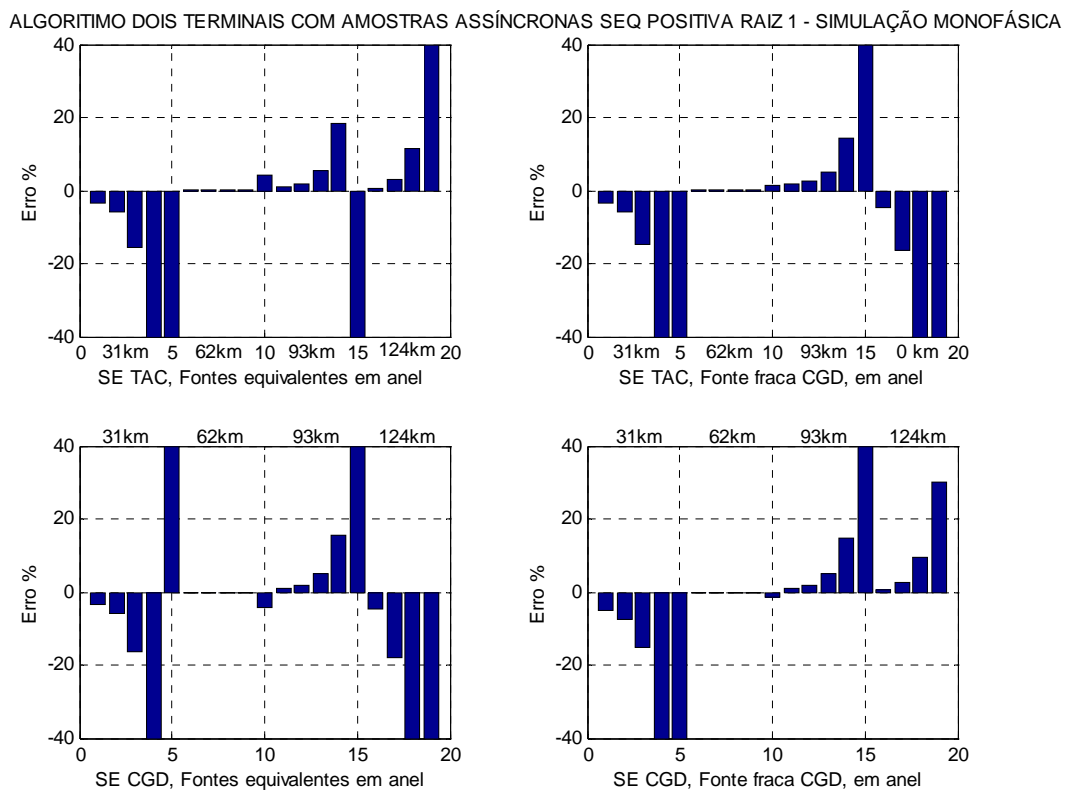


Figura 4.60 – Desempenho do algoritmo seqüência positiva, assíncrono, raiz 1 – simulação monofásica.

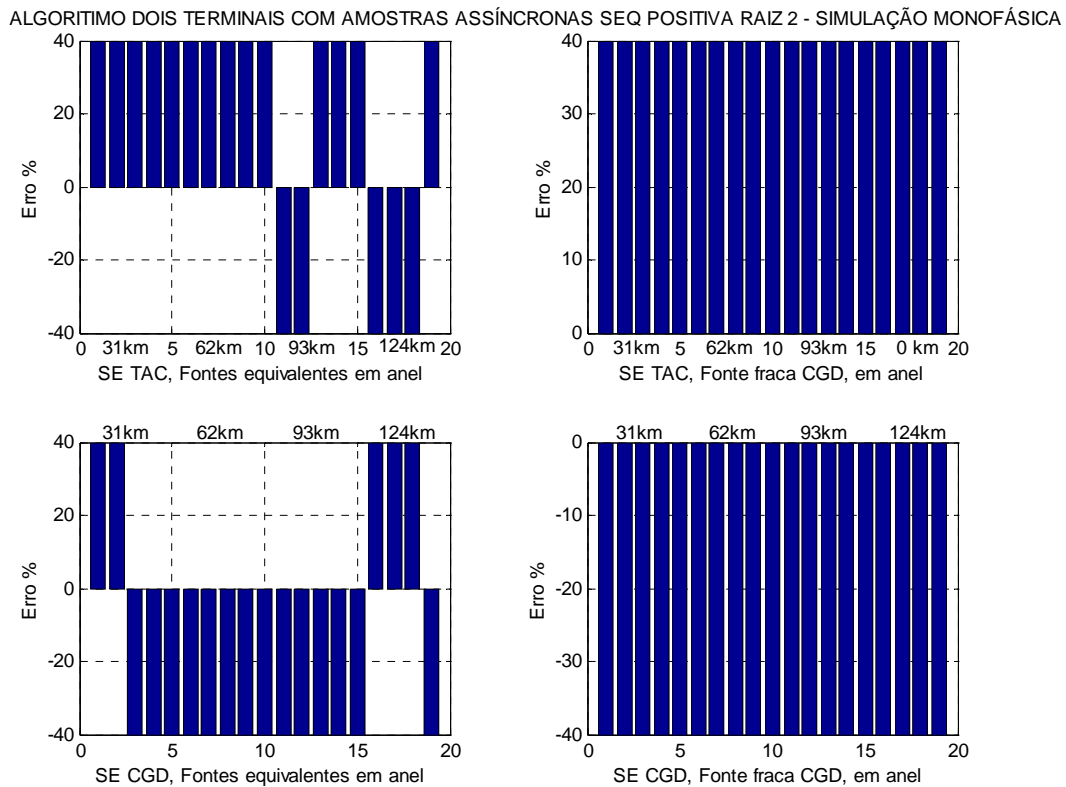
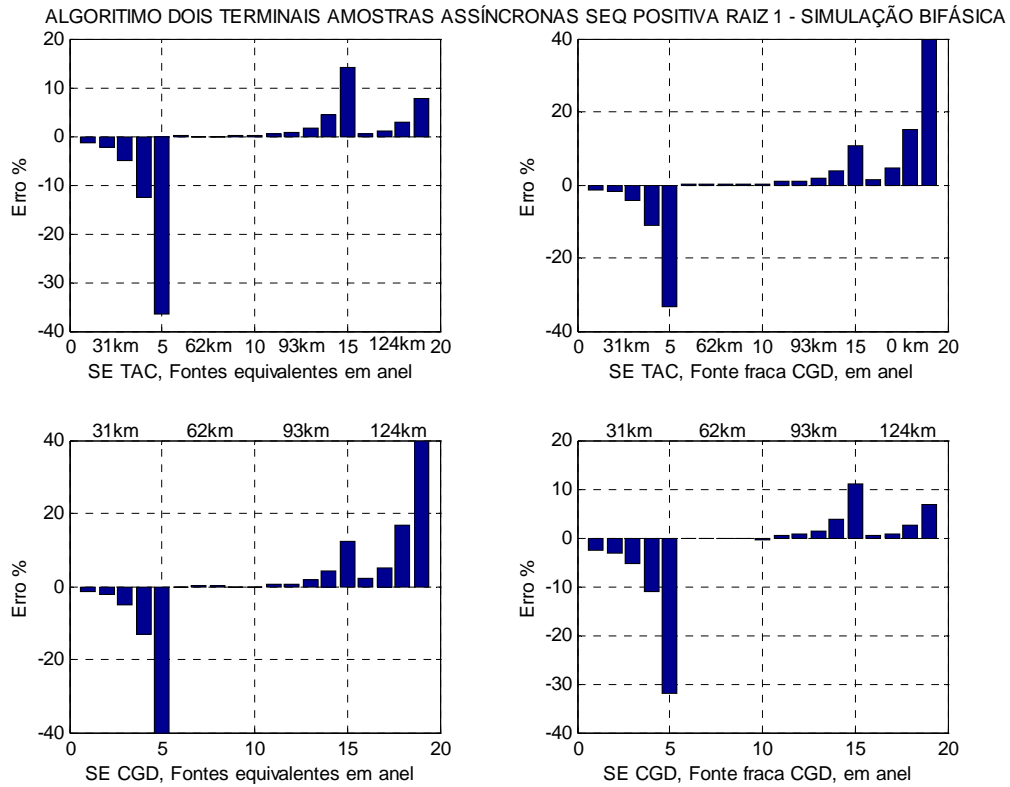
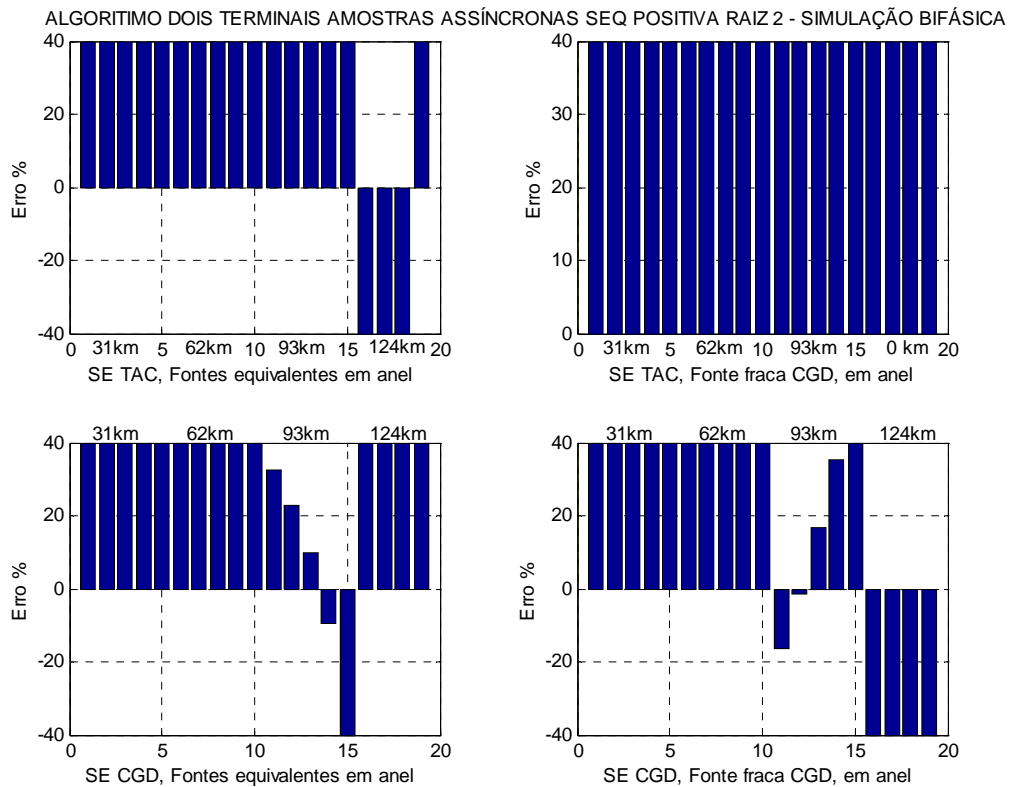


Figura 4.61 – Desempenho do algoritmo seqüência positiva, assíncrono, raiz 2 – simulação monofásica.

Para as simulações bifásicas, mostradas nas Figuras 4.62 e 4.63, a seguir, nas diferentes condições de fontes terminais e resistência de falta, o desempenho é similar ao verificado para as simulações monofásicas, com a resposta mais adequada da "raiz 1" (equação 58) e com nível de precisão levemente superior, e menor sensibilidade às variações da resistência de falta.



Figuras 4.62 e 4.63 - Desempenho dos algoritmos seqüência positiva, assíncrono, raízes 1 e 2 - simulação bifásica.



4.10 Desempenho Dos Algoritmos Com Amostras Assíncronas Baseadas Nas Grandezas De Fase.

Os gráficos das Figuras 4.64 a 4.67, a seguir, mostram a resposta da *variante de seqüência zero* nas duas versões possíveis definidas no item 3.3.2.2, ora utilizando a "*raiz 1*" (equação 58), ora a "*raiz 2*" (equação 59).

Para as simulações monofásicas (fig 4.64 e 4.65), a resposta adequada é obtida com a utilização da "*raiz 1*" (equação 57), que também apresenta **boa precisão nos resultados**, para todas as condições de fontes terminais, entretanto se mostrou sensível à incrementos maiores na resistência de falta, especialmente quando o ponto de defeito se aproximava de um dos terminais da linha.

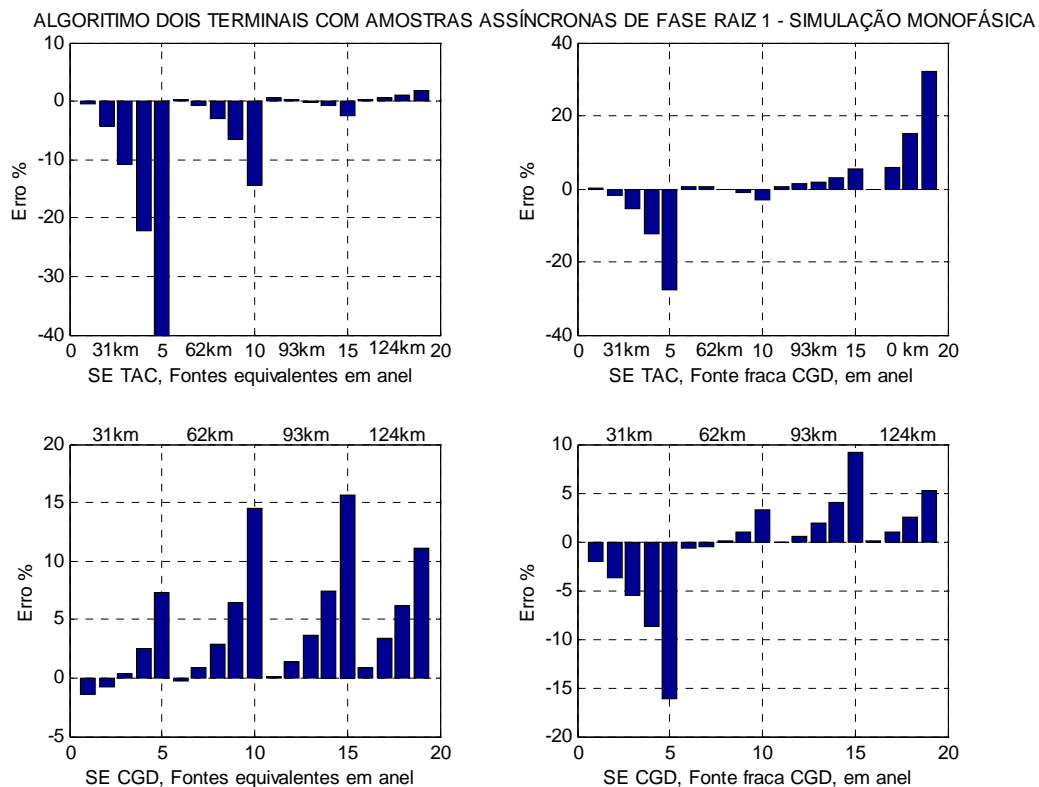


Figura 4.64 - Desempenho do algoritmo de fase, assíncrono, raiz 1 - monofásico.

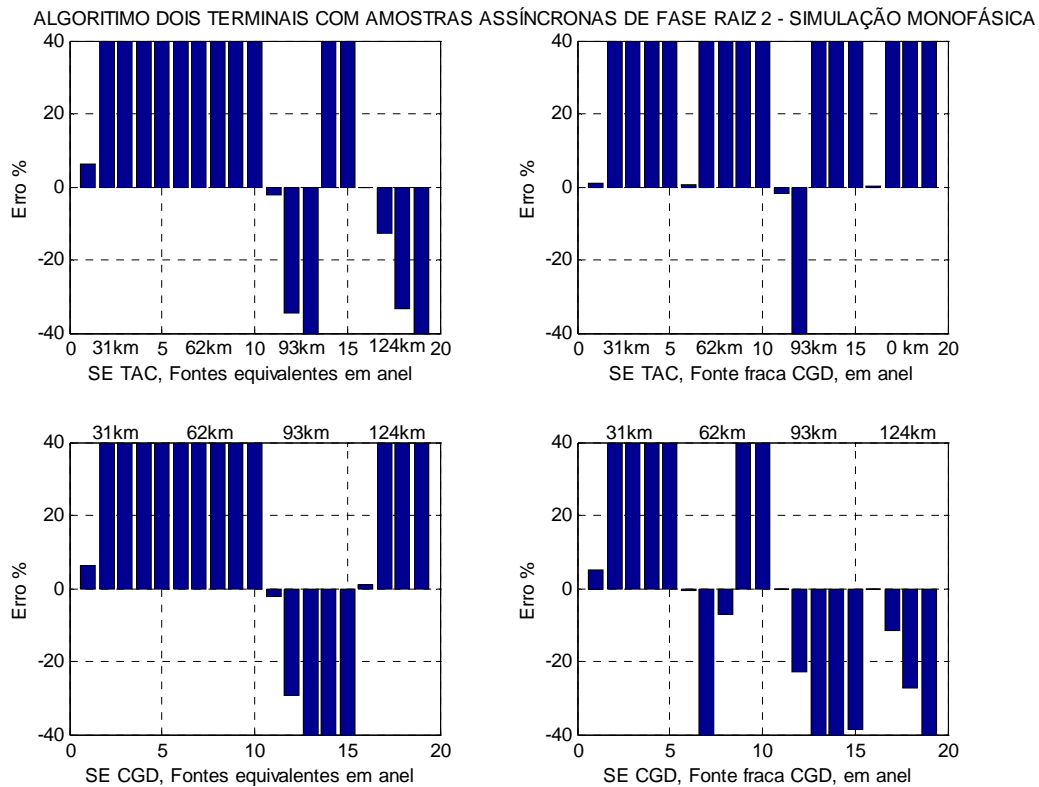
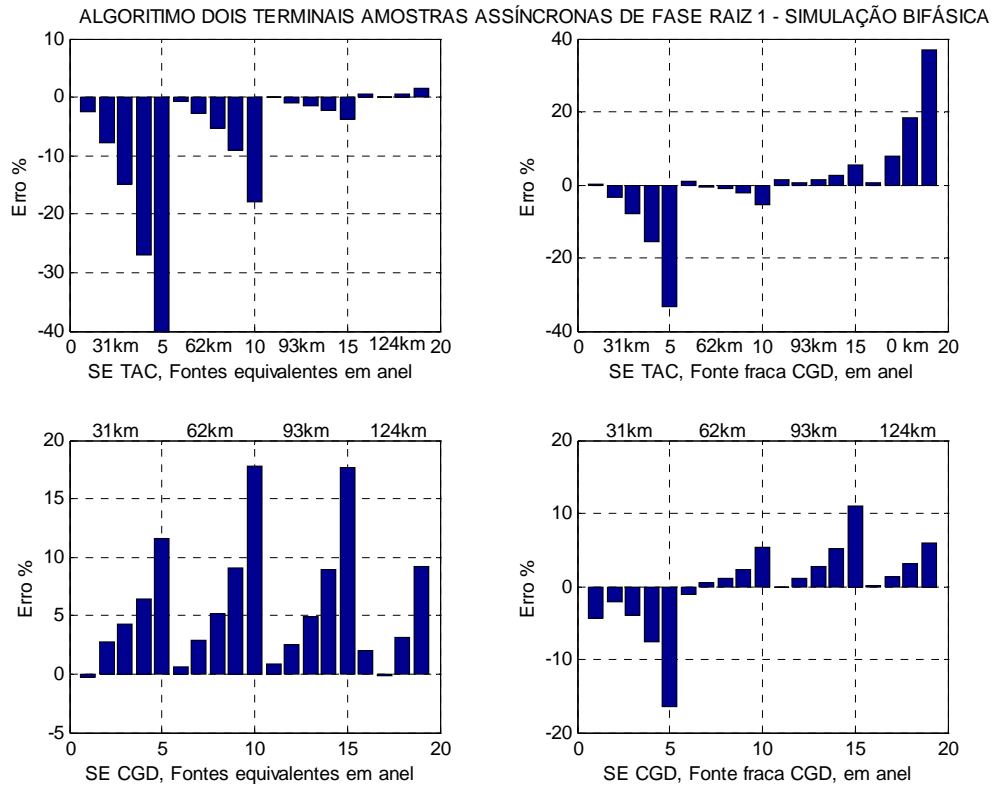


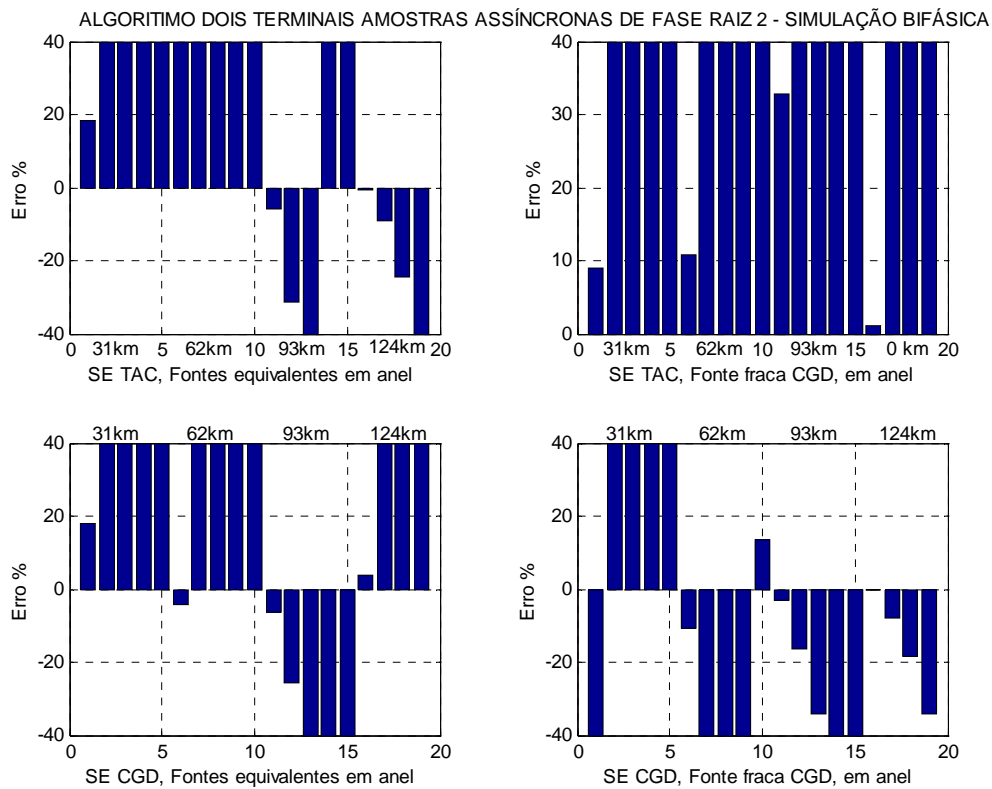
Figura 4.65 – Desempenho do algoritmo de fase, assíncrono, raiz 2 – monofásico.

