



UFBA - UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ALMIR LARANJEIRA NERI JÚNIOR

TESE DE DOUTORADO

**LOCALIZAÇÃO DE CURTOS-CIRCUITOS EM REDES DE
DISTRIBUIÇÃO USANDO A TRANSFORMADA *WAVELET* E REDES
NEURAS ARTIFICIAIS**

**Salvador
2018**



ALMIR LARANJEIRA NERI JÚNIOR

TESE DE DOUTORADO

**LOCALIZAÇÃO DE CURTOS-CIRCUITOS EM REDES DE
DISTRIBUIÇÃO USANDO A TRANSFORMADA WAVELET E
REDES NEURAS ARTIFICIAIS**

Tese apresentado ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Bahia - UFBA, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica.

FERNANDO AUGUSTO MOREIRA, Ph.D.

BENEMAR ALENCAR DE SOUZA, D.Sc.

Orientadores

**Salvador
2018**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

N445 Neri Júnior, Almir Laranjeira
Localização de curtos-circuitos em redes de
distribuição usando a transformada wavelet e redes
neurais artificiais / Almir Laranjeira Neri Júnior. --
Salvador, 2018.
202 f. : il

Orientador: Fernando Augusto Moreira.
Coorientador: Benemar Alencar de Souza.
Tese (Doutorado - Engenharia Elétrica) --
Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica,
2018.

1. Distribuição de energia elétrica. 2. Localização
de falta. 3. Redes neurais artificiais. 4.
Transformada wavelet. 5. Ondas viajantes. I. Moreira,
Fernando Augusto. II. Alencar de Souza, Benemar. III.
Título.

ALMIR LARANJEIRA NERI JÚNIOR

**LOCALIZAÇÃO DE CURTOS-CIRCUITOS EM REDES DE
DISTRIBUIÇÃO USANDO A TRANSFORMADA WAVELET E
REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**

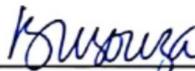
Tese apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Engenharia Elétrica da
Universidade Federal da Bahia - UFBA,
como requisito para a obtenção do título de
Doutor em Engenharia Elétrica.

APROVADA em: 11 de Maio de 2018.

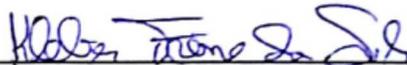
BANCA EXAMINADORA



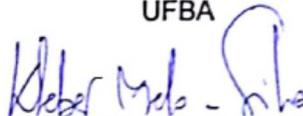
Prof. Dr. Fernando Augusto Moreira
Orientador/UFBA



Prof. Dr. Benemar Alencar de Souza
Co-orientador/UFCG



Prof. Dr. Kleber Freire da Silva
UFBA



Prof. Dr. Kleber Melo e Silva
UnB



Prof. Dr. Carlos E. de Moraes Pereira
USP

Dedico este texto a Bia, por tocar piano e cantar,
a Caio, por urrar como um dinossauro feroz,
a Dani, por chorar pedindo colo,
e a Geise, por trazer o silêncio...

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a minha esposa Geise e a meus 3 filhos Beatriz, Caio e Daniela, que tiveram que se privar da companhia do pai e marido por muitas e muitas horas durante o desenvolvimento deste trabalho.

A meus pais e avôs, que sempre me mostraram a direção a seguir, com seus exemplos.

À Petrobras, por ter financiado os custos básicos desta pesquisa e ter acreditado na minha proposta. Cito nominalmente os chefes diretos que me apoiaram e me incentivaram nesta caminhada: Luís Henrique Miranda Albuquerque (*in memoriam*), Aimberê Carlos Chinapi Flores, João Pessoa de Moura, Eliseu Robert Lage Oliveira, Geraldo Mário Santana Correia Júnior e Fabrício Maciel Ramundo.

A todos os colegas da Petrobras, UFBA e UFCG que debateram, questionaram e propuseram sugestões, com menção especial a Wellinsilvio Costa dos Santos, que me passou dezenas de atalhos valiosíssimos.

Ao amigo Ciro Seixas, que diligentemente fez a revisão normativa e melhorou meu português para padrões mais acadêmicos.

E aos professores Fernando e Benemar, que, com paciência, conselhos e perspicácia em perceber meus erros, contribuíram para que este trabalho ficasse melhor e eu me tornasse um melhor profissional.

古人の跡を求めず、
こじんのあとをもとめず、
古人の求めたるの所を求めよ。
こじんのもとめたるのところをもとめよ。

松尾芭蕉

Não busque os caminhos dos antigos,
Busque o lugar que os antigos buscavam.

Matsuo Bashô

RESUMO

A pronta localização da origem de faltas em redes ramificadas de distribuição incrementa a segurança do sistema elétrico e reduz perdas por parte do cliente e da concessionária de energia. Pretende-se com este trabalho apresentar um novo conceito de metodologia computacional que possibilite a localização de curtos-circuitos em redes elétricas trifásicas de distribuição. Este sistema se alicerça em três bases teóricas: o conceito de ondas viajantes, a transformada *wavelet* e as redes neurais. A rede elétrica será simulada no *software* ATP/ATPDraw, e todo o tratamento matemático usará o *software* SCILAB. Será detalhado como o SCILAB efetua a leitura e o processamento dos dados gerados pelo ATP, bem como o tratamento destes dados com a transformada *wavelet*. Será apresentado de forma gráfica e lógica as conclusões de análise de diferentes curtos-circuitos, mostrando como a transformada *wavelet* consegue extrair das correntes pós-falta a energia das diferentes frequências que são geradas depois do momento da falta. Com base nestas energias, redes neurais artificiais irão realizar o processamento de identificação do local mais provável da falta, podendo contribuir, desta forma, com uma recomposição mais rápida do sistema elétrico de distribuição. Os resultados obtidos mostram que o método possui uma taxa de acerto bastante significativa, acima de 90% de precisão, mas tem limitações concernentes às características da topologia das redes analisadas.