Merece registro que nessa versão do algoritmo que utiliza a “*raiz 2*” (equação 59) também tivemos um bom desempenho para defeitos de baixa impedância, em todas as condições de fontes terminais, entretanto, apresenta erros inaceitáveis para qualquer incremento da resistência de falta.

Para as simulações bifásicas, mostradas nas Figuras 4.66 e 4.67, a seguir, nas diferentes condições de fontes terminais e resistência de falta, o desempenho é similar ao verificado para as simulações monofásicas, com a resposta mais adequada da “*raiz 1*” (equação 58).



Figuras 4.66 e 4.67 - Desempenho dos algoritmos de fase, assíncrono, raízes 1 e 2 - simulação bifásica.



4.11 Desempenho Do Algoritmo De Sachdev

Os gráficos das Figuras 4.68 e 4.69, a seguir, mostram a resposta do *algoritmo de Sachdev* para as simulações monofásicas e bifásicas, onde podemos observar:

Para as simulações monofásicas (fig 4.68)

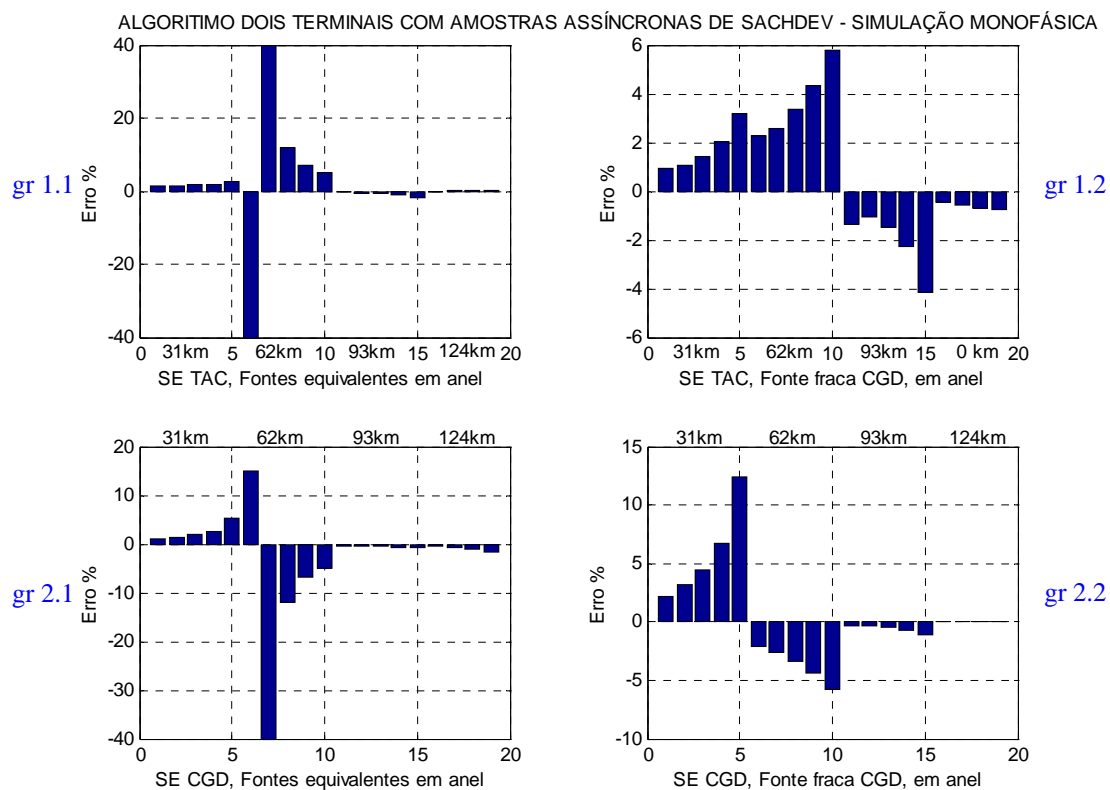


Figura 4.68 – Desempenho do algoritmo Sachdev – monofásico.

- Com fontes equivalentes nos dois terminais (fig 4.68 gr 1.1 ou gr 2.1), o algoritmo apresenta **boa precisão**, entretanto se mostrou instável para defeitos no meio da linha, quando apresentou erros inexplicáveis para baixa resistência de falta.
- Aplicado em terminal de fonte forte (fig 4.68 gr 1.2) ou fraca (4.65 gr 2.2), a precisão e a consistência do algoritmo

melhoram sensivelmente, e não se observa a instabilidade para defeitos no meio da linha, descrita acima. Apesar disso, ainda se verifica uma leve "sensibilidade" para incrementos na resistência de falta.

Para as simulações bifásicas mostradas na fig 4.69, a seguir, o desempenho do algoritmo só se mostrou satisfatório para baixas resistências de falta, nas diferentes condições de fontes terminais.

Nas demais situações o desempenho se mostrou inadequado.

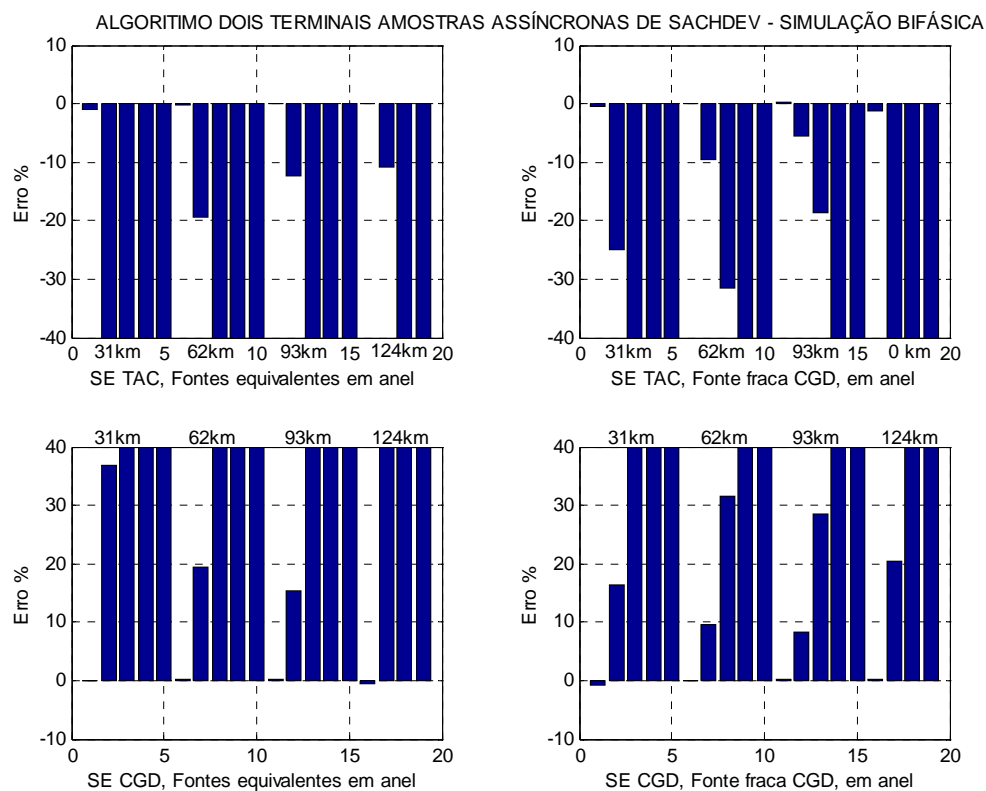


Figura 4.69 - Desempenho do algoritmo Sachdev - bifásico.

4.12 Desempenho Dos Algoritmos Para um Caso Real

Durante o período de desenvolvimento desse trabalho tivemos um desligamento real ocorrido na linha de transmissão 04C1 que interliga as subestações de Tacaimbó e Campina Grande II, correspondente exatamente à linha que foi objeto das simulações realizadas anteriormente. Uma vez que a oscilografia dos dois terminais estava disponível, fizemos então uma avaliação dos diversos algoritmos apresentados anteriormente para esse caso real, já que através das informações obtidas junto às equipes de manutenção, tínhamos a localização exata do ponto de falta, que ocorreu a 26 km da SE Tacaimbó, e conseqüentemente, a 98 km da SE Campina Grande.

Os gráficos da Figura 4.70 e 4.71, a seguir, mostram os registros oscilográficos dos dois terminais da linha de transmissão, o que

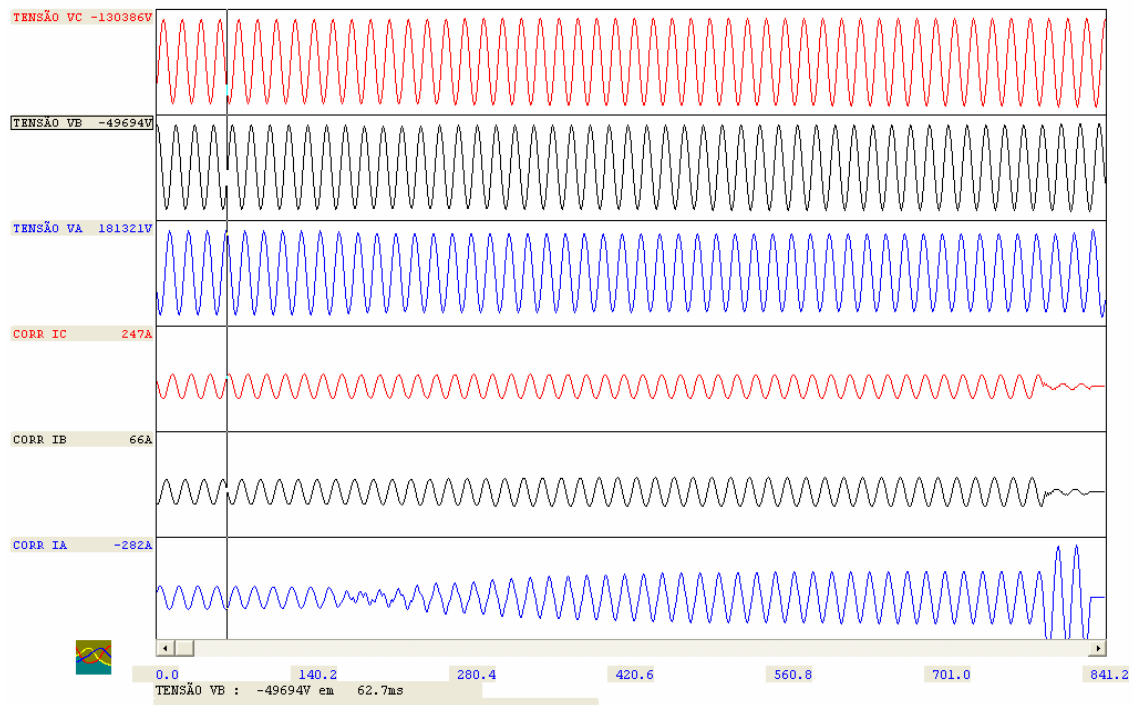


Figura 4.70 - Oscilografia do terminal CGD, com tensões e correntes das 3 fases, indicando um defeito evolutivo na fase A.

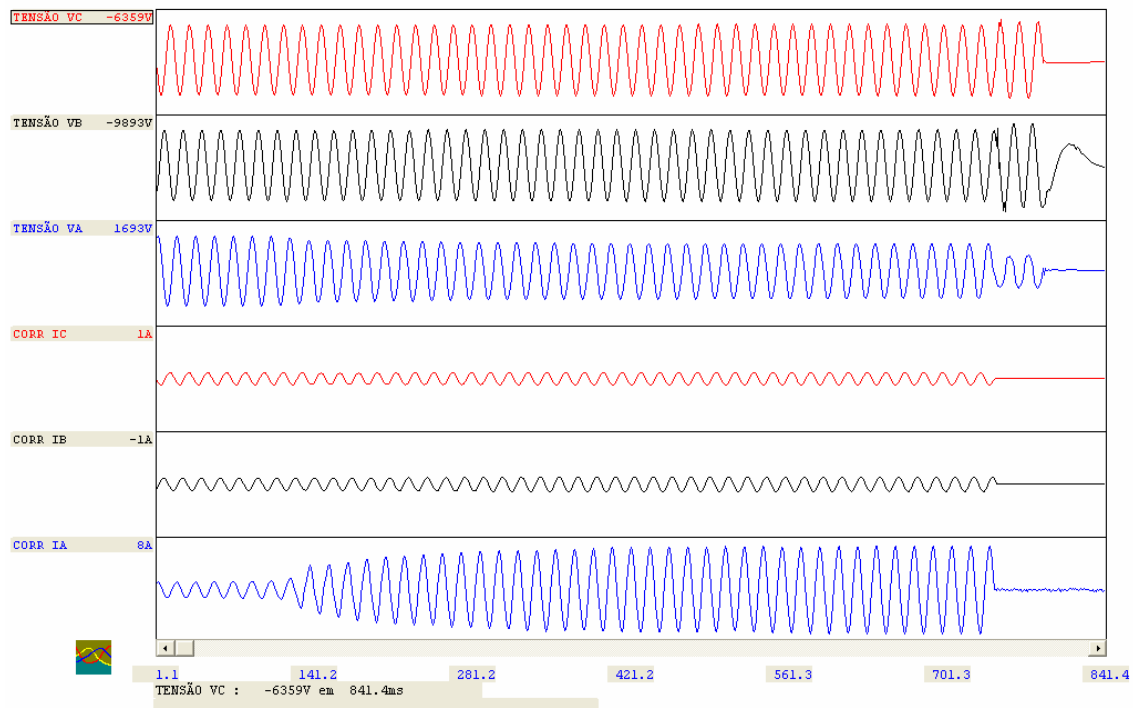


Figura 4.71 – Oscilografia do terminal TAC, com tensões e correntes das 3 fases, indicando um defeito evolutivo na fase A.

torna essa ocorrência particularmente interessante de ser analisada por alguns aspectos que veremos adiante.

Neles podemos visualizar um defeito monofásico na fase “a”, que se inicia com uma elevadíssima resistência de arco, e que gradativamente vai reduzindo sua intensidade, até se estabelecer num valor constante e desconhecido, aproximadamente a partir de $t = 300$ ms (referência TAC), o que nos permitirá avaliar os algoritmos para avaliação da falta em diferentes instantes, e com diferentes resistências de falta. No instante $t = 743$ ms (ref TAC) podemos observar a abertura do terminal da linha na subestação de Tacaimbó, o que nos permite avaliar os algoritmos com os dados da subestação de Campina Grande, com o terminal remoto aberto.

A partir desses registros, extraímos as componentes fundamentais das tensões e correntes das três fases dos dois terminais, para 11 instantes distintos ($t=100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 550, 650$ e

750ms), valores que são mostrados no anexo 6, e que servirão de base para a avaliação dos principais algoritmos que identificamos anteriormente nesse capítulo.

Nessa avaliação que faremos a seguir, não incluímos os algoritmos baseados nas *grandezas de seqüências e modais* sincronizadas dos dois terminais, pelas dificuldades que teríamos de sincronizar os registros oscilográficos, uma vez que ainda não dispúnhamos de equipamentos de GPS instalados, entretanto, pelo que já vimos no desenrolar desse capítulo, uma avaliação positiva dos algoritmos baseados em grandezas de seqüência assíncronas, já daria uma boa indicação do desempenho desses algoritmos sincronizados. Também não testamos os algoritmos monofásicos que se mostraram ineficazes, tais como as *variantes Reason simplificadas 3 e 4*, e o da *impedância vista pelo relé*.

O resultado dessa simulação é apresentado na Tabela 4, a seguir, onde, com as medições realizadas no terminal da subestação de Tacaimbó, bem próximas ao local do defeito (26km), podemos observar:

1. Os algoritmos de Takagi e Wiszniewski apresentaram um bom desempenho já a partir da terceira medida, ou seja, para $t=200\text{ms}$, ainda para elevados valores de resistência de falta, melhorando a precisão cada vez mais a partir da quinta medição, para $t=300\text{ms}$.
2. As variantes 1 e 2 dos algoritmos Reason também apresentaram um bom desempenho já a partir da segunda medição, ou seja, $t=150\text{ms}$, se mostrando pouco sensível à variação da resistência de falta, com indicações entre 22 e 23 km. Embora alterando os valores medidos no sentido inverso, o desempenho dessas duas variantes que desconsideram o efeito da corrente de carga, também é aceitável, com as indicações girando em torno de 31km.

Tabela 4.1 - Distância indicada por cada algoritmo em função do tempo e local da medição, para uma simulação real na linha de transmissão.

Subestação	tempo da medição (ms)	Distância real (km)	Um terminal						Dois terminais			
			Takagi	Wiszniewski	Reason V1	Reason V2	Reason V5*	Reason V6*	Assinc seq zero	Assinc seq negativa	Assinc fase	Sachdev
Tac	100	26	68.9	73.0	-2.8	-3.8	151.3	150.5	18.9	20.7	19.1	127.8
Tac	150	26	44.2	44.8	27.6	29.8	52.9	52.2	19.5	22.1	14.3	54.0
Tac	200	26	34.7	35.0	24.6	25.8	39.5	39.0	19.8	23.2	15.1	41.7
Tac	250	26	31.0	31.2	22.2	23.2	34.9	34.4	20.1	23.6	14.7	37.1
Tac	300	26	28.9	29.1	21.4	22.2	32.2	31.8	20.0	23.5	15.3	34.6
Tac	350	26	28.4	28.6	21.4	22.1	31.5	31.0	20.0	23.6	15.7	34.0
Tac	400	26	28.5	28.7	21.9	22.6	31.5	31.0	19.9	23.5	15.8	33.9
Tac	450	26	29.2	29.4	22.6	23.3	32.1	31.6	20.0	23.6	15.7	34.6
Tac	550	26	29.1	29.4	22.4	23.0	31.9	31.5	20.0	23.1	15.8	34.2
Tac	650	26	28.9	29.2	22.3	22.9	31.5	31.1	20.0	23.7	16.1	33.6
Cgd	100	98	-	-	72.6	104.8	437.8	429.8	105.1	103.3	143.1	-3.8
Cgd	150	98	264.5	245.4	1077.5	719.4	131.4	135.3	104.5	101.9	109.7	70.0
Cgd	200	98	190.6	180.4	451.8	370.0	123.1	127.0	104.2	100.8	108.9	82.3
Cgd	250	98	169.2	160.4	356.7	305.7	116.5	120.3	103.9	100.4	109.3	86.9
Cgd	300	98	164.6	156.8	305.2	271.7	118.4	122.6	104.0	100.5	108.7	89.4
Cgd	350	98	161.2	154.0	279.6	254.1	118.8	123.2	104.0	100.4	108.3	90.0
Cgd	400	98	158.1	151.4	261.8	241.4	118.6	123.1	104.1	100.5	108.2	90.1
Cgd	450	98	157.1	150.5	255.1	236.8	118.8	123.4	104.0	100.4	108.3	89.4
Cgd	550	98	153.2	146.6	247.8	231.2	117.2	121.4	104.0	100.9	108.2	89.8
Cgd	650	98	149.1	142.0	240.5	225.4	115.3	119.1	104.0	100.3	107.9	90.4
Cgd	750	98	94.5	94.5	111.3	109.4	80.0	82.0				
	Erro < 10km											

(*) eliminando o efeito da corrente de carga

3. Entre os algoritmos baseados nas *grandezas assíncronas* dos dois terminais, observa-se um desempenho consistente do que utiliza as grandezas de seqüência zero, e ainda mais o que utiliza as de seqüência negativa, que se mostraram efetivos desde a primeira medida, em $t=100\text{ms}$, com altíssima resistência de falta. A versão que utiliza as grandezas assíncronas de fase, embora tendo apresentado um erro maior, também mostrou consistência desde a primeira medida, em $t=100\text{ms}$, caracterizando a pouca influência da resistência de falta sobre esses algoritmos, o que já havia sido constatado nas simulações em ATP.
4. O algoritmo de Sachdev se mostrou consistente a partir da quinta medida, em $t=300\text{ms}$, quando a resistência de falta já começava a se estabilizar.

Por outro lado, com as medições realizadas no terminal da subestação de Campina Grande, bem distante do local do defeito (98km), verificamos:

1. Desempenho inaceitável de todos os algoritmos baseados em grandezas de apenas um terminal. No caso específico em que a medição é efetuada com o terminal remoto aberto, os algoritmos de Takagi e Wiszniewski apresentaram um bom desempenho, um resultado similar ao que já havíamos observado quando das simulações anteriores em ATP.
2. Desempenho aceitável de todos os algoritmos baseados em grandezas dos dois terminais, especialmente daqueles que utilizaram as grandezas de seqüência zero e negativa, um resultado também similar ao que já havíamos observado quando das simulações anteriores em ATP.

5.1 Introdução

O objetivo principal do presente trabalho foi buscar um melhor conhecimento das técnicas utilizadas para localização de faltas em linhas de transmissão, através de uma análise de cada um dos principais algoritmos disponíveis na literatura, bem como de outros que estivessem sendo utilizados no sistema de gerenciamento da rede de oscilografia da CHESF.

Embora tenhamos focado apenas os algoritmos baseados em fasores, acreditamos ter dado uma boa contribuição para o tema, em função dos seguintes aspectos:

- Os algoritmos baseados em fasores ainda são os mais utilizados, tanto em sistemas de gerenciamento de redes de oscilografia, como em localizadores convencionais fornecidos pelos fabricantes;
- A abordagem dos principais algoritmos utilizados, que englobaram medições com dados de um e de dois terminais, além de aglutinar em um único documento os diversos tipos existentes, permite uma avaliação comparativa, que possibilita realçar as dificuldades de aplicação de cada um deles, bem como as limitações para

sua utilização, que, em síntese, definirá a vantagem de se usar um ou outro;

- A realização de simulações em ATP, complementadas com a verificação de um caso real de falta no sistema, permite uma maior credibilidade para as conclusões tiradas, e também dá maior substância para a escolha do algoritmo a ser utilizado. A precisão e a consistência dos algoritmos puderam ser testados para as diversas condições que podiam afetar o seu desempenho, tais como capacidade das fontes terminais, resistência de falta, e distância do defeito ao terminal em que se realizavam as medições.

É bem verdade que os algoritmos utilizados no SISREP não puderam ser avaliados integralmente, face não termos tido acesso a todos eles, por razões já comentadas anteriormente, entretanto pudemos verificar o grau de adequabilidade daqueles que puderam ser disponibilizados.