Palavras-chave: Redes Elétricas. Distribuição. Transformada *Wavelet*. Ondas Viajantes. Redes Neurais Artificiais. Detecção, classificação e localização de falta.

ABSTRACT

The location of faults at power distribution networks improves the safety of the whole power system and avoid losses to the energy provider and their consumers. This work pretends to present a new computational methodology that locates short-circuits in three-phase power distribution networks, based on the theoretical background of travelling waves, wavelet transform and artificial neural networks, using only one measurement point at the beginning of the network. The electric power system will be simulated in the software ATP/ATPDraw, and the mathematical treatments for wavelet transform and neural networks implementation will be made in the free software Scilab. We will detail how the Scilab can read and process the electrical data generated by ATP, then extract from the faulty current the energy content of the frequencies associated with each fault. Using these energies, neural networks can identify patterns that indicate the fault location and, thus, help recover the power system. The results show that the method is effective, with more than 90% of precision, but is affected by the network topology.

Keywords: *Power Electric Networks, Distribution, Wavelet Transform, Travelling Waves, Artificial Neural Networks, Detection, Classification and Location of Faults.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Circuito RLC na interface ATPdraw	26
Figura 2.2 Arquivo txt gerado pelo ATPDraw e executado pelo ATP	26
Figura 2.3 Interface e gráfico gerado pelo plotXY	27
Figura 2.4 Interface do Scilab	28
Figura 2.5 Propagação de ondas em linhas de transmissão em linhas sem perdas.....	30
Figura 2.6 Diagrama de Trelças para um curto-circuito na linha AB.....	32
Figura 2.7 Diagrama de Trelças para um curto-circuito na linha AB.....	33
Figura 2.8 Wavelet Haar	34
Figura 2.9 Exemplo de sinal básico de comparação da transformada Gabor. O sinal graficado é $f(x)=\sin(20*x)*\exp(-x^2)$	35
Figura 2.10 Sinal definido na equação 2.14. A taxa de amostragem é de 1ms.....	36
Figura 2.11 Resultado da transformada STFT para cada janela do tipo Hamming de 256ms (a), 128ms (b), 64ms (c) e 32ms (d).	37
Figura 2.12 Resultado da transformada WT para escala de 32 pontos. 38	
Figura 2.13 Diferentes frequências para uma STFT ao efetuar a varredura de um sinal	39
Figura 2.14 Estrutura de relacionamento entre frequência e tempo para a STFT.....	39
Figura 2.15 Diferentes frequências para uma wavelet ao efetuar a varredura de um sinal. Importante notar que a forma de onda não se altera.....	40

Figura 2.16 Estrutura de relacionamento entre frequência e tempo para a WT	40
Figura 2.17 Análise Multiresolucional (MRA) com 3 estágios	41
Figura 2.18 Comparativo das bandas de frequência selecionadas pelas wavelets ortogonais e em frames	42
Figura 2.19 Modelo do neurônio artificial	44
Figura 2.20 Forma de onda da tangente hiperbólica	45
Figura 2.21 Neurônio com aprendizagem por correção de erro	46
Figura 2.22 Fluxo de sinais numa rede neural com múltiplas camadas	48
Figura 2.23 Gráfico da distribuição das classes C1 e C2, que são conjuntos de dados com sobreposição, e classificação efetuada por uma rede neural.....	49
Figura 3.1 Chave fusível com elos abertos.....	69
Figura 4.1 Diagrama elétrico da rede de distribuição simulada	71
Figura 4.2 Representação no ATP da rede de distribuição simulada	71
Figura 4.3 Análise multiresolucional (MRA) com 7 estágios	73
Figura 4.4 Corrente das 3 fases medidas na fonte para o caso 1	75
Figura 4.5 Detalhe d3 das três fases mais terra, janelas sobrepostas, caso 1.....	76
Figura 4.6 Energia do sinal médio a7 das três fases mais terra a cada iteração, caso 1.	76
Figura 4.7 Corrente das fases medidas na fonte para o caso 2	77
Figura 4.8 Detalhe d3 das três fases mais terra, janelas sobrepostas, caso 2.....	78

Figura 4.9 Energia do sinal médio a7 das três fases mais terra a cada iteração, caso 2	78
Figura 4.10 Corrente das fases medidas na fonte para o caso 3.	79
Figura 4.11 Detalhe d3 das três fases mais terra, janelas sobrepostas, caso 3.....	80
Figura 4.12 Energia do sinal médio a7 das três fases mais terra a cada iteração, caso 3	80
Figura 4.13 Forma de onda do tipo dente de serra.....	81
Figura 4.14 Forma de onda harmônica composta de senos de diferentes frequências.	82
Figura 4.15 Tensão medida na origem em virtude da corrente dente de serra.....	82
Figura 4.16 Tensão medida na origem em virtude da corrente harmônica	83
Figura 5.1 Rede elétrica testada na nova configuração do ATPDraw ...	86
Figura 5.2 Fluxograma da metodologia proposta	87
Figura 5.3 Energia dos coeficientes wavelets para 240 simulações no nó km008.....	90
Figura 5.4 Energia dos coeficientes wavelets para 240 simulações no nó km009.....	91
Figura 5.5 Energia dos coeficientes wavelets para 240 simulações no nó km801	91
Figura 5.6 Arquitetura da rede neural	92
Figura 5.7 Grupos de nós para a análise da localização de ramos	94