5.2 Considerações Sobre Os Resultados Obtidos

A partir do resultado das simulações detalhadas no Capítulo 4, colocadas de forma sumária na Tabela 5, a seguir, que mostra o erro médio produzido por cada um dos algoritmos baseados em dados de um e de dois terminais, podemos concluir:

Tabela 5.1 - Erro médio percentual produzido por cada um dos algoritmos, para os diferentes tipos de defeitos e fontes terminais.

Algoritmo	Monofásico			Bifásico		
	Fontes equivalentes	Fonte forte	Fonte fraca	Fontes equivalentes	Fonte forte	Fonte fraca
Dados de um terminal						
Takagi	5.7	1.0	22.1	3.0	2.4	81.0
Wiszniewski	2.7	1.0	25.9	1.1	0.4	50.4
Reason V1	56.9	29.0	273.3	13.6	8.7	491.8
Reason V2	54.3	25.0	132.7	7.0	5.5	130.8
Reason V3	58.3	33.0	155.1	32.9	11.4	156.9
Reason V4	123.1	120.0	71494.6	43.4	45.1	241.7
Reason V1*	19.7	3.0	18.2	17.7	2.3	4.9
Reason V2*	24.6	3.0	15.8	17.7	2.3	4.9
Reason V3*	78.5	38.0	31.3	17.7	2.3	5.0
Reason V4*	290.1	172.0	381.0	48.5	48.0	112.0
Dados de dois terminais						
Sinc seq zero	0.4	0.5	0.5	564.8	504.9	637.6
Sinc seq positiva	23.5	38.0	20.1	9.5	48.9	14.0
Sinc seq negativa	0.8	2.0	3.1	0.2	0.8	0.4
Sinc fase	35.0	14.5	7.6	4.7	5.7	2.8
Sinc EMQ	0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.3
Sinc modo 1	0.8	1.0	0.3	26.1	39.8	56.7
Sinc modo 2	3.0	4.0	3.7	1.8	3.7	4.0
Sinc modo 3	4.3	8.0	5.4	1.4	2.7	3.5
Sinc modo EMQ	0.3	1.0	0.4	0.8	1.5	0.3
Assinc seq zero	0.2	0.0	0.2	194.5	235.5	182.3
Assinc seq positiva	23.2	34.0	17.8	4.8	7.0	4.4
Assinc seq negativa	0.2	1.0	0.4	0.2	0.6	0.3
Assinc fase	6.2	6.0	3.5	8.0	7.7	4.0
Sachdev	14.8	2.0	2.6	312.4	272.0	113.0
	Erro dentro da faixa especificada					
	(*) sem efeito da corrente de carga					

1. De uma forma geral, os algoritmos baseados em dados dos dois terminais apresentam maior precisão e consistência do que aqueles baseados em dados de um único terminal, o que já era esperado, em função das aproximações e considerações que têm que ser feitas sobre os fatores desconhecidos, a distância, e a resistência de falta, nesse último caso.
2. Entre os algoritmos baseados em dados de um único terminal, os algoritmos de Takagi e Wiszniewski apresentaram resultados satisfatórios, se mostrando bem mais precisos e consistentes do que os demais analisados, embora caindo de rendimento quando aplicados em terminal de fonte fraca.
3. Das versões disponíveis dos algoritmos utilizados no SISREP, apenas as variantes monofásicas e bifásicas 1 e 2 apresentaram resultados aceitáveis, mesmo assim, em condições bastante específicas. Geralmente isso ocorria para baixa resistência de falta ou quando aplicadas em terminal de fonte fraca para defeitos bifásicos, quando apresentou o melhor desempenho entre os algoritmos com dados de um terminal. De uma forma geral, esses fatores, além do efeito *infeed*, verificado mais acentuadamente à medida que o ponto do defeito se aproximava do terminal remoto, provocavam fortes conseqüências na precisão e consistência do algoritmo.
4. Os algoritmos baseados em amostras sincronizadas dos dois terminais, tanto aqueles que utilizaram grandezas de seqüência ou modais, apresentaram uma elevada precisão e consistência, o que recomenda a utilização de qualquer um deles, desde que se utilize adequadamente a seqüência ou modo, de acordo com o tipo de defeito, monofásico ou bifásico, conforme mostrado nos itens 4.6 e 4.8. Ali também pudemos verificar que a combinação dos vários algoritmos sincronizados, de seqüência ou modais, pode ser utilizada com resultados

- ainda mais precisos e consistentes, através, por exemplo, do critério do erro mínimo quadrático.
5. A precisão e consistência dos algoritmos baseados em dados assíncronos com grandezas de seqüência também se mostraram bastante aceitáveis, sendo também importante se escolher a raiz adequada, de acordo com o tipo de defeito observado, mono ou bifásico, conforme verificado no item 4.9. Esse resultado é particularmente interessante, uma vez que a CHESF praticamente já dispõe de RDP em todos os seus terminais de linha, e a implantação de um algoritmo com esse nível de precisão poderia dar uma maior confiabilidade aos resultados das medições. Embora essa mesma observação seja válida para os algoritmos baseados em grandezas sincronizadas dos dois terminais, a utilização de grandezas assíncronas dispensa a utilização de um processo de sincronização entre os registros oscilográficos dos dois terminais, sempre passível de introduzir erros, conforme abordado no item 3.3.5.
 6. Embora os algoritmos baseados em grandezas de fases também apresentem um resultado satisfatório, é preferível a utilização dos que se baseiam em grandezas de seqüência ou modais, pelo fato de já incorporarem o efeito das impedâncias mútuas.
 7. O algoritmo de Sachdev, baseado em grandezas assíncronas dos dois terminais, apresentou limitações e instabilidades para algumas situações mostradas no item 4.11 e em particular para defeitos bifásicos, o que o torna menos atrativo do que os acima referenciados.
 8. A avaliação dos algoritmos para um caso real de defeito na linha de transmissão apresentou resultados compatíveis com as simulações em ATP, validando todas as conclusões acima.

5.3 Considerações e Proposições finais

A disponibilidade de uma rede de oscilografia digitalizada tão ampla e acessível, uma vez que todos os terminais das linhas de transmissão praticamente já possuem RDP com acesso remoto, representa uma ferramenta altamente valiosa para uma empresa de transmissão de energia como a CHESF, e o seu potencial deve ser mais profundamente explorado. Além de servir à sua proposição inicial, que é a de avaliar o desempenho dos esquemas de proteção das linhas de transmissão, essa rede pode e deve disponibilizar, **com precisão e consistência**, um serviço essencial para o desempenho global da empresa, que é o de localização de faltas.

O sistema atualmente implantado vem apresentando resultados oscilantes, algumas vezes precisos, outras com valores discrepantes, que reduzem a sua credibilidade. A introdução de algoritmos mais confiáveis é uma alternativa que os resultados desse trabalho recomenda, e nesse sentido podemos vislumbrar duas vertentes:

1. Manter a filosofia do software atual, com as medições dos dados obtidos de um único terminal da linha de transmissão, porém com a utilização de algoritmos mais confiáveis, como os de Takagi e Wiszniewski, atuando conjuntamente com aqueles já existentes e com melhor desempenho;
2. Investir um pouco mais no desenvolvimento de um software que colete, compatibilize, ou que mesmo sincronize os dados dos dois terminais, e então poderíamos optar por qualquer um dos algoritmos que foram testadas com sucesso, conforme relatado anteriormente no item 5.2.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Kezunovic. Mladen, Perunicic. B. Drazenovic – *Fault location – Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering. Copyright 1999.*
- [2] Silva. Sandra Sayonara B. - *Substituição de oscilógrafos convencionais por registradores digitais de perturbação – Dificuldades e soluções – A experiência da CHESF - 2001.*
- [3] Reason tecnologia. GERCOM – *Sistema de gerenciamento de comunicação com registradores digitais de perturbação. VI STPC, Natal (1998). Brasil.*
- [4] Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE – *Standard Common Format for transient data Exchange (COMTRADE) for power Systems (1991). USA.*
- [5] Takagi, T., Yamakoshi, Y., Yamura, M., Kondow, R., Matsushima, T. – *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol PAS-101, No 8, August 1982 - Development of a new type fault locator using the one-terminal voltage and current data.*
- [6] Wiszniewski, A. – *Accurate fault impedance locating algorithm. IEE Proceedings, vol 130, Pt, C, No 6, Nov 1983.*
- [7] Silveira, E. G., Pereira, C. – *Localização de faltas em linhas de transmissão utilizando dados de tensão e corrente de um terminal. XVI SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2001.*
- [8] Sachdev, M. S., Agarwal, R. – *A technique for estimating transmission line fault locations from digital impedance relay measurements. IEEE Transactions on power delivery, Vol 3, , No 1, Nov 1988.*
- [9] Sollero, R. B., Bianco, J. C. N., Assis, T. M. L., Rodrigues, M. A. M., Miranda, A. L. L., Filho, S. M. – *Localização de faltas em sistemas de transmissão a partir de sinais oscilografados em ambas as*

- extremidades da linha. XVI SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2001.*
- [10] Kholas, J – *Estimation of fault location on power lines, 3rd IFAC Symp., Hague/Delft, The Netherlands, 1973, pp 393-402.*
- [11] Collatz, L. – *The numerical treatment of differential equations. New York: Springer-Verlag, 1960.*
- [12] Ibe, A. O., Cory, B. I. – *A technique for estimating transmission line fault locations from digital impedance relay measurements. IEEE Transactions on power delivery, Vol 3, No 1, Nov 1988.*
- [13] Ancell, G. b., Pahalawatha, N. C. – *Maximum likelihood estimation of fault location on transmission lines using traveling waves. IEEE Transactions on power delivery, 9: 680-689, 1994.*
- [14] Oleskovicz, M., Cury, D. V., Aggarwal, R. K. – *Um esquema completo para detecção, classificação, e localização de faltas em linhas utilizando redes neurais. XVI SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2001.*
- [15] Silveira, P. M., Seara, R., Zurn, H. H. – *Localização de faltas por ondas viajantes – Uma nova abordagem baseada em decomposição Wavelet. XVI SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2001.*
- [16] Wedepohl, L. M. – *Application of matrix methods to the solution of traveling-wave phenomena in poliphase systems – Proc IEE, 110(12), 2200-2212.*

ANEXOS

```

BEGIN NEW DATA CASE
C
C   CURTO CIRCUITO NA LT 04C1 TAC-CGD
C   SISTEMA INTEGRO - SEM PARA-RAIOS
C       1           2           3           4           5           6           7
C
34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
11.E-6 100.E-3  60.  60.
      6      1      1      1      1      1      1
C
C *****
C
C   SISTEMA DE POTENCIA - 2002
C
C *****
C
C
C   LT ANGELIM-TACAIMBO C1 230 KV-----
C
-1AN230ATC230A      0.413 1.373 2.293 62.6
-2AN230BTC230B      0.098 0.510 3.252 62.6
-3AN230CTC230C
C
C   LT ANGELIM-TACAIMBO C2 230 KV-----
C
-1AN230ATC230A      0.392 1.269 2.327 62.6
-2AN230BTC230B      0.098 0.519 3.195 62.6
-3AN230CTC230C
C
C   LT ANGELIM-TACAIMBO C3 230 KV-----
C
-1AN230ATC230A      0.332 1.124 2.264 65.
-2AN230BTC230B      0.098 0.498 3.322 65.
-3AN230CTC230C
C
C   LT TACAIMBO-CAMPINA GRANDE C1 230 KV PRIMEIRA PARTE -----
C
-1TCFICACGFI2A      0.532 1.541 2.293 62.
-2TCFICBCGFI2B      0.098 0.510 3.252 62.
-3TCFICCCGFI2C
C
C   LT TACAIMBO-CAMPINA GRANDE C1 230 KV SEGUNDA PARTE -----
C
-1CGFI2ACGFICA      0.532 1.541 2.293 62.
-2CGFI2BCGFICB      0.098 0.510 3.252 62.
-3CGFI2CCGFICC
C
C   LT TACAIMBO-CAMPINA GRANDE C2 230 KV-----
C
-1TC230ACG230A      0.512 1.534 2.272 124.
-2TC230BCG230B      0.098 0.520 3.189 124.
-3TC230CCG230C
C
C *****
C
C EQUIVALENTE DA FONTE EM ANGELIM 230 KV

```

C
51FOAGLAAN230A 0.8369 5.1162
52FOAGLBAN230B 0.4059 5.8048
53FOAGLCAN230C
C
C EQUIVALENTE DA FONTE EM Campina Grande 230 KV
C
51FOCGDACG230A 1.0072 11.7005
52FOCGDBC230B 2.2467 18.2716
53FOCGDCCG230C
C
C ***** TRANSFORMADORES *****
C
C TRAF0 185-2 DE TACAIMBO -----
C
TRANSFORMER T1TCBA
9999
1TC230A 35.522132.79
2TC69A TC69B 9.5910 69.
TRANSFORMER T1TCBA T1TCBB
1TC230B
2TC69B TC69C
TRANSFORMER T1TCBA T1TCBC
1TC230C
2TC69C TC69A
C
C TRAF0 186-2 DE TACAIMBO -----
C
TRANSFORMER T2TCBA
9999
1TC230A 34.041132.79
2TC69A TC69B 9.1910 69.
TRANSFORMER T2TCBA T2TCBB
1TC230B
2TC69B TC69C
TRANSFORMER T2TCBA T2TCBC
1TC230C
2TC69C TC69A
C
C CARGA EM TACAIMBO 60 KV (108.7 MW , 46.9 MVAR)
C
TC69A 36.85 15.90
TC69B 36.85 15.90
TC69C 36.85 15.90
C
C Resistencia de falta
C
CGFI2AANTA 1.
CGFI2BANTB 1.
CGFI2CANTC 1.
BLANK
C
C Chaveamento LT 04M4 TAC - CGD
C
TC230ATCFICA -1. .12 1
TC230BTCFICB -1. .12 1
TC230CTCFICC -1. .12 1

C Curto circuito no KM X da LT 04C1 AGL - CGD
 ANTA .020 .1
 ANTB .925 .1
 ANTC .925 .1
 C Medicao de corrente
 CG230ACGFICA MEASURING 1
 CG230BCGFICB MEASURING 1
 CG230CCGFICC MEASURING 1
 BLANK
 C
 C FONTE EM CAMPINA GRANDE 230 KV
 C
 14FOCGDA 194385.197 60. 10.22 -1.
 14FOCGDB 194385.197 60. -109.78 -1.
 14FOCGDC 194385.197 60. 130.22 -1.
 C
 C FONTE EM ANGELIM 230 KV
 C
 14FOAGLA 196485.781 60. 27.79 -1.
 14FOAGLB 196485.781 60. -92.21 -1.
 14FOAGLC 196485.781 60. 147.79 -1.
 C
 BLANK
 TC230ATC230BTC230C
 C CG230ACG230BCG230C
 BLANK
 BLANK
 BLANK

Simulações monofásicas

Arquivo=mn_t1_tac – fontes equivalentes	31	1.8575E5	107.07
Referência = TAC	100	1.9426E5	-7.6704
Fasores de tensão e corrente na seguinte ordem:	1	1.9315E5	-127.6
	1	1592	102.21
1. três primeiros sinais = Ia, Ib, Ic , pré-falta no terminal de referência.	1	414.1	6.0808
	1	396.31	-115.98
2. Seis fasores do terminal referência correspondente a Va, Vb, Vc, Ia, Ib, Ic.	31	1.9072E5	101.72
	100	1.9179E5	-15.419
3. Seis fasores do terminal remoto correspondente a Va, Vb, Vc, Ia, Ib, Ic.	1	1.9445E5	-135.8
	1	199.83	55.884
4. Cada conjunto de 12 medidas seguintes para variações de R e d	1	396.98	175.17
	1	383.85	52.715

Entra=[

111	409.26	124.34	31	1.904E5	109.44
1	409.47	4.3161	200	1.9397E5	-7.6769
1	409.22	-115.7	1	1.9332E5	-127.67
			1	1040.1	110.76
31	1.248E5	110.03	1	411.04	5.3209
0	1.9517E5	-8.1909	1	402.57	-115.94
1	1.9424E5	-127.11	31	1.9256E5	103.06
1	4477.7	41.129	200	1.9261E5	-15.425
1	455.76	5.519	1	1.9406E5	-135.59
1	379.87	-110.29	1	131.16	-41.71
31	1.5787E5	101.31	1	395.29	174.37
0	1.8976E5	-13.868	1	389.44	52.937
1	1.9114E5	-137.12			
1	1883.1	23.991			
1	435.41	175.71			
1	361.03	57.514	62	1.4825E5	111.46
			0	1.9362E5	-7.5306
31	1.5107E5	101.87	1	1.9306E5	-127.84
20	1.9527E5	-7.8775	1	2737.9	42.891
1	1.9327E5	-127.24	1	388.09	1.0971
1	3606.7	68.75	1	439.51	-116.68
1	438.56	7.3164	62	1.513E5	101.15
1	375.69	-113.59	0	1.9057E5	-14.095
31	1.7331E5	98.453	1	1.9133E5	-136.79
20	1.892E5	-14.746	1	2651.5	25.306
1	1.9388E5	-136.79	1	374.1	169.38
1	1255.9	48.93	1	429.03	52.63
1	417.33	177			
1	361.95	54.275			
31	1.7493E5	103.89	62	1.6191E5	106.52
50	1.9472E5	-7.7067	20	1.9344E5	-7.5798
1	1.9303E5	-127.46	1	1.933E5	-127.86
1	2435.5	89.437	1	2362.5	67.315
1	421.81	6.9935	1	401.45	1.0588
1	386.56	-115.54	1	433.68	-115.1
31	1.8565E5	99.874	62	1.6662E5	97.58
50	1.9054E5	-15.278	20	1.8997E5	-14.722
1	1.9469E5	-136.18	1	1.9341E5	-136.61
1	608.75	63.809	1	1961.3	48.047
1	402.65	176.25	1	388.75	169.55
1	374.46	52.817	1	421.56	54.336

62	1.7785E5	106.69	93	1.6837E5	107.48
50	1.9343E5	-7.6428	20	1.9155E5	-7.2022
1	1.9349E5	-127.83	1	1.9317E5	-128.53
1	1739.9	87.8	1	1717.1	72.462
1	409.61	2.0855	1	366.88	-7.3942
1	423.55	-114.56	1	499.2	-116.35
62	1.8152E5	98.631	93	1.5623E5	93.361
50	1.9082E5	-15.202	20	1.8955E5	-14.659
1	1.9433E5	-136.15	1	1.9346E5	-136.75
1	1129.2	65.563	1	3205.4	53.03
1	396.96	170.84	1	367.54	160.24
1	410.06	54.83	1	486.48	54.542

62	1.8662E5	108.51	93	1.8208E5	107.97
100	1.9349E5	-7.6797	50	1.9207E5	-7.5494
1	1.9356E5	-127.79	1	1.9391E5	-128.22
1	1218.8	101.57	1	1256	93.354
1	411.65	3.0441	1	399.91	-3.4266
1	416.5	-114.74	1	463.1	-113.7
62	1.8884E5	100.76	93	1.7848E5	96.145
100	1.9186E5	-15.374	50	1.9069E5	-15.209
1	1.9429E5	-135.8	1	1.9441E5	-136.18
1	512.59	72.71	1	1806.8	71.867
1	398.53	171.95	1	395.51	165.18
1	402.43	54.536	1	446.81	56.632

62	1.9072E5	110.15	93	1.8862E5	109.51
200	1.9356E5	-7.6973	100	1.927E5	-7.6754
1	1.9358E5	-127.77	1	1.9395E5	-128
1	850.36	111	1	908.84	106.02
1	411.35	3.686	1	409.69	-0.13559
1	412.59	-115.07	1	437.89	-113.65
62	1.9184E5	102.49	93	1.8774E5	99.481
200	1.9262E5	-15.405	100	1.9185E5	-15.374
1	1.9399E5	-135.59	1	1.9429E5	-135.8
1	127.65	46.154	1	870.64	80.796
1	397.75	172.68	1	401.12	168.79
1	398.35	54.099	1	421.36	56.161

93	1.5494E5	112.01	93	1.9151E5	110.75
0	1.9225E5	-6.7388	200	1.9314E5	-7.7106
1	1.9149E5	-128.6	1	1.9383E5	-127.87
1	2000.1	44.288	1	677.58	114.15
1	310.25	-6.1452	1	411.42	2.003
1	514.25	-122.58	1	423.26	-114.3
93	1.285E5	99.658	93	1.9135E5	101.85
0	1.9036E5	-13.823	200	1.9263E5	-15.4
1	1.9068E5	-136.99	1	1.9397E5	-135.59
1	4455	26.195	1	286.9	76.647
1	309.59	159.38	1	400.15	171.03
1	509.53	48.392	1	407.46	55.147

124	1.3916E5	114.63
0	1.8969E5	-3.2241
1	1.8335E5	-131.29
1	1657.4	40.516
1	147.59	-106.59
1	828.9	-139.21
124	1529	22.649
0	1.8858E5	-11.367
1	1.8509E5	-138.87
1	13691	20.519
1	221.2	77.384
1	833.97	35.795

Simulações monofásicas
Arquivo=mn_t1_cgd – fontes equivalentes
Referência = CGD
Fasores de tensão e corrente na seguinte ordem:
1. três primeiros sinais = la, lb, lc , pré-falta no terminal de referência.
2. Seis fasores do terminal referência correspondente a Va, Vb, Vc, Ia, Ib, Ic.
3. Seis fasores do terminal remoto correspondente a Va, Vb, Vc, Ia, Ib, Ic.
4. Cada conjunto de 12 medidas seguintes para variações de **R** e **d**.

124	1.7561E5	105.78
20	1.8637E5	-6.8582
1	1.9498E5	-130
1	1162	93.154
1	393.27	-30.95
1	651.44	-112.39
124	1.5501E5	74.721
20	1.8662E5	-14.769
1	1.9533E5	-137.42
1	6635.2	72.082
1	424.31	139.73
1	625.28	60.871

Entra=
[112 394.97 -66.618
1 395.21 173.37
1 395.03 53.345
31 1.285E5 99.658
0 1.9036E5 -13.823
1 1.9068E5 -136.99
1 4455 26.195
1 309.59 159.38
1 509.53 48.392
31 1.5494E5 112.01
0 1.9225E5 -6.7388
1 1.9149E5 -128.6
1 2000.1 44.288
1 310.25 -6.1452
1 514.25 -122.58

124	1.8793E5	108.79
50	1.9E5	-7.6245
1	1.9518E5	-128.71
1	777.03	109.91
1	415.64	-11.579
1	515.31	-110.23
124	1.8205E5	91.087
50	1.9013E5	-15.372
1	1.9516E5	-136.24
1	2898.6	87.573
1	422.39	158.1
1	490.17	61.188

31 1.5623E5 93.361
20 1.8955E5 -14.659
1 1.9346E5 -136.75
1 3205.4 53.03
1 367.54 160.24
1 486.48 54.542
31 1.6837E5 107.48
20 1.9155E5 -7.2022
1 1.9317E5 -128.53
1 1717.1 72.462
1 366.88 -7.3942
1 499.2 -116.35

124	1.9125E5	110.42
100	1.9175E5	-7.731
1	1.9459E5	-128.21
1	602.87	116.79
1	415.46	-3.8557
1	460.87	-111.76
124	1.8885E5	97.659
100	1.9176E5	-15.426
1	1.9449E5	-135.8
1	1315.6	92.353
1	412.04	165.5
1	439.57	58.571];

31 1.7848E5 96.145
50 1.9069E5 -15.209
1 1.9441E5 -136.18
1 1806.8 71.867
1 395.51 165.18
1 446.81 56.632
31 1.8208E5 107.97
50 1.9207E5 -7.5494
1 1.9391E5 -128.22
1 1256 93.354
1 399.91 -3.4266
1 463.1 -113.7

31	1.8774E5	99.481	62	1.8152E5	98.631
100	1.9185E5	-15.374	50	1.9082E5	-15.202
1	1.9429E5	-135.8	1	1.9433E5	-136.15
1	870.64	80.796	1	1129.2	65.563
1	401.12	168.79	1	396.96	170.84
1	421.36	56.161	1	410.06	54.83
31	1.8862E5	109.51	62	1.7785E5	106.69
100	1.927E5	-7.6754	50	1.9343E5	-7.6428
1	1.9395E5	-128	1	1.9349E5	-127.83
1	908.84	106.02	1	1739.9	87.8
1	409.69	-0.13559	1	409.61	2.0855
1	437.89	-113.65	1	423.55	-114.56
31	1.9135E5	101.85	62	1.8884E5	100.76
200	1.9263E5	-15.4	100	1.9186E5	-15.374
1	1.9397E5	-135.59	1	1.9429E5	-135.8
1	286.9	76.647	1	512.59	72.71
1	400.15	171.03	1	398.53	171.95
1	407.46	55.147	1	402.43	54.536
31	1.9151E5	110.75	62	1.8662E5	108.51
200	1.9314E5	-7.7106	100	1.9349E5	-7.6797
1	1.9383E5	-127.87	1	1.9356E5	-127.79
1	677.58	114.15	1	1218.8	101.57
1	411.42	2.003	1	411.65	3.0441
1	423.26	-114.3	1	416.5	-114.74
62	1.513E5	101.15	62	1.9184E5	102.49
0	1.9057E5	-14.095	200	1.9262E5	-15.405
1	1.9133E5	-136.79	1	1.9399E5	-135.59
1	2651.5	25.306	1	127.65	46.154
1	374.1	169.38	1	397.75	172.68
1	429.03	52.63	1	398.35	54.099
62	1.4825E5	111.46	62	1.9072E5	110.15
0	1.9362E5	-7.5306	200	1.9356E5	-7.6973
1	1.9306E5	-127.84	1	1.9358E5	-127.77
1	2737.9	42.891	1	850.36	111
1	388.09	1.0971	1	411.35	3.686
1	439.51	-116.68	1	412.59	-115.07
62	1.6662E5	97.58	93	1.5787E5	101.31
20	1.8997E5	-14.722	0	1.8976E5	-13.868
1	1.9341E5	-136.61	1	1.9114E5	-137.12
1	1961.3	48.047	1	1883.1	23.991
1	388.75	169.55	1	435.41	175.71
1	421.56	54.336	1	361.03	57.514
62	1.6191E5	106.52	93	1.248E5	110.03
20	1.9344E5	-7.5798	0	1.9517E5	-8.1909
1	1.933E5	-127.86	1	1.9424E5	-127.11
1	2362.5	67.315	1	4477.7	41.129
1	401.45	1.0588	1	455.76	5.519
1	433.68	-115.1	1	379.87	-110.29

93	1.7331E5	98.453	0.1	1529	22.649
20	1.892E5	-14.746	0	1.8858E5	-11.367
1	1.9388E5	-136.79	1	1.8509E5	-138.87
1	1255.9	48.93	1	13691	20.519
1	417.33	177	1	221.2	77.384
1	361.95	54.275	1	833.97	35.795
93	1.5107E5	101.87	0.1	1.3916E5	114.63
20	1.9527E5	-7.8775	0	1.8969E5	-3.2241
1	1.9327E5	-127.24	1	1.8335E5	-131.29
1	3606.7	68.75	1	1657.4	40.516
1	438.56	7.3164	1	147.59	-106.59
1	375.69	-113.59	1	828.9	-139.21
93	1.8565E5	99.874	0.1	1.5501E5	74.721
50	1.9054E5	-15.278	20	1.8662E5	-14.769
1	1.9469E5	-136.18	1	1.9533E5	-137.42
1	608.75	63.809	1	6635.2	72.082
1	402.65	176.25	1	424.31	139.73
1	374.46	52.817	1	625.28	60.871
93	1.7493E5	103.89	0.1	1.7561E5	105.78
50	1.9472E5	-7.7067	20	1.8637E5	-6.8582
1	1.9303E5	-127.46	1	1.9498E5	-130
1	2435.5	89.437	1	1162	93.154
1	421.81	6.9935	1	393.27	-30.95
1	386.56	-115.54	1	651.44	-112.39
93	1.9072E5	101.72	0.1	1.8205E5	91.087
100	1.9179E5	-15.419	50	1.9013E5	-15.372
1	1.9445E5	-135.8	1	1.9516E5	-136.24
1	199.83	55.884	1	2898.6	87.573
1	396.98	175.17	1	422.39	158.1
1	383.85	52.715	1	490.17	61.188
93	1.8575E5	107.07	0.1	1.8793E5	108.79
100	1.9426E5	-7.6704	50	1.9E5	-7.6245
1	1.9315E5	-127.6	1	1.9518E5	-128.71
1	1592	102.21	1	777.03	109.91
1	414.1	6.0808	1	415.64	-11.579
1	396.31	-115.98	1	515.31	-110.23
93	1.9256E5	103.06	0.1	1.8885E5	97.659
200	1.9261E5	-15.425	100	1.9176E5	-15.426
1	1.9406E5	-135.59	1	1.9449E5	-135.8
1	131.16	-41.71	1	1315.6	92.353
1	395.29	174.37	1	412.04	165.5
1	389.44	52.937	1	439.57	58.571
93	1.904E5	109.44	0.1	1.9125E5	110.42
200	1.9397E5	-7.6769	100	1.9175E5	-7.731
1	1.9332E5	-127.67	1	1.9459E5	-128.21
1	1040.1	110.76	1	602.87	116.79
1	411.04	5.3209	1	415.46	-3.8557
1	402.57	-115.94	1	460.87	-111.76];

Simulações monofásicas

Arquivo=mn_tom_tac – fontes equivalentes, sistema radial.

Referência = TAC

Fasores de tensão e corrente na seguinte ordem:

1. três primeiros sinais = Ia, Ib, Ic, pré-falta no terminal de referência.

2. Seis fasores do terminal referência correspondente a Va, Vb, Vc, Ia, Ib, Ic.

3. Cada conjunto de 6 medidas seguintes para variações de R e d.

Entra=[110 79.084 -156.6

1 79.018 83.4

1 79.044 -36.552

31 1.2721E5 111.37

0 1.967E5 -7.1705

10 1.9539E5 -125.56

1 4574.3 37.644

1 82.043 76.996

1 86.014 -32.031

31 1.4623E5 103.77

20 1.9696E5 -6.8013

10 1.9412E5 -125.67

1 3808.4 60.237

1 84.142 79.164

1 82.286 -31.396

31 1.6926E5 104

50 1.9638E5 -6.5124

10 1.9356E5 -125.96

1 2667.9 80.302

1 83.597 81.374

1 79.444 -32.498

31 1.8321E5 106.98

100 1.9565E5 -6.408

10 1.936E5 -126.2

1 1655.8 95.361

1 82.338 82.663

1 78.436 -34.078

31 1.8995E5 109.79

200 1.9509E5 -6.3929

10 1.9388E5 -126.35

1 911.98 107.1

1 80.87 83.221

1 78.393 -35.227

62 1.5365E5 112.26

0 1.9585E5 -6.898

10 1.9498E5 -125.91

1 2747.6 38.558

1 83.147 76.507

1 86.453 -31.294

62 1.5986E5 109.21

20 1.9603E5 -6.7488

10 1.9448E5 -125.93

1 2485.1 53.215

1 84.755 77.984

1 83.982 -30.8

62 1.706E5 107.79

50 1.9592E5 -6.5966

10 1.9402E5 -126.05

1 2015.4 69.667

1 85.088 79.92

1 81.146 -31.301

62 1.8141E5 108.43

100 1.9554E5 -6.4702

10 1.9385E5 -126.2

1 1425.9 85.873

1 83.892 81.714

1 78.908 -32.49

62 1.8884E5 110.15

200 1.951E5 -6.4261

10 1.9393E5 -126.34

1 853.6 100.85

1 82.243 82.851

1 78.29 -34.278

93 1.6502E5 112.64

0 1.9547E5 -6.7705

10 1.9479E5 -126.06

1 1955.8 39.025

1 82.561 77.089

1 85.729 -31.71

93 1.6805E5 111.03

20 1.956E5 -6.7129

10 1.9452E5 -126.07

1 1827.4 49.906

1 83.854 78.021

1 84.089 -31.319

93 1.7372E5 109.81

50 1.9559E5 -6.6083

10 1.9423E5 -126.12

1 1586.8 63.41

1 84.59 79.47

1 81.941 -31.427

93 1.8124E5 109.6

100 1.954E5 -6.4973

10 1.9404E5 -126.21

1 1225.2 78.91

1 84.289 81.152

1 79.777 -32.268

			31	1.7965E5	98.191
93	1.8814E5	110.53	200	1.9424E5	-9.0599
200	1.9508E5	-6.4484	20	2.013E5	-130.08
10	1.94E5	-126.33	1	861.48	95.506
1	791.47	95.492	1	79.473	80.418
1	82.654	82.493	1	82.087	-39.616
1	78.448	-33.747];			
			62	1.0083E5	108.14
			0	1.9306E5	-6.6834
			20	1.9529E5	-131.61
			1	1798.1	34.505
Simulações monofásicas			1	78.785	79.86
Arquivo=mn_wom_cgd – fontes equivalentes, sistema radial.			1	83.201	-39.782
Referência = CGD			62	1.0992E5	100.46
Fasores de tensão e corrente na seguinte ordem:			20	1.9224E5	-7.1588
1. três primeiros sinais = Ia, Ib, Ic , pré-falta no terminal de referência.			2	1.9695E5	-131.56
2. Seis fasores do terminal referência correspondente a Va, Vb, Vc, Ia, Ib, Ic.			1	1703.7	44.495
3. Cada conjunto de 6 medidas seguintes para variações de R e d.			1	79.348	79.681
			1	82.867	-39.205
			62	1.2841E5	95.465
Entra=[120 81.176 -158.9			50	1.9192E5	-7.7498
1 80.656 80.762			2	1.9879E5	-131.32
1 80.743 -39.217			1	1513.7	57.345
			1	79.92	79.686
			1	82.784	-39.021
31 67718 107.08			62	1.5338E5	95.416
0 1.9139E5 -5.821			100	1.9267E5	-8.4386
20 1.9388E5 -132.52			2	2.0034E5	-130.78
1 2428.5 33.409			1	1203.6	72.855
1 77.262 82.554			1	80.399	79.832
1 81.198 -42.249			1	82.324	-38.753
31 86806 90.085			62	1.7677E5	99.57
20 1.8988E5 -6.5944			200	1.9457E5	-8.9444
2 1.9685E5 -132.42			2	2.0079E5	-130.06
1 2254.9 46.563			1	797.92	90.276
1 77.087 81.78			1	80.835	80.184
1 81.621 -41.57			1	81.767	-38.723
31 1.2094E5 86.038			93	1.2034E5	108.77
50 1.8972E5 -7.6535			0	1.9415E5	-7.204
20 1.9968E5 -131.91			20	1.9602E5	-131.08
1 1903 62.331			1	1423.2	35.202
1 77.472 80.986			1	79.761	79.036
1 82.429 -41.118			1	83.669	-38.845
31 1.553E5 90.736			93	1.2578E5	104.39
100 1.9146E5 -8.5751			20	1.9363E5	-7.4841
20 2.0138E5 -131			20	1.9708E5	-131.06
1 1401.5 79.116			1	1364.4	43.299
1 78.497 80.51			1	80.523	79.064
1 82.507 -40.265			1	83.247	-38.38

62	1.4001E5	113.78	62	1.9091E5	111.72
0	1.9285E5	-3.4754	200	1.9406E5	-4.9924
2	1.9208E5	-126.42	2	1.9581E5	-125.32
1	2683.8	40.438	1	691.96	109.98
1	58.427	-117.98	1	132.3	9.4993
1	295.54	-122.3	1	176.38	-90.009
62	92972	107.71	62	1.8902E5	106.43
0	1.9146E5	-5.4449	200	1.9447E5	-7.3549
2	1.9325E5	-129.38	2	1.971E5	-127.63
1	1513.2	32.491	1	219.78	95.515
1	134	74.09	1	134.27	154.99
1	300.54	42.211	1	144.82	63.688
62	1.5339E5	107.9	93	1.4594E5	114.29
20	1.918E5	-4.0023	0	1.9174E5	-2.7571
2	1.9414E5	-126.4	2	1.9069E5	-127.1
1	2325.7	61.729	1	1970	40.502
1	82.356	-62.984	1	132.24	-137.35
1	287.1	-108.92	1	367.04	-128.36
62	1.2218E5	94.849	93	65980	106.84
20	1.9055E5	-6.2347	0	1.9208E5	-5.9835
2	1.9595E5	-129.18	2	1.9441E5	-128.94
1	1245.3	53.081	1	2154.4	32.399
1	153.71	100.45	1	196.43	57.81
1	274.29	54.829	1	376.38	39.477
62	1.719E5	107.3	93	1.571E5	109.06
50	1.9212E5	-4.5644	20	1.9015E5	-3.5188
2	1.9557E5	-126.03	2	1.9369E5	-127.07
1	1726	81.705	1	1731	61.826
1	108.79	-27.69	1	125.98	-93.79
1	251.1	-97.824	1	352.42	-113.2
62	1.5687E5	96.301	93	1.0363E5	87.229
50	1.9149E5	-6.9537	20	1.9157E5	-6.5957
2	1.9747E5	-128.58	2	1.9641E5	-128.74
1	853.17	72.03	1	1805.4	52.876
1	155.43	124.02	1	203.07	85.343
1	224.82	63.897	1	341.8	53.697
62	1.8447E5	109.4	93	1.7358E5	108.23
100	1.9311E5	-4.8791	50	1.9056E5	-4.3569
2	1.9596E5	-125.62	2	1.958E5	-126.52
1	1143.4	97.5	1	1305.7	82.192
1	124.66	-5.2185	1	125.19	-51.702
1	209.65	-91.742	1	301.15	-100.12
62	1.784E5	101.63	93	1.4708E5	90.724
100	1.9311E5	-7.2851	50	1.9245E5	-7.1252
2	1.9759E5	-128.01	2	1.9746E5	-128.25
1	492.03	86.184	1	1266.4	72.043
1	146	142.01	1	188.49	111.44
1	177.64	66.511	1	274.66	64.79

93	1.8517E5	109.98	0.1	1.7818E5	98.868
100	1.9204E5	-4.8317	50	1.9519E5	-4.872
2	1.9638E5	-125.91	0	1.9489E5	-125.1
1	880.64	98.582	1	3527	100.42
1	128.38	-19.992	1	140.41	17.591
1	242.3	-92.337	1	155.81	-88.786
93	1.7373E5	98.258	0.1	1.8483E5	101.82
100	1.9378E5	-7.3467	50	1.8654E5	-7.3492
2	1.9742E5	-127.81	0	2.012E5	-129.58
1	756.24	86.6	1	40.986	66.397
1	165.22	132.59	1	129.77	165.39
1	208.31	69.173	1	121.75	60.308
93	1.9118E5	112.04	0.1	1.8815E5	106.58
200	1.9346E5	-5	100	1.9521E5	-4.9307
2	1.9614E5	-125.47	0	1.9505E5	-125.07
1	547.36	111.75	1	1919.6	109.12
1	132.02	1.604	1	139.94	21.948
1	194.52	-89.574	1	145.9	-90.292
93	1.8699E5	104.6	0.1	1.9184E5	106.96
200	1.9486E5	-7.3701	100	1.9111E5	-7.5037
2	1.9695E5	-127.53	0	1.9924E5	-128.39
1	366.66	96.587	1	38.082	-61.015
1	143.97	148.86	1	123.62	168.59
1	160.26	66.986	1	117.01	56.431];
0.1	1251.7	35.335	Simulações monofásicas		
0	1.9626E5	-4.7219	Arquivo=mn_w_cgd – fonte fraca em		
2	1.939E5	-124.9	CGD		
1	12009	35.849	Referência = CGD		
1	76.765	-3.4308	Fasores de tensão e corrente na		
1	209.84	-104.89	seguinte ordem:		
0.1	62628	104.59	1. três primeiros sinais = Ia, Ib, Ic , pré-falta		
0	1.8254E5	2.1394	no terminal de referência.		
2	1.805E5	-136.44	2. Seis fasores do terminal referência		
1	502.07	23.599	correspondente a Va, Vb, Vc, Ia, Ib, Ic.		
1	111.58	135.26	3. Seis fasores do terminal remoto		
1	185.32	54.876	correspondente a Va, Vb, Vc, Ia, Ib, Ic.		
0.1	1.4322E5	81.031	4. Cada conjunto de 12 medidas		
20	1.9535E5	-4.7461	seguintes para variações de R e d .		
2	1.9444E5	-125.12			
1	6957	81.96			
1	133.64	7.7692			
1	180.15	-89.403			
0.1	1.5782E5	91.131			
20	1.7771E5	-5.5564			
2	2.0152E5	-132.57			
1	202.96	66.162			
1	137.54	156.82			
1	140.38	64.947			
			Entra=[
			122 115.24 -68.572		
			1 115.31 171.42		
			1 115.26 51.392		

31	65980	106.84	31	1.8699E5	104.6
0	1.9208E5	-5.9835	200	1.9486E5	-7.3701
2	1.9441E5	-128.94	2	1.9695E5	-127.53
1	2154.4	32.399	1	366.66	96.587
1	196.43	57.81	1	143.97	148.86
1	376.38	39.477	1	160.26	66.986
31	1.4594E5	114.29	31	1.9118E5	112.04
0	1.9174E5	-2.7571	200	1.9346E5	-5
2	1.9069E5	-127.1	2	1.9614E5	-125.47
1	1970	40.502	1	547.36	111.75
1	132.24	-137.35	1	132.02	1.604
1	367.04	-128.36	1	194.52	-89.574

31	1.0363E5	87.229	62	92972	107.71
20	1.9157E5	-6.5957	0	1.9146E5	-5.4449
2	1.9641E5	-128.74	2	1.9325E5	-129.38
1	1805.4	52.876	1	1513.2	32.491
1	203.07	85.343	1	134	74.09
1	341.8	53.697	1	300.54	42.211
31	1.571E5	109.06	62	1.4001E5	113.78
20	1.9015E5	-3.5188	0	1.9285E5	-3.4754
2	1.9369E5	-127.07	2	1.9208E5	-126.42
1	1731	61.826	1	2683.8	40.438
1	125.98	-93.79	1	58.427	-117.98
1	352.42	-113.2	1	295.54	-122.3

31	1.4708E5	90.724	62	1.2218E5	94.849
50	1.9245E5	-7.1252	20	1.9055E5	-6.2347
2	1.9746E5	-128.25	2	1.9595E5	-129.18
1	1266.4	72.043	1	1245.3	53.081
1	188.49	111.44	1	153.71	100.45
1	274.66	64.79	1	274.29	54.829
31	1.7358E5	108.23	62	1.5339E5	107.9
50	1.9056E5	-4.3569	20	1.918E5	-4.0023
2	1.958E5	-126.52	2	1.9414E5	-126.4
1	1305.7	82.192	1	2325.7	61.729
1	125.19	-51.702	1	82.356	-62.984
1	301.15	-100.12	1	287.1	-108.92

31	1.7373E5	98.258	62	1.5687E5	96.301
100	1.9378E5	-7.3467	50	1.9149E5	-6.9537
2	1.9742E5	-127.81	2	1.9747E5	-128.58
1	756.24	86.6	1	853.17	72.03
1	165.22	132.59	1	155.43	124.02
1	208.31	69.173	1	224.82	63.897
31	1.8517E5	109.98	62	1.719E5	107.3
100	1.9204E5	-4.8317	50	1.9212E5	-4.5644
2	1.9638E5	-125.91	2	1.9557E5	-126.03
1	880.64	98.582	1	1726	81.705
1	128.38	-19.992	1	108.79	-27.69
1	242.3	-92.337	1	251.1	-97.824

62	1.784E5	101.63	93	1.6868E5	99.195
100	1.9311E5	-7.2851	50	1.8973E5	-6.8995
2	1.9759E5	-128.01	2	1.9825E5	-129.04
1	492.03	86.184	1	488.91	76.442
1	146	142.01	1	139.84	140.87
1	177.64	66.511	1	178.92	64.367
62	1.8447E5	109.4	93	1.7094E5	104.53
100	1.9311E5	-4.8791	50	1.9346E5	-4.7648
2	1.9596E5	-125.62	2	1.9545E5	-125.59
1	1143.4	97.5	1	2390.1	86.44
1	124.66	-5.2185	1	117.99	-5.0049
1	209.65	-91.742	1	208.91	-93.563

62	1.8902E5	106.43	93	1.8472E5	104.26
200	1.9447E5	-7.3549	100	1.9223E5	-7.3051
2	1.971E5	-127.63	2	1.981E5	-128.22
1	219.78	95.515	1	241.24	88.647
1	134.27	154.99	1	134.18	153.82
1	144.82	63.688	1	147.57	63.666
62	1.9091E5	111.72	93	1.849E5	108.27
200	1.9406E5	-4.9924	100	1.9412E5	-4.9328
2	1.9581E5	-125.32	2	1.9561E5	-125.34
1	691.96	109.98	1	1479.3	100.65
1	132.3	9.4993	1	130.71	8.395
1	176.38	-90.009	1	179.13	-90.387

93	1.0049E5	107.61	93	1.9166E5	108.09
0	1.8951E5	-4.1814	200	1.9404E5	-7.3688
2	1.9094E5	-130.58	2	1.9736E5	-127.73
1	1084.8	31.396	1	75.679	93.417
1	104.26	95.346	1	126.88	162.08
1	249.62	45.114	1	129.64	59.835
93	1.173E5	112.85	93	1.9112E5	111.28
0	1.9389E5	-3.9608	200	1.9465E5	-4.9869
2	1.9291E5	-125.9	2	1.955E5	-125.18
1	4355.5	39.569	1	854.43	111.06
1	32.42	-55.879	1	135.32	16.933
1	251.53	-116.53	1	158.8	-90.384

93	1.3585E5	95.818	124	62628	104.59
20	1.8772E5	-5.7371	0	1.8254E5	2.1394
2	1.9615E5	-130.14	2	1.805E5	-136.44
1	816.87	56.717	1	502.07	23.599
1	134.44	120.9	1	111.58	135.26
1	221.7	58.196	1	185.32	54.876
93	1.4371E5	102.92	124	1251.7	35.335
20	1.9309E5	-4.3865	0	1.9626E5	-4.7219
2	1.9455E5	-125.88	2	1.939E5	-124.9
1	3537.3	65.598	1	12009	35.849
1	86.782	-25.931	1	76.765	-3.4308
1	241.92	-102.53	1	209.84	-104.89

124	1.5782E5	91.131
20	1.7771E5	-5.5564
2	2.0152E5	-132.57
1	202.96	66.162
1	137.54	156.82
1	140.38	64.947
124	1.4322E5	81.031
20	1.9535E5	-4.7461
2	1.9444E5	-125.12
1	6957	81.96
1	133.64	7.7692
1	180.15	-89.403
124	1.8483E5	101.82
50	1.8654E5	-7.3492
0	2.012E5	-129.58
1	40.986	66.397
1	129.77	165.39
1	121.75	60.308
124	1.7818E5	98.868
50	1.9519E5	-4.872
0	1.9489E5	-125.1
1	3527	100.42
1	140.41	17.591
1	155.81	-88.786
124	1.9184E5	106.96
100	1.9111E5	-7.5037
0	1.9924E5	-128.39
1	38.082	-61.015
1	123.62	168.59
1	117.01	56.431
124	1.8815E5	106.58
100	1.9521E5	-4.9307
0	1.9505E5	-125.07
1	1919.6	109.12
1	139.94	21.948
1	145.9	-90.292];

Simulações bifásicas

Arquivo=bi_t1_tac – fontes equivalentes

Referência = TAC

Fasores de tensão e corrente na
seguinte ordem:

1. três primeiros sinais = Ia, Ib, Ic , pré-falta
no terminal de referência.