Figura 5.8 Topologia adaptada da rede elétrica real do campo de Dom João.....	100
Figura 5.9 Modelamento da rede elétrica do campo de Dom João no programa ATP	101
Figura 5.10 Definição dos grupos de cômputo da distância para a localização de falta	103
Figura 5.11 Definição dos trechos para a localização de falta.....	104
Figura 5.12 Caminho de 3 ondas viajantes decorrentes de curto-circuito na barra 65D18.....	119
Figura 5.13 Caminho de 3 ondas viajantes decorrentes de curto-circuito na barra 86DJ0	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Coeficientes de reflexão e refração para terminal aberto	32
Tabela 2.2 Coeficientes de reflexão e refração para terminal em curto-circuito	32
Tabela 5.1 Faixa de frequência de cada transformada <i>wavelet</i>	89
Tabela 5.2 Influência do tipo de curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta	96
Tabela 5.3 Influência do ângulo de incidência na taxa de precisão da localização da falta	96
Tabela 5.4 Correlação entre erros de identificação dos ângulos e tipos de falta bifásica.....	97
Tabela 5.5 Influência da impedância de curto na taxa de precisão da localização da falta	97
Tabela 5.6 Influência do local em que acontece o curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta.....	98
Tabela 5.7 Raiz enésima de números menores que 1	107
Tabela 5.8 Percentual de acerto da rede neural para o cálculo dos trechos em falta variando somente a raiz enésima de tratamento das energias <i>wavelet</i>	108
Tabela 5.9 Influência do tipo de curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta	109
Tabela 5.10 Influência do ângulo de incidência na taxa de precisão da localização da falta	109
Tabela 5.11 Influência da impedância de curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta	110

Tabela 5.12 Influência do local em que acontece o curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta.....	110
Tabela 5.13 Influência do tipo de curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta	112
Tabela 5.14 Influência do ângulo de incidência na taxa de precisão da localização da falta	112
Tabela 5.15 Influência da impedância de curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta	112
Tabela 5.16 Influência do local em que acontece o curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta.....	113
Tabela 5.17 Resposta de saída da rede neural para o cálculo dos ramos em faltas fase-terra variando somente a raiz enésima de tratamento das energias <i>wavelet</i>	114
Tabela 5.18 Influência do tipo de curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta	115
Tabela 5.19 Influência do ângulo de incidência na taxa de precisão da localização da falta	115
Tabela 5.20 Influência da impedância de curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta	115
Tabela 5.21 Influência do local em que acontece o curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta.....	116
Tabela 5.22 Influência do tipo de curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta	117
Tabela 5.23 Influência do ângulo de incidência na taxa de precisão da localização da falta	117

Tabela 5.24 Influência da impedância de curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta	117
Tabela 5.25 Influência do local em que acontece o curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta.....	118
Tabela 5.26 Influência da taxa de precisão da localização de falta provocada pelo local do curto-circuito	121
Tabela 5.27 Influência da taxa de precisão da localização de falta provocada pelo local do curto-circuito	121

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
ANFIS – *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*
ANN – *Artificial Neural Network*
ATP – *Alternative Transient Program*
AWG – *American Wire Gauge*
CIRED – *Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement*
COMTRADE – *Common Format for Transient Data Exchange for Power Systems*
CVT – *Capacitive Voltage Transformer*
CWT – *Continuous Wavelet Transform*
DEC – Duração equivalente por consumidor
DWT – *Discrete Wavelet Transform*
FEC – Frequência equivalente por consumidor
GPS – *Global Positioning System*
HIF – *High-Impedance Faults*
Id. – Idem, sinônimo de o mesmo. No caso, significa o mesmo autor.
Ibid. – *Ibidem*, texto em latim que significa “no mesmo lugar”. Serve para eliminar a repetição de dados bibliográficos em textos citados imediatamente anteriormente. Caso a citação seja posterior a outras, repete-se o nome do autor com *Opus Citatum*.
IEEE – *Institute for Electrical and Electronic Engineers*
INRIA - *Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique*.
LAMDA – *Learning Algorithm for Multivariate Data Analysis*
LDOV – Localizador de Defeitos por Ondas Viajantes
MRA – *Multiresolucional Analysis*
Op. Cit. – *Opus Citatum*, texto em latim que significa “obra citada”. Serve para eliminar a repetição de dados em textos já citados anteriormente, exceto nos casos em que a citação é imediatamente anterior, caso em que se emprega o Id., Ibid..
PCA - *Principal Components Analysis*
PROMETHEE - *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*
QMF - *Quadrature Mirror Filters*
SILDOV - Sistema de Localização de Defeitos para redes de distribuição por Ondas Viajantes
SVM – *Support Vector Machine*
SVR – *Support Vector Regression*
STFT – *Short Time Fourier Transform*
TW – *Travelling Waves*
UFCG – Universidade Federal de Campina Grande
UFBA – Universidade Federal da Bahia
WT – *Wavelet Transform*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	20
1.1 Objetivos.....	21
1.2 Organização do trabalho.....	22
1.3 Trabalhos publicados.....	23
2 METODOLOGIA	24
2.1 Softwares Utilizados	24
2.1.1 O ATP	25
2.1.2 O Scilab	27
2.2 Fundamentação Teórica	28
2.2.1 Teoria das Ondas Viajantes.....	29
2.2.2 Transformada Wavelet.....	34
2.2.3 Redes Neurais Artificiais.....	43
3 DETECÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM REDES ELÉTRICAS COM O USO DE WAVELETS E OUTRAS TÉCNICAS.....	51
3.1 Detecção e Classificação de Faltas em Sistemas de Potência	52
3.1.1 Detecção de Faltas em Sistemas de Potência	52
3.1.2 Classificação de Faltas em Sistemas de Potência.....	53
3.2 Localização de Faltas em Sistemas de Transmissão	54
3.2.1 Métodos Baseados na Frequência Fundamental	55
3.2.2 Métodos Baseados em Sistemas Inteligentes	56
3.3 Localização de Faltas em Sistemas de Distribuição	60
3.3.1 Distribuição - Métodos Baseados na Frequência Fundamental....	61
3.3.2 Distribuição - Métodos Baseados em Sistemas Inteligentes	62