2. Seis fasores do terminal referência
correspondente a Va, Vb, Vc, Ia, Ib, Ic.

3. Seis fasores do terminal remoto
correspondente a Va, Vb, Vc, Ia, Ib, Ic.

4. Cada conjunto de 12 medidas .

Entra=[

211 409.26 124.34

1 409.47 4.3161

1 409.22 -115.7

31 1.2835E5 94.54

0 1.3106E5 11.057

1 1.9357E5 -127.74

1 5551.6 64.9

1 5142.4 -115.06

1 409.22 -115.64

31 1.5563E5 92.561

0 1.4599E5 -7.7331

1 1.9343E5 -135.39

1 2179.5 52.105

1 2574.5 -127.7

1 395.02 53.408

31 1.5954E5 92.474

20 1.2551E5 -2.881

1 1.9357E5 -127.74

1 4891.3 86.635

1 4515.3 -91.396

1 409.22 -115.64

31 1.7591E5 91.798

20 1.4871E5 -15.602

1 1.9343E5 -135.39

1 1717.2 76.065

1 2087.3 -108.12

1 395.02 53.408

31 1.8413E5 97.595

50 1.4581E5 -11.645

1 1.9357E5 -127.74

1 3631.1 106.26

1 3337.7 -69.043

1 409.22 -115.64

31 1.9115E5 95.184

50 1.6429E5 -19.385

1 1.9343E5 -135.39

1 1064.1 99.57

1 1367.7 -92.455

1 395.02 53.408

31 1.9412E5 103.27

100 1.6694E5 -12.401

1 1.9357E5 -127.74

1 2419 119.82

1 2212.8 -51.421

1 409.22 -115.64

31 1.9645E5 98.921

100 1.7797E5 -19.101

1 1.9343E5 -135.39

1 506.62 121.89

1 748.03 -87.538

1 395.02 53.408

31 1.9615E5 107.46

200 1.8055E5 -10.865

1 1.9357E5 -127.74

1 1507.7 127.68

1 1373.5 -36.883

1 409.22 -115.64

31 1.9663E5 101.63

200 1.862E5 -17.748

1 1.9343E5 -135.39

1 148.73 170.77

1 352.36 -104.58

1 395.02 53.408

62 1.4469E5 101.9

0 1.4875E5 4.4338

1 1.9357E5 -127.74

1 3615.7 65.115

1 3206.5 -114.79

1 409.22 -115.64

62 1.4872E5 90.703

0 1.4013E5 -5.2708

1 1.9343E5 -135.39

1 3117.1 52.408

1 3512.1 -127.48

1 395.02 53.409

62 1.6338E5 99.246

20 1.4495E5 -3.2349

1 1.9357E5 -127.74

1 3308.7 84.181

1 2927 -93.102

1 409.22 -115.64

62 1.696E5 89.52

20 1.4041E5 -13.913

1 1.9343E5 -135.39

1 2609.2 73.275

1 2983.8 -109.3

1 395.02 53.409

62	1.8204E5	101.39	93	1.677E5	101.51
50	1.565E5	-9.3289	20	1.5234E5	-4.2329
1	1.9357E5	-127.74	1	1.9357E5	-127.74
1	2610.8	102.77	1	2418.8	86.3
1	2304.2	-70.892	1	2045	-89.412
1	409.22	-115.64	1	409.22	-115.64
62	1.877E5	92.838	93	1.6406E5	82.972
50	1.5581E5	-19.355	20	1.2069E5	-12.926
1	1.9343E5	-135.39	1	1.9343E5	-135.39
1	1794.1	94.686	1	4101.9	74.946
1	2107.1	-92.418	1	4471.7	-106.91
1	395.02	53.409	1	395.03	53.408

62	1.9181E5	105.16	93	1.8432E5	103.48
100	1.7165E5	-10.764	50	1.6353E5	-9.2078
1	1.9357E5	-127.74	1	1.9357E5	-127.74
1	1839.4	116.69	1	1890.9	105.17
1	1622	-51.791	1	1603.6	-65.224
1	409.22	-115.64	1	409.22	-115.64
62	1.9568E5	97.183	93	1.8822E5	88.966
100	1.7234E5	-19.776	50	1.4416E5	-21.296
1	1.9343E5	-135.39	1	1.9343E5	-135.39
1	999.08	113.7	1	2779.6	96.692
1	1243.1	-82.318	1	3079.1	-88.354
1	395.02	53.409	1	395.03	53.408

62	1.9478E5	108.37	93	1.9221E5	106.68
200	1.8263E5	-10.022	100	1.7638E5	-10.137
1	1.9357E5	-127.74	1	1.9357E5	-127.74
1	1207.8	125.17	1	1345.8	117.99
1	1069.6	-35.32	1	1151.3	-45.382
1	409.22	-115.64	1	409.22	-115.64
62	1.9692E5	100.62	93	1.9703E5	95.138
200	1.8333E5	-18.349	100	1.6668E5	-21.246
1	1.9343E5	-135.39	1	1.9343E5	-135.39
1	396.08	135.92	1	1572	114.02
1	594.74	-85.269	1	1799.1	-77.011
1	395.02	53.409	1	395.03	53.408

93	1.5028E5	104.2	93	1.9443E5	109.24
0	1.5552E5	2.7265	200	1.8508E5	-9.4801
1	1.9357E5	-127.74	1	1.9357E5	-127.74
1	2639.3	65.537	1	923.78	124.98
1	2230.2	-114.25	1	806.21	-28.763
1	409.22	-115.64	1	409.22	-115.64
93	1.3154E5	83.586	93	1.9781E5	99.588
0	1.2312E5	2.3795	200	1.8064E5	-19.136
1	1.9343E5	-135.39	1	1.9343E5	-135.39
1	4925.5	52.197	1	692.27	130.24
1	5320.4	-127.71	1	871.71	-75.944
1	395.03	53.408	1	395.03	53.408

124	1.4319E5	103.37			Simulações bifásicas
0	1.522E5	5.1894			Arquivo=bi_t1_cgd – fontes equivalentes
1	1.9357E5	-127.74			Referência = CGD
1	1921.5	67.147			Fasores de tensão e corrente na
1	1512.9	-112.1			seguinte ordem:
1	409.22	-115.65			1. três primeiros sinais = Ia, Ib, Ic , pré-falta
124	97939	44.716			no terminal de referência.
0	95489	44.495			2. Seis fasores do terminal referência
1	1.9343E5	-135.39			correspondente a Va, Vb, Vc, Ia, Ib, Ic.
1	10514	50.968			3. Seis fasores do terminal remoto
1	10909	-128.94			correspondente a Va, Vb, Vc, Ia, Ib, Ic.
1	395.03	53.403			4. Cada conjunto de 12 medidas .
124	1.7351E5	100.46			
20	1.5099E5	-6.6744			
1	1.9357E5	-127.74			
1	1660.6	97.134			
1	1335	-73.313			Entra=[
1	409.22	-115.65		212	394.97 -66.618
124	1.7803E5	65.145		1	395.21 173.37
20	67932	-22.24		1	395.03 53.345
1	1.9343E5	-135.39			
1	7758.9	84.552			
1	8099.5	-96.894			
1	395.03	53.403			
124	1.8998E5	104.76	31	1.3154E5	83.586
50	1.6967E5	-10.401	0	1.2312E5	2.3795
1	1.9357E5	-127.74	1	1.9343E5	-135.39
1	1181.3	115.5	1	4925.5	52.197
1	978	-45.485	1	5320.4	-127.71
1	409.22	-115.65	1	395.03	53.408
124	2.02E5	82.866	31	1.5028E5	104.2
50	1.2983E5	-29.839	0	1.5552E5	2.7265
1	1.9343E5	-135.39	1	1.9357E5	-127.74
1	4430.9	107.33	1	2639.3	65.537
1	4674.4	-76.587	1	2230.2	-114.25
1	395.03	53.403	1	409.22	-115.64
124	1.941E5	108.09	31	1.6406E5	82.972
100	1.8148E5	-9.9738	20	1.2069E5	-12.926
1	1.9357E5	-127.74	1	1.9343E5	-135.39
1	845.85	123.58	1	4101.9	74.946
1	727.11	-27.506	1	4471.7	-106.91
1	409.22	-115.65	1	395.03	53.408
124	2.0322E5	92.792	31	1.677E5	101.51
100	1.6216E5	-24.46	20	1.5234E5	-4.2329
1	1.9343E5	-135.39	1	1.9357E5	-127.74
1	2309.9	120.88	1	2418.8	86.3
1	2488.1	-67.551	1	2045	-89.412
1	395.03	53.403];	1	409.22	-115.64

31	1.8822E5	88.966	62	1.696E5	89.52
50	1.4416E5	-21.296	20	1.4041E5	-13.913
1	1.9343E5	-135.39	1	1.9343E5	-135.39
1	2779.6	96.692	1	2609.2	73.275
1	3079.1	-88.354	1	2983.8	-109.3
1	395.03	53.408	1	395.02	53.409
31	1.8432E5	103.48	62	1.6338E5	99.246
50	1.6353E5	-9.2078	20	1.4495E5	-3.2349
1	1.9357E5	-127.74	1	1.9357E5	-127.74
1	1890.9	105.17	1	3308.7	84.181
1	1603.6	-65.224	1	2927	-93.102
1	409.22	-115.64	1	409.22	-115.64

31	1.9703E5	95.138	62	1.877E5	92.838
100	1.6668E5	-21.246	50	1.5581E5	-19.355
1	1.9343E5	-135.39	1	1.9343E5	-135.39
1	1572	114.02	1	1794.1	94.686
1	1799.1	-77.011	1	2107.1	-92.418
1	395.03	53.408	1	395.02	53.409
31	1.9221E5	106.68	62	1.8204E5	101.39
100	1.7638E5	-10.137	50	1.565E5	-9.3289
1	1.9357E5	-127.74	1	1.9357E5	-127.74
1	1345.8	117.99	1	2610.8	102.77
1	1151.3	-45.382	1	2304.2	-70.892
1	409.22	-115.64	1	409.22	-115.64

31	1.9781E5	99.588	62	1.9568E5	97.183
200	1.8064E5	-19.136	100	1.7234E5	-19.776
1	1.9343E5	-135.39	1	1.9343E5	-135.39
1	692.27	130.24	1	999.08	113.7
1	871.71	-75.944	1	1243.1	-82.318
1	395.03	53.408	1	395.02	53.409
31	1.9443E5	109.24	62	1.9181E5	105.16
200	1.8508E5	-9.4801	100	1.7165E5	-10.764
1	1.9357E5	-127.74	1	1.9357E5	-127.74
1	923.78	124.98	1	1839.4	116.69
1	806.21	-28.763	1	1622	-51.791
1	409.22	-115.64	1	409.22	-115.64

62	1.4872E5	90.703	62	1.9692E5	100.62
0	1.4013E5	-5.2708	200	1.8333E5	-18.349
1	1.9343E5	-135.39	1	1.9343E5	-135.39
1	3117.1	52.408	1	396.08	135.92
1	3512.1	-127.48	1	594.74	-85.269
1	395.02	53.409	1	395.02	53.409
62	1.4469E5	101.9	62	1.9478E5	108.37
0	1.4875E5	4.4338	200	1.8263E5	-10.022
1	1.9357E5	-127.74	1	1.9357E5	-127.74
1	3615.7	65.115	1	1207.8	125.17
1	3206.5	-114.79	1	1069.6	-35.32
1	409.22	-115.64	1	409.22	-115.64

93	1.5563E5	92.561	93	1.9663E5	101.63
0	1.4599E5	-7.7331	200	1.862E5	-17.748
1	1.9343E5	-135.39	1	1.9343E5	-135.39
1	2179.5	52.105	1	148.73	170.77
1	2574.5	-127.7	1	352.36	-104.58
1	395.02	53.408	1	395.02	53.408
93	1.2835E5	94.54	93	1.9615E5	107.46
0	1.3106E5	11.057	200	1.8055E5	-10.865
1	1.9357E5	-127.74	1	1.9357E5	-127.74
1	5551.6	64.9	1	1507.7	127.68
1	5142.4	-115.06	1	1373.5	-36.883
1	409.22	-115.64	1	409.22	-115.64
93	1.7591E5	91.798	0.1	97939	44.716
20	1.4871E5	-15.602	0	95489	44.495
1	1.9343E5	-135.39	1	1.9343E5	-135.39
1	1717.2	76.065	1	10514	50.968
1	2087.3	-108.12	1	10909	-128.94
1	395.02	53.408	1	395.03	53.403
93	1.5954E5	92.474	0.1	1.4319E5	103.37
20	1.2551E5	-2.881	0	1.522E5	5.1894
1	1.9357E5	-127.74	1	1.9357E5	-127.74
1	4891.3	86.635	1	1921.5	67.147
1	4515.3	-91.396	1	1512.9	-112.1
1	409.22	-115.64	1	409.22	-115.65
93	1.9115E5	95.184	0.1	1.7803E5	65.145
50	1.6429E5	-19.385	20	67932	-22.24
1	1.9343E5	-135.39	1	1.9343E5	-135.39
1	1064.1	99.57	1	7758.9	84.552
1	1367.7	-92.455	1	8099.5	-96.894
1	395.02	53.408	1	395.03	53.403
93	1.8413E5	97.595	0.1	1.7351E5	100.46
50	1.4581E5	-11.645	20	1.5099E5	-6.6744
1	1.9357E5	-127.74	1	1.9357E5	-127.74
1	3631.1	106.26	1	1660.6	97.134
1	3337.7	-69.043	1	1335	-73.313
1	409.22	-115.64	1	409.22	-115.65
93	1.9645E5	98.921	0.1	2.02E5	82.866
100	1.7797E5	-19.101	50	1.2983E5	-29.839
1	1.9343E5	-135.39	1	1.9343E5	-135.39
1	506.62	121.89	1	4430.9	107.33
1	748.03	-87.538	1	4674.4	-76.587
1	395.02	53.408	1	395.03	53.403
93	1.9412E5	103.27	0.1	1.8998E5	104.76
100	1.6694E5	-12.401	50	1.6967E5	-10.401
1	1.9357E5	-127.74	1	1.9357E5	-127.74
1	2419	119.82	1	1181.3	115.5
1	2212.8	-51.421	1	978	-45.485
1	409.22	-115.64	1	409.22	-115.65

0.1	2.0322E5	92.792	62	1.5262E5	103.78
100	1.6216E5	-24.46	0	1.521E5	3.0547
1	1.9343E5	-135.39	10	1.9437E5	-126.47
1	2309.9	120.88	1	3635.1	65.097
1	2488.1	-67.551	1	3620	-116.13
1	395.03	53.403	1	78.908	-36.384
0.1	1.941E5	108.09	62	1.6166E5	102.11
100	1.8148E5	-9.9738	20	1.4947E5	-0.69213
1	1.9357E5	-127.74	10	1.9435E5	-126.48
1	845.85	123.58	1	3438.4	76.562
1	727.11	-27.506	1	3408.3	-104.66
1	409.22	-115.65];	1	78.993	-36.493
Simulações bifásicas			62	1.7436E5	102.09
Arquivo=bi_to_tac – fontes equivalentes, sistema radial.			50	1.5272E5	-5.3496
Referência = TAC			10	1.9436E5	-126.48
Fasores de tensão e corrente na seguinte ordem:			1	3001.6	91.041
1. três primeiros sinais = Ia, Ib, Ic , pré-falta no terminal de referência.			1	2954.1	-90.174
2. Seis fasores do terminal referência correspondente a Va, Vb, Vc, Ia, Ib, Ic.			1	79.113	-36.569
3. Cada conjunto de 6 medidas seguintes para variações de R e d .			93	1.6276E5	106.76
Entra=[0	1.6249E5	0.16967
			10	1.9438E5	-126.47
			1	2689.3	65.358
			1	2674.1	-116.3
			1	78.913	-36.384
			93	1.675E5	105.7
			20	1.6094E5	-1.78
			10	1.9434E5	-126.48
210	79.084	-156.6	1	2591.4	74.009
1	79.018	83.4	1	2564.9	-107.64
1	79.044	-36.552	1	79.005	-36.509
31	1.3303E5	96.222	93	1.7497E5	105.16
0	1.3218E5	10.5	50	1.6179E5	-4.4745
10	1.9437E5	-126.47	10	1.9438E5	-126.47
1	5593.3	64.832	1	2369.4	85.687
1	5578.3	-115.96	1	2328.2	-95.958
1	78.916	-36.389	1	79.08	-36.529];
31	1.5545E5	94.096	Simulações bifásicas		
20	1.2665E5	0.54444	Arquivo=bi_cwo_cgd – fontes equivalentes, sistema radial.		
10	1.9434E5	-126.48	Referência = CGD		
1	5060	81.815	Fasores de tensão e corrente na seguinte ordem:		
1	5023.1	-98.979	1. três primeiros sinais = Ia, Ib, Ic , pré-falta no terminal de referência.		
1	79.016	-36.519	2. Seis fasores do terminal referência correspondente a Va, Vb, Vc, Ia, Ib, Ic.		
31	1.786E5	97.16	3. Cada conjunto de 6 medidas seguintes para variações de R e d .		
50	1.3939E5	-8.6327			
10	1.9437E5	-126.48			
1	3995.1	100.32			
1	3937.9	-80.465			
1	79.245	-36.679			

Entra=[62	1.4467E5	81.006
			50	1.0308E5	6.413
220	81.176	-158.9	20	1.9868E5	-129.01
1	80.656	80.762	1	1752	77.32
1	80.743	-39.217	1	1717.6	-105.1
			1	80.806	-39.053
31	1.0663E5	71.267	62	1.6626E5	83.818
0	1.0533E5	30.458	100	1.077E5	-5.7881
20	1.9872E5	-129	20	1.9869E5	-129.01
1	2292.4	62.286	1	1563.4	89.538
1	2278	-119.7	1	1514.3	-92.854
1	80.874	-39.082	1	80.921	-39.166
31	1.2378E5	70.905	62	1.8925E5	90.524
20	92473	23.873	200	1.3146E5	-15.328
20	1.9869E5	-129	20	1.9875E5	-129
1	2232	69.571	1	1206.1	106.49
1	2207.5	-112.42	1	1140.4	-75.815
1	80.815	-39.058	1	81.006	-39.183
31	1.4661E5	73.258	93	1.2638E5	88.64
50	83995	9.5973	0	1.2522E5	12.936
20	1.9869E5	-129.01	20	1.9872E5	-129
1	2086.8	79.773	1	1593.8	63.022
1	2049.1	-102.21	1	1579.1	-119.84
1	80.813	-39.058	1	80.89	-39.095
31	1.7303E5	79.286	93	1.3433E5	87.294
100	94183	-9.5203	20	1.2042E5	9.6684
20	1.9869E5	-129.01	20	1.9869E5	-129
1	1798.3	93.504	1	1567.8	68.147
1	1744.6	-88.452	1	1545.8	-114.72
1	80.903	-39.153	1	80.824	-39.065
31	1.9576E5	89.016	93	1.4616E5	86.627
200	1.2849E5	-18.72	50	1.1677E5	4.1851
20	1.9875E5	-129	20	1.9868E5	-129.01
1	1311.9	110.94	1	1506.6	75.649
1	1242.6	-70.929	1	1474.6	-107.21
1	81.001	-39.184	1	80.81	-39.067
62	1.1708E5	82.2	93	1.6335E5	87.705
0	1.157E5	19.369	100	1.1884E5	-4.2425
20	1.9872E5	-129	20	1.9871E5	-129.01
1	1881.1	62.672	1	1376.4	86.615
1	1866.4	-119.75	1	1330.9	-96.213
1	80.87	-39.076	1	80.987	-39.21
62	1.2831E5	80.888	93	1.8468E5	92.148
20	1.0833E5	14.815	200	1.3535E5	-12.826
20	1.9869E5	-129	20	1.9875E5	-128.99
1	1842.8	68.687	1	1108.6	102.84
1	1819.8	-113.74	1	1046.3	-79.897
1	80.82	-39.06	1	80.998	-39.166];

Simulações bifásicas

Arquivo=bi_cw_tac – fonte fraca em CGD	31	1.9414E5	102.9
Referência = TAC	100	1.5811E5	-10.71
Fasores de tensão e corrente na seguinte ordem:	2	1.9519E5	-125.02
1. três primeiros sinais = Ia, Ib, Ic , pré-falta no terminal de referência.	1	2402	119.29
	1	2287.9	-58.863
	1	136.99	-93.347
2. Seis fasores do terminal referência correspondente a Va, Vb, Vc, Ia, Ib, Ic.	31	1.9874E5	96.891
	100	1.4843E5	-16.178
3. Seis fasores do terminal remoto correspondente a Va, Vb, Vc, Ia, Ib, Ic.	2	1.9599E5	-127.28
	1	376.18	118.26
4. Cada conjunto de 12 medidas .	1	434.68	-75.849
	1	115.26	51.449

Entra=[221 137.06 146.62

1 137.07 26.58

1 136.99 -93.405

31	1.2583E5	94.195	31	1.9836E5	108.29
0	1.2598E5	15.831	200	1.7655E5	-9.2851
2	1.9519E5	-125.02	2	1.9519E5	-125.02
1	4986.2	66.737	1	1427.2	131.29
1	4857.6	-113.81	1	1333.2	-44.574
1	136.99	-93.347	1	136.99	-93.347
31	1.1496E5	79.093	31	2.0204E5	104.01
0	1.0608E5	23.949	200	1.7233E5	-13.452
2	1.9599E5	-127.28	2	1.9599E5	-127.28
1	992.99	59.293	1	172.03	140.05
1	1107.3	-121.52	1	209.41	-73.338
1	115.26	51.449	1	115.26	51.449

31	1.5336E5	92.243	62	1.4069E5	101.51
20	1.1819E5	3.2102	0	1.4179E5	8.9247
2	1.9519E5	-125.02	2	1.9519E5	-125.02
1	4507.2	84.53	1	3222.2	67.047
1	4370.3	-95.537	1	3093.5	-113.8
1	136.99	-93.347	1	136.99	-93.346
31	1.519E5	80.193	62	1.1204E5	77.753
20	93045	3.862	0	1.057E5	26.077
2	1.9599E5	-127.28	2	1.9599E5	-127.28
1	857.89	78.144	1	1410.4	60.29
1	962.26	-104.94	1	1524.4	-120.38
1	115.26	51.449	1	115.26	51.451

31	1.7977E5	96.607	62	1.5633E5	99.174
50	1.3399E5	-8.029	20	1.3703E5	2.3106
2	1.9519E5	-125.02	2	1.9519E5	-125.02
1	3532.2	103.31	1	3013.7	81.168
1	3401.2	-76.034	1	2877.3	-99.0930
1	136.99	-93.347	1	136.99	-93.346
31	1.8335E5	88.036	62	1.4264E5	78.059
50	1.1569E5	-13.646	20	90687	10.416
2	1.9599E5	-127.28	2	1.9599E5	-127.28
1	625.95	98.731	1	1279.7	74.979
1	709.22	-88.127	1	1386.1	-106.92
1	115.26	51.449	1	115.26	51.451

62	1.754E5	100.35	93	1.5872E5	101.74
50	1.4408E5	-5.0492	20	1.4436E5	1.77
2	1.9519E5	-125.02	2	1.9519E5	-125.02
1	2536.9	97.709	1	2214.3	80.352
1	2402.6	-81.665	1	2078.2	-100.06
1	136.99	-93.346	1	136.99	-93.347
62	1.737E5	84.236	93	1.3661E5	71.637
50	1.0266E5	-9.461	20	80106	19.161
2	1.9599E5	-127.28	2	1.9599E5	-127.28
1	1027.6	92.479	1	1726	73.829
1	1117.1	-91.405	1	1833.1	-107.54
1	115.26	51.451	1	115.26	51.449

62	1.8993E5	104.24	93	1.7474E5	102.13
100	1.6054E5	-8.6826	50	1.4911E5	-4.2227
2	1.9519E5	-125.02	2	1.9519E5	-125.02
1	1862.9	113.99	1	1913.6	96.009
1	1742.3	-63.937	1	1778.6	-83.274
1	136.99	-93.346	1	136.99	-93.347
62	1.9421E5	93.042	93	1.6939E5	78.878
100	1.3449E5	-16.408	50	86640	-6.8047
2	1.9599E5	-127.28	2	1.9599E5	-127.28
1	696.9	110.51	1	1430.8	90.141
1	762.6	-76.939	1	1522.4	-92.572
1	115.26	51.451	1	115.26	51.449

62	1.9645E5	108.65	93	1.8848E5	105.07
200	1.7679E5	-8.548	100	1.6253E5	-7.8275
2	1.9519E5	-125.02	2	1.9519E5	-125.02
1	1171.6	127.81	1	1453.4	112.22
1	1072.3	-47.368	1	1331.1	-65.239
1	136.99	-93.346	1	136.99	-93.347
62	2.0163E5	101.38	93	1.9272E5	88.931
200	1.6387E5	-14.749	100	1.2083E5	-17.701
2	1.9599E5	-127.28	2	1.9599E5	-127.28
1	372.83	128.43	1	1014	107.51
1	414.31	-67.298	1	1082.6	-77.555
1	115.26	51.451	1	115.26	51.449

93	1.4656E5	103.91	93	1.9558E5	108.97
0	1.4829E5	6.8164	200	1.7735E5	-8.1387
2	1.9519E5	-125.02	2	1.9519E5	-125.02
1	2337.6	67.415	1	944.83	126.64
1	2208.7	-113.76	1	844.48	-47.377
1	136.99	-93.347	1	136.99	-93.347
93	1.0499E5	69.974	93	2.0217E5	98.768
0	1.0065E5	34.701	200	1.5582E5	-16.346
2	1.9599E5	-127.28	2	1.9599E5	-127.28
1	1871.2	60.506	1	574.62	124.53
1	1985.1	-120.02	1	618.09	-65.75
1	115.26	51.449	1	115.26	51.449

.1	98665	55.102			Simulações bifásicas
0	96524	54.865			Arquivo=bi_cw_cgd - fonte fraca em CGD
2	1.9519E5	-125.02			Referência = CGD
1	10582	66.396			Fasores de tensão e corrente na seguinte ordem:
1	10454	-113.86			1. três primeiros sinais = Ia, Ib, Ic , pré-falta no terminal de referência.
1	136.99	-93.352			2. Seis fasores do terminal referência correspondente a Va, Vb, Vc, Ia, Ib, Ic.
.1	1.0815E5	65.769			3. Seis fasores do terminal remoto correspondente a Va, Vb, Vc, Ia, Ib, Ic.
0	93863	37.646			4. Cada conjunto de 12 medidas .
2	1.9599E5	-127.28			
1	331.89	48.071			
1	447.01	-131.06			
1	115.26	51.446			
.1	1.7187E5	73.521			
20	63436	-4.4764			
2	1.9519E5	-125.02			
1	8342.9	95.654			
1	8207.6	-84.196			
1	136.99	-93.352			Entra=[
.1	1.7521E5	77.742		222	115.24 -68.572
20	82925	-10.608		1	115.31 171.42
2	1.9599E5	-127.28		1	115.26 51.392
1	205.32	81.691			
1	310.37	-109.09			
1	115.26	51.446			
.1	1.998E5	90.884	31	1.0499E5	69.974
50	1.2181E5	-19.131	0	1.0065E5	34.701
2	1.9519E5	-125.02	2	1.9599E5	-127.28
1	5299.4	117.03	1	1871.2	60.506
1	5181.6	-62.206	1	1985.1	-120.02
1	136.99	-93.352	1	115.26	51.449
.1	2.0109E5	92.17	31	1.4656E5	103.91
50	1.3409E5	-19.606	0	1.4829E5	6.8164
2	1.9599E5	-127.28	2	1.9519E5	-125.02
1	79.871	116.83	1	2337.6	67.415
1	165.33	-102.5	1	2208.7	-113.76
1	115.26	51.446	1	136.99	-93.347
.1	2.039E5	101.53	31	1.3661E5	71.637
100	1.5789E5	-14.645	20	80106	19.161
2	1.9519E5	-125.02	2	1.9599E5	-127.28
1	3117	129.72	1	1726	73.829
1	3018.4	-48.503	1	1833.1	-107.54
1	136.99	-93.352	1	115.26	51.449
.1	2.0465E5	101.28	31	1.5872E5	101.74
100	1.6492E5	-15.744	20	1.4436E5	1.77
2	1.9599E5	-127.28	2	1.9519E5	-125.02
1	29.582	-145.52	1	2214.3	80.352
1	87.395	-122.89	1	2078.2	-100.06
1	115.26	51.446];	1	136.99	-93.347

31	1.6939E5	78.878	62	1.4264E5	78.059
50	86640	-6.8047	20	90687	10.416
2	1.9599E5	-127.28	2	1.9599E5	-127.28
1	1430.8	90.141	1	1279.7	74.979
1	1522.4	-92.572	1	1386.1	-106.92
1	115.26	51.449	1	115.26	51.451
31	1.7474E5	102.13	62	1.5633E5	99.174
50	1.4911E5	-4.2227	20	1.3703E5	2.3106
2	1.9519E5	-125.02	2	1.9519E5	-125.02
1	1913.6	96.009	1	3013.7	81.168
1	1778.6	-83.274	1	2877.3	-99.0930
1	136.99	-93.347	1	136.99	-93.346

31	1.9272E5	88.931	62	1.737E5	84.236
100	1.2083E5	-17.701	50	1.0266E5	-9.461
2	1.9599E5	-127.28	2	1.9599E5	-127.28
1	1014	107.51	1	1027.6	92.479
1	1082.6	-77.555	1	1117.1	-91.405
1	115.26	51.449	1	115.26	51.451
31	1.8848E5	105.07	62	1.754E5	100.35
100	1.6253E5	-7.8275	50	1.4408E5	-5.0492
2	1.9519E5	-125.02	2	1.9519E5	-125.02
1	1453.4	112.22	1	2536.9	97.709
1	1331.1	-65.239	1	2402.6	-81.665
1	136.99	-93.347	1	136.99	-93.346

31	2.0217E5	98.768	62	1.9421E5	93.042
200	1.5582E5	-16.346	100	1.3449E5	-16.408
2	1.9599E5	-127.28	2	1.9599E5	-127.28
1	574.62	124.53	1	696.9	110.51
1	618.09	-65.75	1	762.6	-76.939
1	115.26	51.449	1	115.26	51.451
31	1.9558E5	108.97	62	1.8993E5	104.24
200	1.7735E5	-8.1387	100	1.6054E5	-8.6826
2	1.9519E5	-125.02	2	1.9519E5	-125.02
1	944.83	126.64	1	1862.9	113.99
1	844.48	-47.377	1	1742.3	-63.937
1	136.99	-93.347	1	136.99	-93.346

62	1.1204E5	77.753	62	2.0163E5	101.38
0	1.057E5	26.077	200	1.6387E5	-14.749
2	1.9599E5	-127.28	2	1.9599E5	-127.28
1	1410.4	60.29	1	372.83	128.43
1	1524.4	-120.38	1	414.31	-67.298
1	115.26	51.451	1	115.26	51.451
62	1.4069E5	101.51	62	1.9645E5	108.65
0	1.4179E5	8.9247	200	1.7679E5	-8.548
2	1.9519E5	-125.02	2	1.9519E5	-125.02
1	3222.2	67.047	1	1171.6	127.81
1	3093.5	-113.8	1	1072.3	-47.368
1	136.99	-93.346	1	136.99	-93.346

93	1.1496E5	79.093	93	2.0204E5	104.01
0	1.0608E5	23.949	200	1.7233E5	-13.452
2	1.9599E5	-127.28	2	1.9599E5	-127.28
1	992.99	59.293	1	172.03	140.05
1	1107.3	-121.52	1	209.41	-73.338
1	115.26	51.449	1	115.26	51.449
93	1.2583E5	94.195	93	1.9836E5	108.29
0	1.2598E5	15.831	200	1.7655E5	-9.2851
2	1.9519E5	-125.02	2	1.9519E5	-125.02
1	4986.2	66.737	1	1427.2	131.29
1	4857.6	-113.81	1	1333.2	-44.574
1	136.99	-93.347	1	136.99	-93.347

93	1.519E5	80.193	124	1.0815E5	65.769
20	93045	3.862	0	93863	37.646
2	1.9599E5	-127.28	2	1.9599E5	-127.28
1	857.89	78.144	1	331.89	48.071
1	962.26	-104.94	1	447.01	-131.06
1	115.26	51.449	1	115.26	51.446
93	1.5336E5	92.243	124	98665	55.102
20	1.1819E5	3.2102	0	96524	54.865
2	1.9519E5	-125.02	2	1.9519E5	-125.02
1	4507.2	84.53	1	10582	66.396
1	4370.3	-95.537	1	10454	-113.86
1	136.99	-93.347	1	136.99	-93.352

93	1.8335E5	88.036	124	1.7521E5	77.742
50	1.1569E5	-13.646	20	82925	-10.608
2	1.9599E5	-127.28	2	1.9599E5	-127.28
1	625.95	98.731	1	205.32	81.691
1	709.22	-88.127	1	310.37	-109.09
1	115.26	51.449	1	115.26	51.446
93	1.7977E5	96.607	124	1.7187E5	73.521
50	1.3399E5	-8.029	20	63436	-4.4764
2	1.9519E5	-125.02	2	1.9519E5	-125.02
1	3532.2	103.31	1	8342.9	95.654
1	3401.2	-76.034	1	8207.6	-84.196
1	136.99	-93.347	1	136.99	-93.352

93	1.9874E5	96.891	124	2.0109E5	92.17
100	1.4843E5	-16.178	50	1.3409E5	-19.606
2	1.9599E5	-127.28	2	1.9599E5	-127.28
1	376.18	118.26	1	79.871	116.83
1	434.68	-75.849	1	165.33	-102.5
1	115.26	51.449	1	115.26	51.446
93	1.9414E5	102.9	124	1.998E5	90.884
100	1.5811E5	-10.71	50	1.2181E5	-19.131
2	1.9519E5	-125.02	2	1.9519E5	-125.02
1	2402	119.29	1	5299.4	117.03
1	2287.9	-58.863	1	5181.6	-62.206
1	136.99	-93.347	1	136.99	-93.352

124	2.0465E5	101.28
100	1.6492E5	-15.744
2	1.9599E5	-127.28
1	29.582	-145.52
1	87.395	-122.89
1	115.26	51.446
124	2.039E5	101.53
100	1.5789E5	-14.645
2	1.9519E5	-125.02
1	3117	129.72
1	3018.4	-48.503
1	136.99	-93.352];

```

%*****
%          rotina para simulacao dos algoritmos monofasicos a partir dos
%          fasores de tensao e corrente de um ou de dois terminais
%*****
%          Entrada de dados e parametros do sistema
%*****
Entrada=Entra; clear d;clear erro;
siz=size(Entrada);
n=siz(1,1);freq=60;w=2*pi*freq;len=124;lamb=0.001293;tet=(.2/16.6)*2*pi;ejteta=cos(tet)+sin(
tet)*i;
Entrada(:,3)=Entrada(:,3)*pi/180;
Y=[0.14412e-5i -0.20396e-6i -0.76555e-7i ;-0.20396e-6i 0.15011e-5i -0.19854e-6i;-0.76555e-7i -
0.19854e-6i 0.14572e-5i];
Z=[0.23861+0.85403i 0.14615+0.35788i 0.14417+0.30644i;0.14615+0.35788i 0.24861+0.84612i
0.14962+0.35463i;0.14417+0.30644i 0.14962+0.35463i 0.2457+0.84756i];
ZM=[0.13975+0.25338i 0.13856+0.23536i 0.13379+.22448i];
[vetq, valq]=eig(Z*Y);[vets, vals]=eig(Y*Z);
zwm=inv(valq)*inv(vets)*Z*vetq;
a=[1 1 1;1 -.5+.5*sqrt(3)*i -.5-.5*sqrt(3)*i;1 -.5-.5*sqrt(3)*i -.5+.5*sqrt(3)*i];
inva=inv(a);
ZS=inva*Z*a;lamb=0.001293;
quant=input('entre com a quantidade de dados dos terminais 1 ou 2 ');
if quant==1
    fim=(n-3)/6;
else fim=(n-3)/12;
end
kl=1:39;
erromed(kl)=0;
for k=1:fim
    ind=6*quant*(k-1);
    %coleta de dados do terminal local
    vasx=Entrada(4+ind,2)*cos(Entrada(4+ind,3));
    vasy=Entrada(4+ind,2)*sin(Entrada(4+ind,3));
    vbsx=Entrada(5+ind,2)*cos(Entrada(5+ind,3));
    vbpy=Entrada(5+ind,2)*sin(Entrada(5+ind,3));
    vcsx=Entrada(6+ind,2)*cos(Entrada(6+ind,3));
    vcsy=Entrada(6+ind,2)*sin(Entrada(6+ind,3));
    iasx=Entrada(7+ind,2)*cos(Entrada(7+ind,3));
    iasy=Entrada(7+ind,2)*sin(Entrada(7+ind,3));
    ibsx=Entrada(8+ind,2)*cos(Entrada(8+ind,3));
    ibpy=Entrada(8+ind,2)*sin(Entrada(8+ind,3));
    icsx=Entrada(9+ind,2)*cos(Entrada(9+ind,3));
    icsy=Entrada(9+ind,2)*sin(Entrada(9+ind,3));
    is=[iasx+iasy*i;ibsx+ibpy*i;icsx+icsy*i];
    vs=[vasx+vasy*i;vbsx+vbpy*i;vcsx+vcsy*i];
    isseq=a*is/3;vsseq=a*vs/3;
    iaspfx=iasx-Entrada(1,2)*cos(Entrada(1,3));
    iaspy=iasy-Entrada(1,2)*sin(Entrada(1,3));
    iaspy=i;
    %*****
    %algoritmo Va lapos Xa - Takagi simplificado
    %*****
    qsa=imag(vs(1)*conj(is(1)));qsapf=imag(vs(1)*conj(iaspy));
    d(k,1)=(imag(vs(1)*conj(iaspy)))/imag(Z(1,1)*is(1)*conj(iaspy));
    %*****
    %algoritmo Takagi
    %*****

```

```

vsla=Z*is;
d(k,2)=(imag(vs(1)*conj(iaspf)))/imag(vsla(1)*conj(iaspf));
%*****
%algoritmo Takagi corrigido
%*****
d(k,3)=d(k,2)-(d(k,2)^3*lamb^2)/3;
%*****
%algoritmo de wiskniwesky
%*****
iawis=is(1)+((ZS(1,1)-ZS(3,3))/ZS(3,3))*isseq(1);
xa=imag(vs(1)/iawis);ra=real(vs(1)/iawis);
tfil=imag(ZS(3,3))/real(ZS(3,3));tfil0=imag(ZS(1,1))/real(ZS(1,1));fxt=0;
zpar1=(0.0327+0.1696i)*63;zpar0=(0.1253+0.4156i)*63;zab1=(0.098+0.520i)*len;zab0=(0.5116+
1.5342i)*len;
zla1=xa*(1/tfil+1);zlb1=(0.098+0.510i)*len-zla1;dexp=xa/imag(ZS(3,3));
zla0=(0.5319+1.541i)*dexp;zlb0=(0.5319+1.541i)*len-zla0;
switch Entrada(1,1)
case {111}
zsb1=2.2467+18.2716i;zsb0=1.0072+11.7005i;ztrafo=25.97i;
zsa1=0.4059+5.8048i+zpar1;zsa0f=0.8369+5.1162i+zpar0;zsa0=(zsa0f*ztrafo)/(zsa0f+ztrafo);
tet=0.0629;ejteta=cos(tet)+sin(tet)*i;
case {112}
zsa1=2.2467+18.2716i;zsa0=1.0072+11.7005i;ztrafo=25.97i;
zsb1=0.4059+5.8048i+zpar1;zsb0f=0.8369+5.1162i+zpar0;zsb0=(zsb0f*ztrafo)/(zsb0f+ztrafo);
tet=0.0421;ejteta=cos(tet)+sin(tet)*i;
case {110}
tet=0;ejteta=1;fxt=14;
case {122}

zsa1=22.467+182.716i;zsa0=8.369+51.162i;zsb1=0.4059+5.8048i+zpar1;zsb0=0.8369+5.1162i+zp
ar0;
fatk1(k)=((zlb1+zsb1)*zab1+(zsa1+zsb1)*zlb1)/((zsa1+zsb1+zla1+zlb1)*zab1+(zla1+zlb1)*(zsa1
+zsb1));
tet=-0.0133;ejteta=cos(tet)+sin(tet)*i;
case {121}

zsb1=22.467+182.716i;zsb0=8.369+51.162i;zsa1=0.4059+5.8048i+zpar1;zsa0=0.8369+5.1162i+zp
ar0;
fatk1(k)=((zlb1+zsb1)*zab1+(zsa1+zsb1)*zlb1)/((zsa1+zsb1+zla1+zlb1)*zab1+(zla1+zlb1)*(zsa1
+zsb1));
tet=0.0128;ejteta=cos(tet)+sin(tet)*i;
case {120}

zsb1=22.467+182.716i;zsb0=8.369+51.162i;zsa1=0.4059+5.8048i+zpar1;zsa0=0.8369+5.1162i+zp
ar0;
fatk1(k)=1;
tet=0;ejteta=1;fxt=6;
end
fatb=imag(iaspf/(iawis*ejteta));
fata=real(iaspf/(iawis*ejteta));
xla=xa-(ra*tfil-xa)/((fata/fatb)*tfil-1);
d(k,36)=xla/imag(ZS(3,3));
dwi(k,1)=d(k,36);
for nn=2:14-fxt
zla1=xla*(1/tfil+1);zlb1=(0.098+0.510i)*len-zla1;dexp=xla/imag(ZS(3,3));
zla0=(0.5319+1.541i)*dexp;zlb0=(0.5319+1.541i)*len-zla0;