3.3.3 Distribuição – Outros Métodos de Localização de Falhas	68
4 SIMULAÇÕES PRELIMINARES – DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE FALTAS	70
4.1 O Circuito Simulado	70
4.2 O Programa de Processamento de Dados	72
4.2.1 Detecção de Curtos-Circuitos	72
4.2.2 Classificação de Curtos-Circuitos	73
4.3 Simulações e Resultados	74
4.3.1 Caso 1: curto trifásico na barra B5.....	75
4.3.2 Caso 2: curto fase C-terra na barra B2	77
4.3.3 Caso 3: curto bifásico BC a terra na barra B3	78
4.3.4 Injeção de Harmônicos e Variação de Cargas.....	80
5 LOCALIZAÇÃO DE CURTOS-CIRCUITOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO UTILIZANDO A TRANSFORMADA WAVELET E REDES NEURAS	84
5.1 O Circuito Simulado – Caso Básico	85
5.2 O Programa de Processamento Revisado.....	87
5.2.1 Leitura e Detecção de Curtos-Circuitos	88
5.2.2 Simulação no SCILAB de Redes Neurais Artificiais.....	89
5.3 Simulações e Resultados na Rede Fictícia.....	95
5.4 Simulações na Rede Elétrica Real Adaptada, Normalização Não-Linear nos Dados de Entrada da Rede Neural e Resultados	99
5.4.1 Normalização Não-Linear dos Dados de Entrada da Rede Neural	105
5.4.2 Resultados da Rede Elétrica Real Adaptada.....	108

5.5 Outras Simulações Complementares	111
5.5.1 Reprocessando o Circuito Fictício com a Radiação de Oitava Ordem.....	111
5.5.2 Análise do Circuito DJ Exclusivamente para Curtos Fase-Terra	113
5.5.3 Análise do Circuito DJ com cabos 3/0 AWG.....	116
5.5.4 Comentários ao Problema do Método Relativo a Topologias com Ramos Similares.....	118
6 CONCLUSÕES.....	123
6.1 Propostas para trabalhos futuros.....	125
REFERÊNCIAS	128
GLOSSÁRIO.....	143
APÊNDICES.....	144

1 INTRODUÇÃO

O desempenho de uma rede elétrica de distribuição, nos critérios de continuidade e confiabilidade, é medido basicamente por dois indicadores. Um deles é relativo à quantidade de falhas que ocorrem na rede, e o outro, à duração destas falhas. No Brasil, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), agência reguladora, define os indicadores FEC (frequência equivalente por consumidor), para representar o número de falhas, ou a taxa de falhas de um determinado sistema elétrico, e o DEC (duração equivalente por consumidor) para medir a duração das falhas, ou seja, o tempo de reparo¹.

Em ambos os indicadores, quanto menor for o número, melhor. Para reduzir o FEC, investimentos em redes mais robustas, redundantes, com equipamentos de melhor qualidade, são ações que em geral surtem efeito. Para reduzir o DEC, em alguns sistemas, pode-se obter resultados provendo a rede de topologias alternativas de fornecimento, religamentos automáticos e sistemas de automação. Boa parte do resultado neste indicador, todavia, deriva das equipes de manutenção corretiva que procuram restabelecer o fornecimento de energia quando os problemas acontecem.

Uma das dificuldades enfrentadas por estas equipes de manutenção de redes de distribuição de energia é a identificação e a localização da falta elétrica. As equipes de restabelecimento gastam bastante tempo procurando o ponto

¹ PROCEDIMENTOS de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Módulo 8. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-8>>. Acesso em: 11 de set. de 2017.

específico da rede elétrica em que ocorreu o defeito, de modo a poder isolá-lo, corrigir os problemas encontrados e, finalmente, restabelecer o fornecimento de energia aos clientes. Existem procedimentos formais escritos, e estas equipes de campo ficam em contato constante com equipe de coordenação central que possuem mapas, passo-a-passo e informações técnicas, mas ainda assim a solução geralmente acontece num processo de tentativa e erro. Uma ferramenta que indicasse previamente o local provável em que a falha ocorreu auxiliaria bastante no desempenho destas equipes, reduzindo desta forma a duração das falhas e aumentando, por conseguinte, a disponibilidade do fornecimento de energia elétrica.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem o objetivo geral de contribuir tecnicamente para o problema de localização de faltas em redes elétricas de distribuição. Dentre as diversas técnicas possíveis para realizar esta contribuição, o problema específico que se pretende resolver é o de estabelecer uma nova metodologia computacional para localização de curtos-circuitos em redes de distribuição com base na medição das correntes num único ponto, na origem do alimentador elétrico. Para atingir tal resultado, será desenvolvido um sistema computacional que, conhecendo os parâmetros e topologias do sistema elétrico analisado, possa ler os sinais elétricos da rede, consiga detectar os eventos de curto-circuito, extraia as componentes de frequências não fundamentais associadas à teoria das ondas viajantes utilizando a transformada *wavelet*, e, por fim, empregue redes neurais artificiais para especificar o local em que a falta ocorreu. Com esta localização definida, é possível às equipes de manutenção tomar providências mais eficientes, de modo a restabelecer o sistema elétrico em falta.