```

```

fatk1(k)=((zlb1+zsb1)*zab1+(zsa1+zsb1)*zlb1)/((zsa1+zsb1+zla1+zlb1)*zab1+(zla1+zlb1)*(zsa
1+zsb1));
fatk0(k)=((zlb0+zsb0)*zab0+(zsa0+zsb0)*zlb0)/((zsa0+zsb0+zla0+zlb0)*zab0+(zla0+zlb0)*(zsa
0+zsb0));
fatk(k)=(2*fatk1(k)+fatk0(k))/3;
tet=angle(fatk(k));ejteta=cos(tet)+sin(tet)*i;
fatb=imag(iaspf/(iawis*ejteta));
fata=real(iaspf/(iawis*ejteta));
xla=xa-(ra*tfil-xa)/((fata/fatb)*tfil-1);
d(k,36)=xla/imag(ZS(3,3));
dwi(k,nn)=xla/imag(ZS(3,3));
end
%*****
%algoritmos Simplificados
%*****
%algoritmo Reason Variante A1
xeq=imag((ZS(1,1)+2*ZS(3,3)))/3;
d(k,4)=qsa/(xeq*abs(is(1))^2);
%algoritmo Reason Variante A2
xeq=(imag(ZS(3,3))*(abs(is(1))-abs(isseq(1)))+imag(ZS(1,1))*abs(isseq(1)))/abs(is(1));
d(k,5)=qsa/(xeq*abs(is(1))^2);
%algoritmo Reason Variante A3
xeq=2*imag(ZS(3,3))* ( abs(is(1)) - abs(isseq(1)) )/2 )^2+
imag(ZS(1,1))*abs(isseq(1))*abs(is(1));
d(k,6)=qsa/xeq;
%algoritmo Reason Variante A4
xeq=imag(ZS(3,3))* ( abs(is(1)) - abs(isseq(1)) ) ^2;
d(k,7)=qsa/xeq;
%algoritmo Reason Variante A5
xeq=imag((ZS(1,1)+2*ZS(3,3)))/3;
d(k,8)=qsapf/(xeq*abs(iaspf)^2);
%algoritmo Reason Variante A6
xeq=(imag(ZS(3,3))*(abs(iaspf)-abs(isseq(1)))+imag(ZS(1,1))*abs(isseq(1)))/abs(iaspf);
d(k,9)=qsapf/(xeq*abs(iaspf)^2);
%algoritmo Reason Variante A7
xeq=2*imag(ZS(3,3))* ( abs(iaspf) - abs(isseq(1)) )/2 )^2+
imag(ZS(1,1))*abs(isseq(1))*abs(iaspf);
d(k,10)=qsapf/xeq;
%algoritmo Reason Variante A8
xeq=imag(ZS(3,3))* ( abs(iaspf) - abs(isseq(1)) ) ^2;
d(k,11)=qsapf/xeq;
%algoritmo combinado A5 com Va lapos Xa
d(k,12)=(d(k,1)+d(k,8))/2;
%algoritmo combinado A6 com Va lapos Xa
d(k,13)=(d(k,1)+d(k,9))/2;
%algoritmo tradicional da impedância vista pelos reles
ksrele=(ZS(1,1)-ZS(3,3))/(3*ZS(3,3));
zx1=vs(1)/(is(1)+3*ksrele*isseq(1));
d(k,14)=imag(zx1)/imag(Z(1,1));
%*****
%algoritmos com dados de dois terminais
%*****
if quant==2
%coleta de dados do terminal remoto
varx=Entrada(10+ind,2)*cos(Entrada(10+ind,3));
vary=Entrada(10+ind,2)*sin(Entrada(10+ind,3));
vbrx=Entrada(11+ind,2)*cos(Entrada(11+ind,3));

```

```

vbry=Entrada(11+ind,2)*sin(Entrada(11+ind,3));
vcrx=Entrada(12+ind,2)*cos(Entrada(12+ind,3));
vcry=Entrada(12+ind,2)*sin(Entrada(12+ind,3));
iarx=Entrada(13+ind,2)*cos(Entrada(13+ind,3));
iary=Entrada(13+ind,2)*sin(Entrada(13+ind,3));
ibrx=Entrada(14+ind,2)*cos(Entrada(14+ind,3));
ibry=Entrada(14+ind,2)*sin(Entrada(14+ind,3));
icrx=Entrada(15+ind,2)*cos(Entrada(15+ind,3));
icry=Entrada(15+ind,2)*sin(Entrada(15+ind,3));
ir=[iarx+iary*i;ibrx+ibry*i;icrx+icry*i];
vr=[varx+vary*i;vbrx+vbry*i;vcrx+vcry*i];
irseq=a*ir/3;vrseq=a*vr/3;vrla=Z*ir;
%*****
%algoritmo dois terminais seq zero , positiva e negativa, EMQ, fase
%*****
MSLB=[imag(vsseq(1)-vrseq(1)+ZS(1,1)*irseq(1)*len);real(vsseq(1)-
vrseq(1)+ZS(1,1)*irseq(1)*len);imag(vsseq(2)-vrseq(2)+ZS(2,2)*irseq(2)*len);real(vsseq(2)-
vrseq(2)+ZS(2,2)*irseq(2)*len);imag(vsseq(3)-vrseq(3)+ZS(3,3)*irseq(3)*len);real(vsseq(3)-
vrseq(3)+ZS(3,3)*irseq(3)*len)];
MSLA=[imag(ZS(1,1)*(isseq(1)+irseq(1)));real(ZS(1,1)*(isseq(1)+irseq(1)));imag(ZS(2,2)*(isseq
(2)+irseq(2)));real(ZS(2,2)*(isseq(2)+irseq(2)));imag(ZS(3,3)*(isseq(3)+irseq(3)));real(ZS(3,3)*(i
sseq(3)+irseq(3)))];
d(k,15)=MSLB(1)/MSLA(1);
d(k,16)=MSLB(2)/MSLA(2);
d(k,17)=MSLB(3)/MSLA(3);
d(k,18)=MSLB(4)/MSLA(4);
d(k,19)=MSLB(5)/MSLA(5);
d(k,20)=MSLB(6)/MSLA(6);
d(k,21)=(MSLA*MSLB)/(MSLA*MSLA);%critério erro mínimo quadrático
%algoritmo dois terminais com tensão e corrente de fase
d(k,22)=(imag(vs(1)-vr(1)+vrla(1)*len)/imag(vsla(1)+vrla(1)));
d(k,23)=(real(vs(1)-vr(1)+vrla(1)*len)/real(vsla(1)+vrla(1)));
%*****
%algoritmo com grandezas modais
%*****
vsmod=inv(vets)*vs; vrmod=inv(vets)*vr;
ismod=inv(vetq)*is; irmod=inv(vetq)*ir;
a1=zwm(1,1)*(irmod(1)*cosh(valq(1,1)*len)+ismod(1))-vrmod(1)*sinh(valq(1,1)*len);
b1=vrmod(1)*cosh(valq(1,1)*len)-zwm(1,1)*irmod(1)*sinh(valq(1,1)*len)-vsmod(1);
a2=zwm(2,2)*(irmod(2)*cosh(valq(2,2)*len)+ismod(2))-vrmod(2)*sinh(valq(2,2)*len);
b2=vrmod(2)*cosh(valq(2,2)*len)-zwm(2,2)*irmod(2)*sinh(valq(2,2)*len)-vsmod(2);
a3=zwm(3,3)*(irmod(3)*cosh(valq(3,3)*len)+ismod(3))-vrmod(3)*sinh(valq(3,3)*len);
b3=vrmod(3)*cosh(valq(3,3)*len)-zwm(3,3)*irmod(3)*sinh(valq(3,3)*len)-vsmod(3);
modb=[abs(atanh(b1/a1));abs(atanh(b2/a2));abs(atanh(b3/a3))];
moda=[abs(valq(1,1));abs(valq(2,2));abs(valq(3,3))];
d(k,33)=modb(1)/moda(1);
d(k,34)=modb(2)/moda(2);
d(k,35)=modb(3)/moda(3);
d(k,37)=(moda*modb)/(moda*moda);%critério erro mínimo quadrático
%*****
%algoritmo dois terminais seq zero , positiva e negativa, EMQ, fase, com amostras
assincronas
%*****
%sequência zero
clinha=vrseq(1)-len*ZS(1,1)*irseq(1);ka=(abs(ZS(1,1)*irseq(1)))^2-(abs(ZS(1,1)*isseq(1)))^2;
kb=2*(real(clinha)*real(ZS(1,1)*irseq(1))+imag(clinha)*imag(ZS(1,1)*irseq(1))+real(vsseq(1))*r
eal(ZS(1,1)*isseq(1))+imag(vsseq(1))*imag(ZS(1,1)*isseq(1)));

```

```

kc=(abs(clinha))^2-(abs(vsseq(1)))^2;
mskb(1)=-kb-(kb^2-4*ka*kc)^0.5;mska(1)=2*ka;
d(k,24)=(-kb+(kb^2-4*ka*kc)^0.5)/(2*ka);d(k,25)=mskb(1)/mska(1);teste(k,1)=ka;
%sequência positiva
clinha=vrseq(2)-len*ZS(2,2)*irseq(2);ka=(abs(ZS(2,2)*irseq(2)))^2-(abs(ZS(2,2)*isseq(2)))^2;
kb=2*(real(clinha)*real(ZS(2,2)*irseq(2))+imag(clinha)*imag(ZS(2,2)*irseq(2))+real(vsseq(2))*r
eal(ZS(2,2)*isseq(2))+imag(vsseq(2))*imag(ZS(2,2)*isseq(2)));
kc=(abs(clinha))^2-(abs(vsseq(2)))^2;
d(k,26)=(-kb+abs((kb^2-4*ka*kc)^0.5))/(2*ka);d(k,27)=(-kb-abs((kb^2-
4*ka*kc)^0.5))/(2*ka);teste(k,2)=ka;
%sequência negativa
clinha=vrseq(3)-len*ZS(3,3)*irseq(3);ka=(abs(ZS(3,3)*irseq(3)))^2-(abs(ZS(3,3)*isseq(3)))^2;

kb=2*(real(clinha)*real(ZS(3,3)*irseq(3))+imag(clinha)*imag(ZS(3,3)*irseq(3))+real(vsseq(3))*r
eal(ZS(3,3)*isseq(3))+imag(vsseq(3))*imag(ZS(3,3)*isseq(3)));
kc=(abs(clinha))^2-(abs(vsseq(3)))^2;
mskb(2)=-kb-(kb^2-4*ka*kc)^0.5;mska(2)=2*ka;
d(k,28)=(-kb+(kb^2-4*ka*kc)^0.5)/(2*ka);d(k,29)=mskb(2)/mska(2);teste(k,3)=ka;
d(k,38)=(mska*mskb)/(mska*mska');%critério erro mínimo quadrático
%fase A
clinha=vr(1)-len*vrla(1);ka=(abs(vrla(1)))^2-(abs(vsla(1)))^2;
kb=2*(real(clinha)*real(vrla(1))+imag(clinha)*imag(vrla(1))+real(vs(1))*real(vsla(1))+imag(vs
(1))*imag(vsla(1)));
kc=(abs(clinha))^2-(abs(vs(1)))^2;
d(k,30)=abs((-kb+(kb^2-4*ka*kc)^0.5)/(2*ka));d(k,31)=abs((-kb-(kb^2-
4*ka*kc)^0.5)/(2*ka));
vf(k,1)=vs(1)-d(k,30)*vsla(1);vf(k,3)=vs(1)-d(k,31)*vsla(1);
vf(k,2)=vr(1)-(len-d(k,30))*vrla(1);vf(k,4)=vr(1)-(len-d(k,31))*vrla(1);
%*****
%algoritmo de sachdev com amostras assíncronas dos dois terminais
%*****
zy1=vr(1)/(ir(1)+3*ksrele*irseq(1));
a1=real(zx1+zy1-ZS(3,3)*len);b1=imag(zx1+zy1-ZS(3,3)*len);
p1=irseq(1)/isseq(1);

ux1=real((3*isseq(1))/(is(1)+3*ksrele*isseq(1)));vx1=imag((3*isseq(1))/(is(1)+3*ksrele*isseq(1)));

uy1=real((3*irseq(1))/(ir(1)+3*ksrele*irseq(1)));vy1=imag((3*irseq(1))/(ir(1)+3*ksrele*irseq(1)));
c1=(a1*(ux1*abs(p1)-uy1/abs(p1))+b1*(vx1*abs(p1)-vy1/abs(p1)))/(b1*(ux1+uy1)-
a1*(vx1+vy1));
d1=(b1*(ux1*abs(p1)+uy1/abs(p1))-a1*(vx1*abs(p1)+vy1/abs(p1)))/(b1*(ux1+uy1)-
a1*(vx1+vy1));
cost11=(-d1+c1*sqrt(c1^2+d1^2-1))/(c1^2+d1^2);cost12=(-d1-c1*sqrt(c1^2+d1^2-
1))/(c1^2+d1^2);
coss(k,1)=cost11;coss(k,2)=cost12;coss(k,3)=(angle(p1))*180/pi;
if cost11<0
    cost11=cost12;
end
sent11=(1+d1*cost11)/c1;coss(k,4)=sent11;coss(k,5)=cost11^2+sent11^2;
rf1=a1/(ux1+uy1+(ux1*abs(p1)+uy1/abs(p1))*cost11-(vx1*abs(p1)-vy1/abs(p1))*sent11);
z1xf1=zx1-rf1*((1+abs(p1)*cost11)*ux1-
abs(p1)*sent11*vx1+1i*((1+abs(p1)*cost11)*vx1+abs(p1)*sent11*ux1));
z1yf1=zy1-rf1*((1+cost11/abs(p1))*uy1+sent11*vy1/abs(p1)+1i*((1+cost11/abs(p1))*vy1-
sent11*uy1/abs(p1)));
d(k,32)=imag(z1xf1)/imag(ZS(3,3));
d(k,39)=imag(z1yf1)/imag(ZS(3,3));
end

```

```

%*****
%Calculo do erro
%*****
sized=size(d);
for j=1:sized(2)
    if Entrada(4+ind,1)==0.1
        erro(k,j)=(d(k,j)-Entrada(4+ind,1))*5;
    else
        erro(k,j)=(d(k,j)-Entrada(4+ind,1))/(Entrada(4+ind,1))*100;
    end
    errox=abs(erro(k,j));
    erromed(j)=erromed(j)+errox;
    if abs(erro(k,j))>40
        erro(k,j)=sign(erro(k,j))*40;
    end
end
end
erromed=erromed/sized(1);
%*****
%armazenamento dos dados para processamentos e plotagem
%*****
switch Entrada(1,1)
case {111}
    ert1tac=erro;
    ermt1tac=erromed;
case {112}
    ert1cgd=erro;
    ermt1cgd=erromed;
case {110}
    ert0tac=erro;
    ermt0tac=erromed;
case {122}
    ercwcgd=erro;
    ermcwcgd=erromed;
case {121}
    ercwtac=erro;
    ermcwtac=erromed;
case {120}
    erc0cgd=erro;
    ermc0cgd=erromed;
end
%*****
%Saida de dados
%*****
figure (1)
subplot(4,2,1)
bar(erro(1,:))
ylabel('erro %')
xlabel('todos algoritimos para um ponto de defeito')
grid on
title('
                                                Algoritmos para localização
de faltas com dados de um terminal')
subplot(4,2,2)
bar(erro(:,1))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritimo Va, Iacor, Xa - takagi simplificado')
grid on

```



```
subplot(4,2,3)
bar(erro(:,2))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritimo de takagi')
grid on
subplot(4,2,4)
bar(erro(:,3))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritimo de takagi corrigido')
grid on
subplot(4,2,5)
bar(erro(:,4))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritimo Reason A1 ')
grid on
subplot(4,2,6)
bar(erro(:,8))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritimo Reason A5 ')
grid on
subplot(4,2,7)
bar(erro(:,5))
ylabel('erro %')
xlabel('algoritimos Reason A2')
grid on
subplot(4,2,8)
bar(erro(:,9))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritimo Reason A6')
grid on
%figura 2
figure (2)
subplot(4,2,1)
bar(erro(:,6))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritimo Reason A3')
title('
de faltas com dados de um terminal')
grid on
subplot(4,2,2)
bar(erro(:,10))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritimo Reason A7')
grid on
subplot(4,2,3)
bar(erro(:,7))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritimo Reason A4')
grid on
subplot(4,2,4)
bar(erro(:,11))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritimo Reason A8')
grid on
subplot(4,2,7)
bar(erro(:,14))
ylabel('Erro %')
```

Algoritmos para localização

```
xlabel('algoritmo tradicional da impedância vista pelos reles')
grid on
%subplot(4,2,8)
%bar(erro(:,23))
%ylabel('Erro %')
%xlabel('algoritmo Reason A8')
%grid on
%figura 3
if quant==2
figure (3)
subplot(4,2,1)
bar(erro(:,17))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritmo com tensões e correntes de sequência positiva imag ')
title('
Algoritmos para localização
de faltas com dados de dois terminais')
grid on
subplot(4,2,2)
bar(erro(:,18))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritmo com tensões e correntes de sequência positiva real ')
grid on
subplot(4,2,3)
bar(erro(:,19))
ylabel('erro %')
xlabel('algoritmo com tensões e correntes de sequência negativa imag')
grid on
subplot(4,2,4)
bar(erro(:,20))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritmo com tensões e correntes de sequência negativa real')
grid on
subplot(4,2,5)
bar(erro(:,15))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritmo com tensões e correntes de sequência zero imag')
grid on
subplot(4,2,6)
bar(erro(:,16))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritmo com tensões e correntes de sequência zero real')
grid on
subplot(4,2,7)
bar(erro(:,22))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritmo com tensões e correntes de fase com mútuas consideradas imag')
grid on
subplot(4,2,8)
bar(erro(:,23))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritmo com tensões e correntes de fase com mútuas consideradas real')
grid on
%figura 4
figure (4)
subplot(4,2,1)
bar(erro(:,21))
ylabel('Erro %')
```

```
xlabel('algoritmo com valor médio dos algoritmos de sequência ')
title('
Algoritmos para localização
de faltas com dados de dois terminais')
grid on
subplot(4,2,2)
bar(erro(:,32))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritmo dois terminais com amostras assincronas de Sachdev')
grid on
subplot(4,2,3)
bar(erro(:,24))
ylabel('erro %')
xlabel('algoritmo dois terminais com amostras assincronas seq zero raiz 1')
grid on
subplot(4,2,4)
bar(erro(:,25))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritmo dois terminais com amostras assincronas seq zero raiz 2')
grid on
subplot(4,2,5)
bar(erro(:,26))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritmo dois terminais com amostras assincronas seq positiva raiz 1')
grid on
subplot(4,2,6)
bar(erro(:,27))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritmo dois terminais com amostras assincronas seq positiva raiz 2')
grid on
subplot(4,2,7)
bar(erro(:,28))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritmo dois terminais com amostras assincronas seq negativa raiz 1')
grid on
subplot(4,2,8)
bar(erro(:,29))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritmo dois terminais com amostras assincronas seq negativa raiz 2')
grid on
%figura 5
figure (5)
subplot(3,2,1)
bar(erro(:,30))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritmo dois terminais com amostras assincronas de fase raiz 1')
title('
Algoritmos para localização
de faltas com dados de dois terminais')
grid on
subplot(3,2,2)
bar(erro(:,31))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritmo dois terminais com amostras assincronas de fase raiz 2')
grid on
subplot(3,2,3)
bar(erro(:,33))
ylabel('erro %')
xlabel('algoritmo dois terminais com amostras sincronizadas modo 1')
```

```
grid on
subplot(3,2,4)
bar(erro(:,34))
ylabel('Erro %')
xlabel('algoritimo dois terminais com amostras sincronizadas modo 2')
grid on
subplot(3,2,5)
bar(erro(:,35))
ylabel('erro %')
xlabel('algoritimo dois terminais com amostras sincronizadas modo 3')
grid on
end
```

```

%*****
%          rotina para simulacao dos algoritmos bifasicos a partir dos
%          fasores de tensao e corrente de um ou de dois terminais
%*****
%          Entrada de dados e parametros do sistema
%*****
Entrada=Entra; clear d;clear erro;
siz=size(Entrada);
n=siz(1,1);freq=60;w=2*pi*freq;len=124;lamb=0.001293;
Entrada(:,3)=Entrada(:,3)*pi/180;
Y=[0.14412e-5i -0.20396e-6i -0.76555e-7i ;-0.20396e-6i 0.15011e-5i -0.19854e-6i;-0.76555e-7i -
0.19854e-6i 0.14572e-5i];
Z=[0.23861+0.85403i 0.14615+0.35788i 0.14417+0.30644i;0.14615+0.35788i 0.24861+0.84612i
0.14962+0.35463i;0.14417+0.30644i 0.14962+0.35463i 0.2457+0.84756i];
ZM=[0.13975+0.25338i 0.13856+0.23536i 0.13379+.22448i];
[vetq, valq]=eig(Z*Y);[vets, vals]=eig(Y*Z);
zwm=inv(valq)*inv(vets)*Z*vetq;
a=[1 1 1;1 -.5+.5*sqrt(3)*i -.5-.5*sqrt(3)*i;1 -.5-.5*sqrt(3)*i -.5+.5*sqrt(3)*i];
inva=inv(a);
ZS=inva*Z*a;lamb=0.001293;quant=input('entre com a quantidade de dados dos terminais
1 ou 2 ');
if quant==1
    fim=(n-3)/6;
else fim=(n-3)/12;
end
kl=1:39;
erromed(kl)=0;
for k=1:fim
    %coleta de dados do terminal local
    ind=6*quant*(k-1);
    vasx=Entrada(4+ind,2)*cos(Entrada(4+ind,3));
    vasy=Entrada(4+ind,2)*sin(Entrada(4+ind,3));
    vbsx=Entrada(5+ind,2)*cos(Entrada(5+ind,3));
    vbsy=Entrada(5+ind,2)*sin(Entrada(5+ind,3));
    vcsx=Entrada(6+ind,2)*cos(Entrada(6+ind,3));
    vcsy=Entrada(6+ind,2)*sin(Entrada(6+ind,3));
    iasx=Entrada(7+ind,2)*cos(Entrada(7+ind,3));
    iasy=Entrada(7+ind,2)*sin(Entrada(7+ind,3));
    ibsx=Entrada(8+ind,2)*cos(Entrada(8+ind,3));
    ibsy=Entrada(8+ind,2)*sin(Entrada(8+ind,3));
    icsx=Entrada(9+ind,2)*cos(Entrada(9+ind,3));
    icsy=Entrada(9+ind,2)*sin(Entrada(9+ind,3));
    is=[iasx+iasy*i;ibsx+ibsy*i;icsx+icsy*i];
    isf=[is(1)-is(2);is(2)-is(3);is(3)-is(1)];
    vs=[vasx+vasy*i;vbsx+vbsy*i;vcsx+vcsy*i];
    vsf=[vs(1)-vs(2);vs(2)-vs(3);vs(3)-vs(1)];
    isseq=a*is/3;vsseq=a*vs/3;
    iaspx=iasx-Entrada(1,2)*cos(Entrada(1,3));
    iaspy=iasy-Entrada(1,2)*sin(Entrada(1,3));
    iaspf=iaspx+iaspy*i;
    ibspx=ibsx-Entrada(2,2)*cos(Entrada(2,3));
    ibspy=ibsy-Entrada(2,2)*sin(Entrada(2,3));
    ibspf=ibspx+ibspy*i;
    iabspf=iaspf-ibspf;
    qsa=imag(vsf(1)*conj(is(1)));qsapf=imag(vsf(1)*conj(iaspf));
%*****
%algoritmo Va lapos Xa - Takagi simplificado