O que este trabalho trará de inédito é um algoritmo baseado em redes neurais artificiais que possibilita identificar de modo discreto e unívoco o local do evento de curto-circuito, associando as saídas de duas redes neurais diferentes treinadas para cada circuito, com dados baseados na medição em um único ponto da rede. Também trará uma inovação técnica na normalização de dados de entrada de redes neurais que possibilita um melhor aprendizado da rede

neural em virtude da redução da possibilidade de saturação dos neurônios durante o treinamento.

1.2 Organização do trabalho

Para estruturar o desenvolvimento desta proposta técnica, no capítulo 2 a metodologia empregada é detalhada. Os *softwares* gratuitos ATP (*Alternative Transient Program*) e Scilab, utilizados na pesquisa, são rapidamente descritos, pois fazem papel predominante nas simulações. A fundamentação teórica que respalda todo o desenvolvimento deste trabalho também é apresentada. O primeiro pilar é a teoria de ondas viajantes, que possibilita associar às medições em um único ponto, na origem da instalação, eventos que acontecem em todos os trechos da rede, cada trecho de rede sendo responsável por frequências específicas. O segundo pilar é a transformada *wavelet*, ferramenta matemática que permite extrair de um sinal as frequências que acontecem num determinado intervalo de tempo. A teoria das ondas viajantes e a transformada *wavelet* juntas permitem criar um mapeamento numérico que representa a leitura do sinal de falta refletida na origem do sistema elétrico, ou seja, um conjunto de variáveis que define uma determinada condição da rede elétrica. Como este mapa não é de representação trivial, o terceiro pilar, as redes neurais artificiais, possibilita a transdução dos dados deste mapa incomum numa linguagem compreensível, efetivamente indicando o local aproximado da falta.

O capítulo 3 apresenta uma revisão bibliográfica dos trabalhos acadêmicos já publicados relacionados a esta proposta. Como conhecimento prévio, apresenta-se no tópico 3.1 trabalho de detecção e classificação de faltas usando ondas viajantes e a transformada *wavelet*. O item 3.2 apresenta técnicas de localização de faltas em redes de transmissão e o 3.3 em redes de distribuição. O arcabouço básico é a associação das teorias de ondas viajantes e *wavelets*, mas algumas técnicas baseadas na frequência fundamental ou outros artifícios também são mostradas.

O quarto capítulo apresenta a primeira etapa de desenvolvimento desta tese, os trabalhos de detecção e classificação de falta. Apesar de terem sido fundamentais para o aprendizado, domínio das ferramentas computacionais e

crescimento posterior, esta etapa é significativa somente nos aspectos cronológico e didático.

No capítulo 5 a implementação da localização de curtos-circuitos em sistemas ramificados de distribuição será finalmente apresentada. Mostram-se os sistemas de simulação, a análise dos sinais das *wavelets* e a construção do vetor de energia característico de cada evento de curto circuito. Em seguida mostram-se como as redes neurais foram implementadas no Scilab de forma a precisar o local da falta de forma unívoca. Dois circuitos são analisados, o primeiro deles similar aos trabalhos apresentados por alguns artigos de referência, de modo a cotejar comparações, e o outro circuito foi adaptado de um circuito real que alimenta poços de petróleo num campo terrestre da Bahia.

O sexto capítulo encerra o presente texto mostrando as conclusões e os possíveis desdobramentos futuros, comentando sobre os objetivos atingidos e detalhando a contribuição inédita deste trabalho.

1.3 Trabalhos publicados

Uma Revisão da Transformada Wavelet Aplicada à Localização de Faltas de Energia em Redes Elétricas de Transmissão e Distribuição, Almir Laranjeira Neri Júnior; Fernando Augusto Moreira; Benemar Alencar de Souza, SBSE 2016

[doi://10.20906/CPS/SBSE2016-0358](https://doi.org/10.20906/CPS/SBSE2016-0358)

Detecção e Classificação de Faltas de Energia Usando a Transformada Wavelet e Métodos de Inferência, Almir Laranjeira Neri Júnior; Fernando Augusto Moreira; Benemar Alencar de Souza, SBSE 2016

[doi://10.20906/CPS/SBSE2016-0357](https://doi.org/10.20906/CPS/SBSE2016-0357)

Fault Location on Radial Distribution Systems using one Measurement Point, Wavelet Transform, and Artificial Neural Networks, Almir Laranjeira Neri Júnior; Fernando Augusto Moreira; Benemar Alencar de Souza

Submetido à revista Electric Power Components and Systems.

2 METODOLOGIA

Definiu-se usar a teoria de ondas viajantes associada ao emprego da transformada *wavelet* para efetuar o processamento numérico dos curtos-circuitos simulados. Por fim, redes neurais artificiais irão efetuar a classificação dos dados de modo a indicar o local mais provável da ocorrência da falta. Esta decisão foi tomada com base numa análise de diversos trabalhos acadêmicos efetuados sobre o problema da localização de falta em redes de distribuição, muitos dos quais são citados no item 3.3.