```

```

%*****
d(k,1)=(imag(vsf(1)*conj(iaspf)))/(imag(Z(1,1)*isf(1)*conj(iaspf)));
%*****
%algoritmo Takagi
%*****
ZAB=[Z(1,1)-Z(1,2) -(Z(2,2)-Z(1,2)) Z(3,1)-Z(3,2)];vslab=ZAB*is;
d(k,2)=(imag(vsf(1)*conj(iabspf)))/imag(vslab*conj(iabspf));
%*****
%algoritmo Takagi corrigido
%*****
d(k,3)=d(k,2)-(d(k,2)^3*lamb^2)/3;
%*****
%algoritmo de wiskniwesky
%*****
tfil=imag(ZS(3,3))/real(ZS(3,3));fxt=0;
xa=imag(vsf(1)/isf(1));ra=real(vsf(1)/isf(1));
zpar1=(0.0327+0.1696i)*63;zpar0=(0.1253+0.4156i)*63;zab1=(0.098+0.520i)*len;
zla1=xa*(1/tfil+1i);zlb1=(0.098+0.510i)*len-zla1;
switch Entrada(1,1)
case {211}

zsb1=2.2467+18.2716i;zsb0=1.0072+11.7005i;zsa1=0.4059+5.8048i+zpar1;zsa0=0.8369+5.1162i+zpar0;

fatk1(k)=((zlb1+zsb1)*zab1+(zsa1+zsb1)*zlb1)/((zsa1+zsb1+zla1+zlb1)*zab1+(zla1+zlb1)*(zsa1+zsb1));
tet=0.0398;ejteta=cos(tet)+sin(tet)*i;
case {212}

zsa1=2.2467+18.2716i;zsa0=1.0072+11.7005i;zsb1=0.4059+5.8048i+zpar1;zsb0=0.8369+5.1162i+zpar0;

fatk1(k)=((zlb1+zsb1)*zab1+(zsa1+zsb1)*zlb1)/((zsa1+zsb1+zla1+zlb1)*zab1+(zla1+zlb1)*(zsa1+zsb1));
tet=0.0137;ejteta=cos(tet)+sin(tet)*i;
case {210}

zsb1=2.2467+18.2716i;zsb0=1.0072+11.7005i;zsa1=0.4059+5.8048i+zpar1;zsa0=0.8369+5.1162i+zpar0;
fatk1(k)=1;
tet=0;ejteta=1;fxt=6;
case {222}

zsa1=22.467+182.716i;zsa0=8.369+51.162i;zsb1=0.4059+5.8048i+zpar1;zsb0=0.8369+5.1162i+zpar0;

fatk1(k)=((zlb1+zsb1)*zab1+(zsa1+zsb1)*zlb1)/((zsa1+zsb1+zla1+zlb1)*zab1+(zla1+zlb1)*(zsa1+zsb1));
tet=-0.0133;ejteta=cos(tet)+sin(tet)*i;
case {221}

zsb1=22.467+182.716i;zsb0=8.369+51.162i;zsa1=0.4059+5.8048i+zpar1;zsa0=0.8369+5.1162i+zpar0;

fatk1(k)=((zlb1+zsb1)*zab1+(zsa1+zsb1)*zlb1)/((zsa1+zsb1+zla1+zlb1)*zab1+(zla1+zlb1)*(zsa1+zsb1));
tet=0.0128;ejteta=cos(tet)+sin(tet)*i;

```

```

case {220}

zsb1=22.467+182.716i;zsb0=8.369+51.162i;zsa1=0.4059+5.8048i+zpar1;zsa0=0.8369+5.1162i+zpar0;
fatk1(k)=1;
tet=0;ejteta=1;fxt=6;
end
fatb=imag(iabspf/(isf(1)*ejteta));
fata=real(iabspf/(isf(1)*ejteta));
xla=xa-(ra*tfil-xa)/((fata/fatb)*tfil-1);
d(k,36)=xla/imag(ZS(3,3));
dwi(k,1)=d(k,36);
for nn=2:6-fxt
zla1=xla*(1/tfil+1i);zlb1=(0.098+0.510i)*len-zla1;

fatk1(k)=((zlb1+zsb1)*zab1+(zsa1+zsb1)*zlb1)/((zsa1+zsb1+zla1+zlb1)*zab1+(zla1+zlb1)*(zsa1+zsb1));
tet=angle(fatk1(k));ejteta=cos(tet)+sin(tet)*i;
fatb=imag(iabspf/(isf(1)*ejteta));
fata=real(iabspf/(isf(1)*ejteta));
xla=xa-(ra*tfil-xa)/((fata/fatb)*tfil-1);
d(k,36)=xla/imag(ZS(3,3));
dwi(k,nn)=xla/imag(ZS(3,3));
end
%*****
%algoritmos Simplificados
%*****
%algoritmo Reason Variante B1
xeq1=imag(2*ZS(3,3));
d(k,4)=qsa/(xeq1*abs(is(1))^2);%modificado o denominador com supressão do fator 2
%algoritmo Reason Variante B2 = B2 reason modificado
xeq2=(imag(ZS(3,3))*(abs(is(1))-abs(isseq(1)))+imag(ZS(1,1))*abs(isseq(1)))/abs(is(1));
d(k,5)=qsa/( xeq2*( ( abs(is(1)) )^2+(abs(is(2)))^2 ) );
%algoritmo Reason Variante B3 = B2 reason
qsa=imag(vsf(1)*(conj(isf(1))/2));
d(k,6)=qsa/( xeq2*( ( abs(is(1)) )^2+(abs(is(2)))^2 ) );
%algoritmo Reason Variante B4 = B3 reason
qsab=sqrt((imag(vs(1)*conj(is(1))))^2+(imag(vs(2)*conj(is(2))))^2);
xeq3=imag(ZS(1,1))*abs(isseq(1))^2 + 6*imag(ZS(3,3))*(( abs(is(1)) - abs(isseq(1)))/2 ) ^2
+ ((abs(is(2)) - abs(isseq(1)))/2 ) ^2);
d(k,7)=qsab/xeq3;
%algoritmo Reason Variante B5
d(k,8)=qsapf/(xeq1*abs(iaspf)^2);
%algoritmo Reason Variante B6
xeq2=(imag(ZS(3,3))*(abs(iaspf)-abs(isseq(1)))+imag(ZS(1,1))*abs(isseq(1)))/abs(iaspf);
d(k,9)=qsapf/( xeq2*( ( abs(iaspf) )^2+(abs(ibspf))^2 ) );
%algoritmo Reason Variante B7
qsapf=imag(vsf(1)*(conj(iabspf)/2));
d(k,10)=qsapf/( xeq2*( ( abs(iaspf) )^2+(abs(ibspf))^2 ) );
%algoritmo Reason Variante B8
qsab=sqrt((imag(vs(1)*conj(iaspf)))^2+(imag(vs(2)*conj(ibspf)))^2);
xeq3=imag(ZS(1,1))*abs(isseq(1))^2 + 6*imag(ZS(3,3))*(( abs(iaspf) - abs(isseq(1)))/2 ) ^2
+ ((abs(ibspf) - abs(isseq(1)))/2 ) ^2);
d(k,11)=qsab/xeq3;
%algoritmo combinado B5 com Takagi simplificado
d(k,12)=(d(k,1)+d(k,8))/2;
%algoritmo combinado B6 com Takagi simplificado

```

```

d(k,13)=(d(k,1)+d(k,9))/2;
%algoritmo tradicional da impedância vista pelos reles
zx1=vsf(1)/(isf(1));
d(k,14)=2*imag(zx1)/imag(Z(1,1));
if quant==2 %entrada de dados do segundo terminal
varx=Entrada(10+ind,2)*cos(Entrada(10+ind,3));
vary=Entrada(10+ind,2)*sin(Entrada(10+ind,3));
vbrx=Entrada(11+ind,2)*cos(Entrada(11+ind,3));
vbry=Entrada(11+ind,2)*sin(Entrada(11+ind,3));
vcrx=Entrada(12+ind,2)*cos(Entrada(12+ind,3));
vcry=Entrada(12+ind,2)*sin(Entrada(12+ind,3));
iarx=Entrada(13+ind,2)*cos(Entrada(13+ind,3));
iary=Entrada(13+ind,2)*sin(Entrada(13+ind,3));
ibrx=Entrada(14+ind,2)*cos(Entrada(14+ind,3));
ibry=Entrada(14+ind,2)*sin(Entrada(14+ind,3));
icrx=Entrada(15+ind,2)*cos(Entrada(15+ind,3));
icry=Entrada(15+ind,2)*sin(Entrada(15+ind,3));
ir=[iarx+iary*i;ibrx+ibry*i;icrx+icry*i];
irf=[ir(1)-ir(2);ir(2)-ir(3);ir(3)-ir(1)];
vr=[varx+vary*i;vbrx+vbry*i;vcrx+vcry*i];
vrf=[vr(1)-vr(2);vr(2)-vr(3);vr(3)-vr(1)];
irseq=a*ir/3;vrseq=a*vr/3;vrlab=ZAB*ir;
%*****
%algoritmo dois terminais seq zero , positiva e negativa, EMQ, fase
%*****
MSLB=[imag(vsseq(1)-vrseq(1)+ZS(1,1)*irseq(1)*len);real(vsseq(1)-
vrseq(1)+ZS(1,1)*irseq(1)*len);imag(vsseq(2)-vrseq(2)+ZS(2,2)*irseq(2)*len);real(vsseq(2)-
vrseq(2)+ZS(2,2)*irseq(2)*len);imag(vsseq(3)-vrseq(3)+ZS(3,3)*irseq(3)*len);real(vsseq(3)-
vrseq(3)+ZS(3,3)*irseq(3)*len)];
MSLA=[imag(ZS(1,1)*(isseq(1)+irseq(1)));real(ZS(1,1)*(isseq(1)+irseq(1)));imag(ZS(2,2)*(isseq
(2)+irseq(2)));real(ZS(2,2)*(isseq(2)+irseq(2)));imag(ZS(3,3)*(isseq(3)+irseq(3)));real(ZS(3,3)*(i
sseq(3)+irseq(3)))]);
d(k,15)=MSLB(1)/MSLA(1);
d(k,16)=MSLB(2)/MSLA(2);
d(k,17)=MSLB(3)/MSLA(3);
d(k,18)=MSLB(4)/MSLA(4);
d(k,19)=MSLB(5)/MSLA(5);
d(k,20)=MSLB(6)/MSLA(6);
d(k,21)=(MSLA*MSLB)/(MSLA*MSLA);%critério erro mínimo quadrático
%algoritmo dois terminais com tensão e corrente de fase
d(k,22)=(imag(vsf(1)-vrf(1)+vrlab*len))/imag(vslab+vrlab);
d(k,23)=(real(vsf(1)-vrf(1)+vrlab*len))/real(vslab+vrlab);
%*****
%algoritmo com grandezas modais
%*****
vsmod=inv(vets)*vs; vrmod=inv(vets)*vr;
ismod=inv(vetq)*is; irmod=inv(vetq)*ir;
a1=zwm(1,1)*(irmod(1)*cosh(valq(1,1)*len)+ismod(1))-vrmod(1)*sinh(valq(1,1)*len);
b1=vrmod(1)*cosh(valq(1,1)*len)-zwm(1,1)*irmod(1)*sinh(valq(1,1)*len)-vsmod(1);
a2=zwm(2,2)*(irmod(2)*cosh(valq(2,2)*len)+ismod(2))-vrmod(2)*sinh(valq(2,2)*len);
b2=vrmod(2)*cosh(valq(2,2)*len)-zwm(2,2)*irmod(2)*sinh(valq(2,2)*len)-vsmod(2);
a3=zwm(3,3)*(irmod(3)*cosh(valq(3,3)*len)+ismod(3))-vrmod(3)*sinh(valq(3,3)*len);
b3=vrmod(3)*cosh(valq(3,3)*len)-zwm(3,3)*irmod(3)*sinh(valq(3,3)*len)-vsmod(3);
modb=[abs(atanh(b1/a1));abs(atanh(b2/a2));abs(atanh(b3/a3))];
moda=[abs(valq(1,1));abs(valq(2,2));abs(valq(3,3))];
d(k,33)=modb(1)/moda(1);
d(k,34)=modb(2)/moda(2);

```



```

d(k,35)=modb(3)/moda(3);
d(k,37)=(moda(2:3)*modb(2:3))/(moda(2:3)*moda(2:3));%critério erro mínimo
quadrático
%*****
%algoritmo dois terminais seq zero , positiva e negativa, EMQ, fase, com amostras
assincronas
%*****
%sequência zero
clinha=vrseq(1)-len*ZS(1,1)*irseq(1);ka=(abs(ZS(1,1)*irseq(1)))^2-(abs(ZS(1,1)*isseq(1)))^2;
kb=2*(real(clinha)*real(ZS(1,1)*irseq(1))+imag(clinha)*imag(ZS(1,1)*irseq(1))+real(vsseq(1))*r
eal(ZS(1,1)*isseq(1))+imag(vsseq(1))*imag(ZS(1,1)*isseq(1)));
kc=(abs(clinha))^2-(abs(vsseq(1)))^2;
d(k,24)=abs((-kb+(kb^2-4*ka*kc)^0.5)/(2*ka));d(k,25)=abs((-kb-(kb^2-
4*ka*kc)^0.5)/(2*ka));
%sequência positiva
clinha=vrseq(2)-len*ZS(2,2)*irseq(2);ka=(abs(ZS(2,2)*irseq(2)))^2-(abs(ZS(2,2)*isseq(2)))^2;
kb=2*(real(clinha)*real(ZS(2,2)*irseq(2))+imag(clinha)*imag(ZS(2,2)*irseq(2))+real(vsseq(2))*r
eal(ZS(2,2)*isseq(2))+imag(vsseq(2))*imag(ZS(2,2)*isseq(2)));
kc=(abs(clinha))^2-(abs(vsseq(2)))^2;
d(k,26)=abs((-kb+(kb^2-4*ka*kc)^0.5)/(2*ka));d(k,27)=abs((-kb-(kb^2-
4*ka*kc)^0.5)/(2*ka));
%sequência negativa
clinha=vrseq(3)-len*ZS(3,3)*irseq(3);ka=(abs(ZS(3,3)*irseq(3)))^2-(abs(ZS(3,3)*isseq(3)))^2;
kb=2*(real(clinha)*real(ZS(3,3)*irseq(3))+imag(clinha)*imag(ZS(3,3)*irseq(3))+real(vsseq(3))*r
eal(ZS(3,3)*isseq(3))+imag(vsseq(3))*imag(ZS(3,3)*isseq(3)));
kc=(abs(clinha))^2-(abs(vsseq(3)))^2;
d(k,28)=abs((-kb+(kb^2-4*ka*kc)^0.5)/(2*ka));d(k,29)=abs((-kb-(kb^2-
4*ka*kc)^0.5)/(2*ka));
%fase A
clinha=vrf(1)-len*vrlab;ka=(abs(vrlab))^2-(abs(vslab))^2;
kb=2*(real(clinha)*real(vrlab)+imag(clinha)*imag(vrlab)+real(vsf(1))*real(vslab)+imag(vsf(1
))*imag(vslab));
kc=(abs(clinha))^2-(abs(vsf(1)))^2;
d(k,30)=abs((-kb+(kb^2-4*ka*kc)^0.5)/(2*ka));d(k,31)=abs((-kb-(kb^2-
4*ka*kc)^0.5)/(2*ka));
vf(k,1)=vs(1)-d(k,30)*vslab;vf(k,3)=vs(1)-d(k,31)*vslab;
vf(k,2)=vr(1)-(len-d(k,30))*vrlab;vf(k,4)=vr(1)-(len-d(k,31))*vrlab;
%*****
%algoritmo de sachdev com amostras assincronas dos dois terminais
%*****
zy1=vrf(1)/(irf(1));
p1=irseq(2)/isseq(2);
ux1=real((isseq(2))/(isseq(2)-isseq(3)));vx1=imag((isseq(2))/(isseq(2)-isseq(3)));
uy1=real((irseq(2))/(irseq(2)-irseq(3)));vy1=imag((irseq(2))/(irseq(2)-irseq(3)));
%a1=ux1+uy1+(ux1*abs(p1)+uy1/abs(p1))*cos(ang(p1))-(vx1*abs(p1)-
vy1/abs(p1))*sin(ang(p1));
k1=(1+real(p1))*ux1-imag(p1)*vx1-i*((1+real(p1))*vx1+imag(p1)*ux1);
k2=(1+real(p1)/(abs(p1)^2))*uy1+(imag(p1)/abs(p1)^2)*vy1-
i*((1+real(p1)/(abs(p1)^2))*vy1-(imag(p1)/(abs(p1)^2))*uy1);
z1xf=(zx1*k2/k1+len*ZS(3,3)-zy1)/(1+k2/k1);
d(k,32)=imag(z1xf)/imag(ZS(3,3));
end
dr(k)=Entrada(4+ind,1);
sized=size(d);
%*****
%Calculo do erro
%*****

```

```

if dr(k)==0.1
    erro(k,j)=(d(k,j)-dr(k))*5;
else
    erro(k,j)=((d(k,j)-dr(k))/dr(k))*100;
end
errox=abs(erro(k,j));
erromed(j)=erromed(j)+errox;
if abs(erro(k,j))>40
    erro(k,j)=sign(erro(k,j))*40;
end
end
end
erromed=erromed/sized(1);
%*****
%armazenamento dos dados para processamentos
%*****
case {211}
    ert1tac=erro;
    ermt1tac=erromed;
case {212}
    ert1cgd=erro;
    ermt1cgd=erromed;
case {210}
    ert0tac=erro;
    ermt0tac=erromed;
case {222}
    ercwcgd=erro;
    ermcwcgd=erromed;
case {221}
    ercwtac=erro;
    ermcwtac=erromed;
case {220}
    erc0cgd=erro;
    ermc0cgd=erromed;
end
%*****
%Saida de dados
%*****
subplot(4,2,1)
bar(erro(1,:))
ylabel('erro %')

```

Caso real

Referência = TAC

Fasores de tensão e corrente na seguinte ordem:

1. três primeiros sinais = Ia, Ib, Ic , pré-falta no terminal de referência.
2. Seis fasores do terminal referência correspondente a Va, Vb, Vc, Ia, Ib, Ic.
3. Seis fasores do terminal remoto correspondente a Va, Vb, Vc, Ia, Ib, Ic.
4. Cada conjunto de 12 medidas seguintes para variações de **R** e **d**

Entra=[111 392.74 34.695
 1 392.47 -81.409
 1 397.37 159.85

26 1.8985E5 29.852
 100 1.9211E5 -89.147
 1 1.9114E5 151.13
 1 595.46 30.276
 1 393 -81.348
 1 395.63 159.54
 98 1.8862E5 0.58093
 100 1.8884E5 -118.77
 1 1.8961E5 121.07
 1 264.89 -174.45
 1 321.53 65.139
 1 321.25 -53.838

26 1.7396E5 23.712
 150 1.9212E5 -89.761
 1 1.9099E5 151.02
 1 1671.4 10.679
 1 402.83 -80.023
 1 376.01 156.85
 98 1.8106E5 -4.2034
 150 1.86E5 -120.14
 1 1.8993E5 118.58
 1 172.7 -64.987
 1 328.45 65.64
 1 306.49 -58.402

26 1.6556E5 20.63
 200 1.9255E5 -90.631
 1 1.9189E5 150.19
 1 2181.8 4.6685
 1 428.5 -76.867
 1 384.33 159.7
 98 1.7853E5 -7.2083
 200 1.8686E5 -121.25
 1 1.9262E5 116.66
 1 347.13 -55.451
 1 344.72 69.444
 1 308.96 -55.464

26	1.6288E5	18.674
250	1.9309E5	-91.376
1	1.9246E5	149.5
1	2353.8	2.839
1	447.86	-74.689
1	396.15	162.15
98	1.7914E5	-8.9466
250	1.8843E5	-122.22
1	1.9498E5	115.44
1	425.53	-54.971
1	358.05	72.054
1	314.39	-52.631

26	1.5904E5	17.254
300	1.9334E5	-92.005
1	1.9294E5	148.89
1	2545.3	0.37218
1	459.94	-73.571
1	400.59	163.63
98	1.7814E5	-10.173
300	1.8922E5	-122.8
1	1.9623E5	114.53
1	502.3	-57.12
1	366.5	73.368
1	315.32	-51.049

26	1.5665E5	16.231
350	1.9358E5	-92.708
1	1.9325E5	148.21
1	2646.2	-1.6418
1	467.13	-73.093
1	402.64	164.46
98	1.7764E5	-11.062
350	1.8993E5	-123.4
1	1.9707E5	113.75
1	552.35	-58.651
1	371.28	74.046
1	315.17	-50.1

26	1.5449E5	15.347
400	1.9375E5	-93.334
1	1.9349E5	147.6
1	2740	-3.9113
1	470.85	-72.983
1	402.39	164.82
98	1.7687E5	-11.831
400	1.903E5	-123.94
1	1.9749E5	113.04
1	592.77	-60
1	373.67	74.193
1	313.83	-49.722

26	1.5359E5	14.542
450	1.9388E5	-93.979
1	1.9371E5	146.93

1	2761.6	-5.6591
1	473.1	-73.131
1	403.28	164.86
98	1.767E5	-12.578
450	1.9069E5	-124.54
1	1.9797E5	112.34
1	611.64	-61.162
1	375.09	74.131
1	313.58	-49.563
26	1.5275E5	11.523
550	1.9409E5	-96.874
1	1.9399E5	144.06
1	2790.3	-8.8499
1	473.02	-75.776
1	401.25	162.36
98	1.7676E5	-14.736
550	1.9087E5	-126.77
1	1.9804E5	110.21
1	630.51	-63.378
1	374.12	72.178
1	311.2	-51.254
26	1.5195E5	9.5387
650	1.9422E5	-98.781
1	1.9412E5	142.17
1	2839	-11.221
1	473.31	-77.65
1	400.1	160.54
98	1.7615E5	-16.804
650	1.9098E5	-128.55
1	1.9845E5	108.21
1	647.48	-65.458
1	375.01	70.496
1	310.44	-53.127];