Já o emprego dos *softwares* gratuitos Scilab e ATP (*Alternative Transient Program*) para apresentar os dados de processamento lógico e simulação de sistemas elétricos, respectivamente, foi baseado numa proposta de permitir a máxima reprodutibilidade dos trabalhos aqui executados, sem implicações de custo nem infração a normas legais.

2.1 Softwares Utilizados

O ATP ² é um dos *softwares* de processamento de transitórios eletromagnéticos mais utilizados, tanto por engenheiros do setor elétrico quanto no meio acadêmico. O Scilab³ é um *software* de processamento numérico com

² WELLCOME to the Web Page of ATPDraw. Disponível em: <<http://www.atpdraw.net/>>. Acesso em: 06 de abr. de 2013.

³ SCILAB (web page). Disponível em: <<http://www.scilab.org/>>. Acesso em: 06 de abr. de 2013.

múltiplas aplicações, e se apresenta como uma alternativa gratuita ao geralmente mais conhecido *software* Matlab, produzido e vendido pela Mathworks⁴.

Neste tópico serão apresentadas as características do ATP e do Scilab.

2.1.1 O ATP

O ATP é um *software* de simulação de transitórios eletromagnéticos. Sua história é longa, e pode ser lida em seu sítio na Internet⁵. Para os fins específicos desta pesquisa, é salutar apresentar as três funções básicas do pacote que serão aqui utilizadas:

- O pré-processador gráfico ATPDraw, uma interface gráfica para criação e edição de arquivos de dados de entrada. Este *software* controla o processamento de quaisquer versões do ATP, e dispõe de uma gama de modelos para os principais componentes de uma rede elétrica.

- ATP – programa para a simulação de transitórios eletromagnéticos, desenvolvido a partir da versão original do EMTP quando parte dos criadores resolveram criar uma versão comercial. Seu processamento é baseado em arquivos textos que podem ser editados diretamente.

- PLOTXY – programa para processamento das saídas gráficas dos resultados das simulações.

Essencialmente o circuito é montado no ATPdraw conforme a figura 2.1, que após processado gera uma versão texto do circuito, que pode ser vista na figura 2.2.

Esta versão texto é trabalhada matematicamente pelo ATP através da integração pela regra trapezoidal na solução numérica das equações diferenciais do sistema e o método de Bergeron (BERGERON 1949 *apud* SCHLAG 1957) para a simulação das linhas de transmissão. Em seguida o ATP produz um relatório, ou arquivo de saída com os resultados das correntes e tensões do sistema. O *software* plotXY permite ler os dados produzidos pelo ATP e

⁴ MATLAB (web page). Disponível em: <<http://www.mathworks.com/products/matlab/>>. Acesso em: 06 de abr. de 2013.

⁵ EMTP (web pag). Disponível em: <<http://www.emtp.org/about.html>>. Acesso em: 06 de abr. de 2013.

apresentá-los de forma gráfica, como na figura 2.3, ou convertê-los para outros formatos.

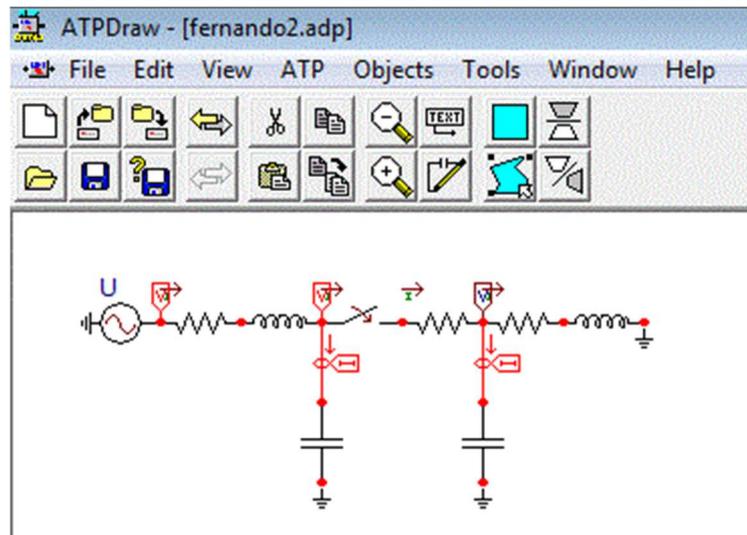


Figura 2.1 Circuito RLC na interface ATPdraw

```

Text Editor: fernando2.atp
File Edit Character Help
-----
BEGIN NEW DATA CASE
C
C -----
C Generated by ATPDRAW  abril, sábado 6, 2013
C A Bonneville Power Administration program
C Programmed by H. K. Høidalen at SEFAS - NORWAY 1994-2003
C -----
C
C dT << Tmax << Xopt << Copt >
  1.E-5      .03
  500      1      1      1      1      0      0      1      0
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
/BRANCH
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< I >< C >
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< A >< B ><Leng><<>0
  XX0001XX0003      3.      1
  XX0003no2      350.      0
    c1      75.      .01      0
    c2      1.25      .6      0
  no3 noy      50.      1
  noy      100.      0
  nox no3      .0001      1
/SWITCH
C < n 1>< n 2>< Tclose ><Top/Tde >< Ie ><Vf/CLOP >< type >
  no2 nox      .01      .018      1.      1
  no3 c2      MEASURING      1
  no2 c1      MEASURING      1
/SOURCE
C < n 1><<< Ampl. >< Freq. ><Phase/T0>< A1 >< T1 >< TSTART >< TSTOP >
14XX0001 0      2.3E5      60.      -1.      1.
/OUTPUT
  XX0001no3 no2
BLANK BRANCH
BLANK SWITCH
BLANK SOURCE
BLANK OUTPUT
BLANK PLOT
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK

```

Figura 2.2 Arquivo txt gerado pelo ATPDraw e executado pelo ATP

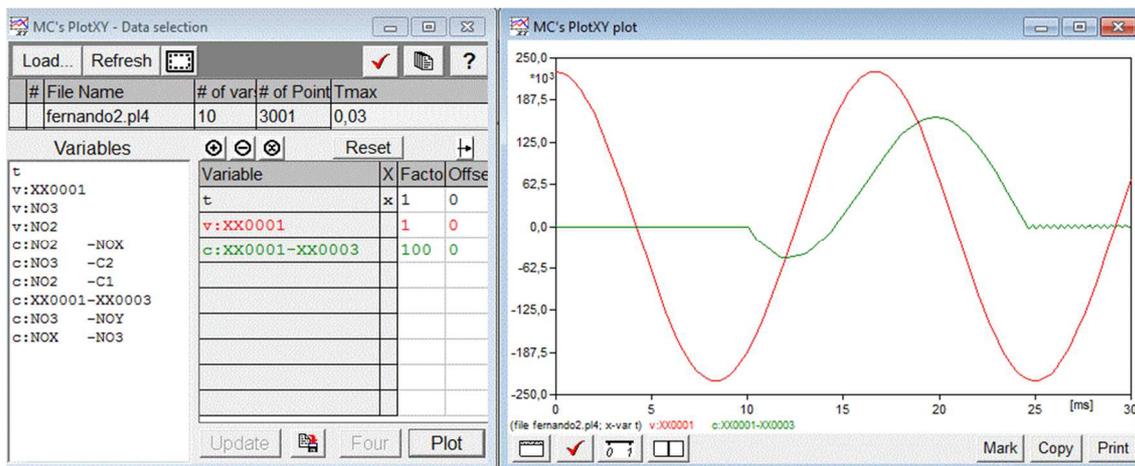


Figura 2.3 Interface e gráfico gerado pelo plotXY

Também é possível editar o arquivo ATP de modo a obter os resultados matemáticos em formatos texto, através de rotinas internas ao ATP denominada MODELS⁶. Isso simplifica a integração do ATP com outros aplicativos, como acontece neste trabalho, em que os resultados do aplicativo são lidos pelo SCILAB.

2.1.2 O Scilab

Conforme indica KOZAKEVICH (s/d), o

Scilab é um *software* de computação numérica, gratuito, desenvolvido inicialmente por pesquisadores do INRIA e atualmente mantido pelo Scilab Consortium . É similar ao Matlab, um clone. Scilab está formado por três componentes principais:

- um interpretador;
- livrarias [*sic*] de funções (os procedimentos do Scilab);
- as rotinas de Fortran e C;

O Scilab se especializa na manipulação de matrizes (operações básicas, cálculo da transposta, inversa, etc.) e cálculo numérico computacional. Também possui um ambiente de programação aberto que permita [*sic*] aos usuários criar suas próprias funções e livrarias [*sic*].⁷

⁶ LEUVEN EMTP CENTER. **Alternative Transients Program Rule Book**, RB-03F, (s. l.): EMTP, 1996.

⁷ O termo *livraria*, tradução linear do termo inglês *library*, em português geralmente é mais precisamente traduzido como biblioteca.

O Scilab recebe a contribuição de diversos pesquisadores, e possui em sua plataforma uma grande gama de funções. Apesar de ser um *software* bastante eficiente, sua documentação técnica ainda é deficitária, dificultando o uso irrestrito. As funcionalidades básicas que serão aplicadas aqui, obtidas em sua maioria no texto elaborado pelo Dr. Johnny Heikell (s/d), são o sistema de leitura de dados e os módulos desenvolvidos para o processamento de sinais usando a transformada *wavelet* e a implementação de redes neurais artificiais⁸. Sua interface padrão pode ser vista na figura 2.4.

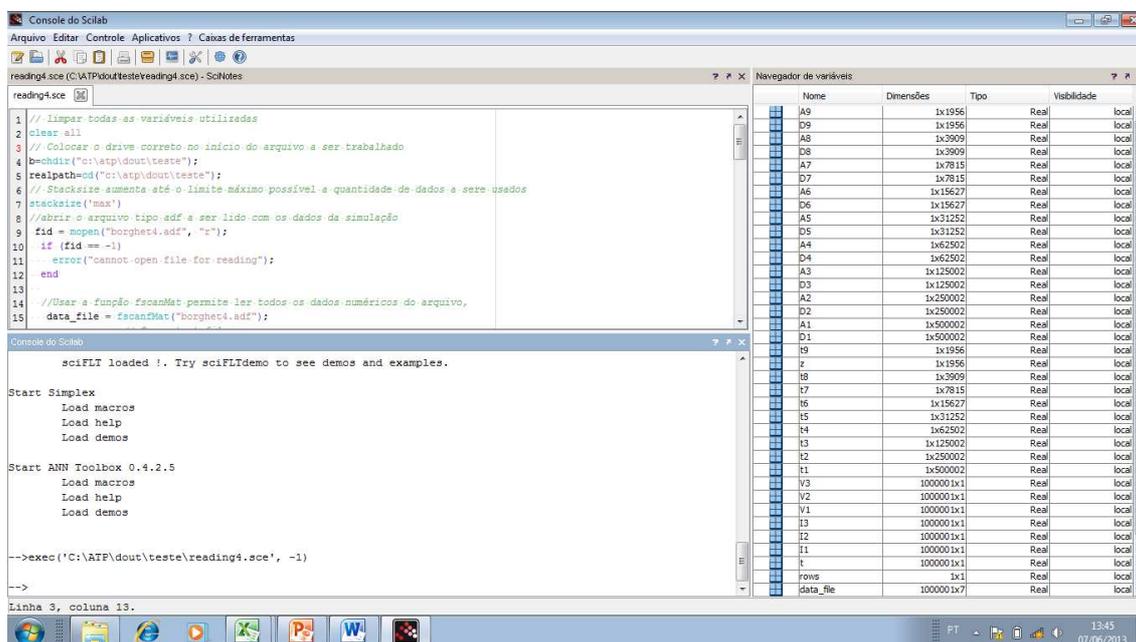


Figura 2.4 Interface do Scilab

2.2 Fundamentação Teórica

A teoria de ondas viajantes, apesar de possuir aplicações práticas anteriores, em especial nas áreas de hidráulica e acústica, possui diversas aplicações em sistemas elétricos. Um conhecimento aprofundado das suas equações é pré-requisito para se utilizar a teoria na solução do problema da localização de faltas em sistemas ramificados de distribuição radiais.

⁸ Scilab Help File versão 5.4.0, 2012.

O entendimento das funcionalidades da transformada *wavelet*, suas diferentes características, propriedades e aplicações, é condição fundamental para aplicá-la nos dados elétricos gerados durante uma falta e refletidos para o medidor de sinais na origem da instalação.

Por fim, as redes neurais artificiais são amplamente empregadas em diversas aplicações pela velocidade, flexibilidade e capacidade computacional. A compreensão das especificidades das redes neurais permitirá um uso adequado da mesma ao problema em questão.

2.2.1 Teoria das Ondas Viajantes

Ondas viajantes, também denominadas ondas tráfegantes ou ondas propagantes, são um modelo matemático de representação de características físicas de alguns sistemas que se apresentam em diversas disciplinas. Os primeiros estudos acerca das ondas viajantes provavelmente devem ter se iniciado nas áreas de hidráulica (ondas do mar, perturbações em rios e lagos) (FUCHS, 1979) e acústica (sons de modo geral, cordas vibrando e peles percutidas, movimentos oscilatórios) (FEYNMAN et al., 2008), em seguida se expandindo para outras áreas da mecânica.

Atualmente o conceito de ondas viajantes se aplica a diversos fenômenos de propagação de condições físicas, sendo utilizado em estudos de doenças epidêmicas (MAIDANA, 2004), propagação de espécies no ambiente, fluxo de sinais no corpo humano e reações químicas, dentre outras áreas (TYSON & KEENER, 1988). Um tema correlato que não será abordado neste trabalho, mas que possui aplicações tanto na área elétrica quanto nas disciplinas mecânicas é o fenômeno das ondas estacionárias.

A aplicação da teoria de ondas viajantes para sistemas elétricos pode ter tido alguns precursores, mas foi modelada em sua forma atual através das equações de Maxwell (ZANETTA JR, 2003; ARAÚJO & NEVES, 2005). O modelo básico para uma linha sem perdas, como se vê nas equações 2.1 e 2.2, e na figura 2.5, pressupõe que, em uma linha qualquer de indutância L e Capacitância C , ao receber um sinal de tensão de entrada U na forma de um degrau unitário em uma de suas extremidades, o sinal V de tensão na linha se propagará no tempo t e na distância x com uma velocidade v .

$$V(x, t) = U. \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad (2.1)$$

e

$$v = \frac{1}{\sqrt{L.C}} \quad (2.2)$$

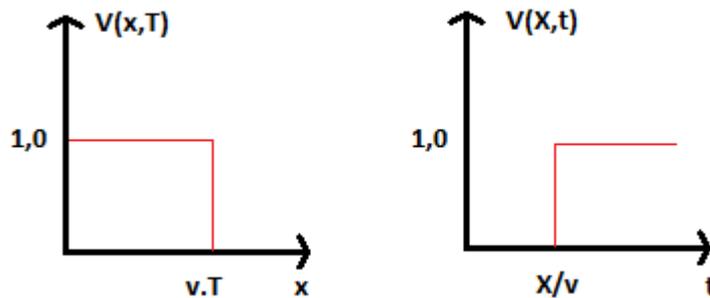


Figura 2.5 Propagação de ondas em linhas de transmissão em linhas sem perdas

Analisando a corrente, é possível deduzir das características da rede sua impedância característica, fazendo uma proporção linear entre corrente e tensão da linha de transmissão, como explicita a equação 2.3.

$$I(x, t) = \frac{V(x,t)}{Z_c} \quad (2.3)$$

Nas linhas sem perdas, a impedância característica se expressa da maneira exposta na equação 2.4. Neste caso, a impedância característica também é chamada de impedância de surto.

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.4)$$

Além de entender o comportamento de ondas viajantes numa linha de transmissão observando um pulso de tensão, pode-se avaliar também as propriedades de reflexão e refração de ondas nas discontinuidades de uma

rede. Estas descontinuidades, derivadas do final da linha, de cargas penduradas em trechos intermediários da rede ou mesmo em derivações de rede, provocam alterações nos sinais de tensão e corrente que podem ser percebidos, e são característicos de cada rede, dependendo da sua topologia.

De modo geral, numa linha monofásica sem perdas com as duas extremidades A e B acessíveis, tem-se uma onda progressiva (de A para B) e uma onda regressiva (de B para A). De modo que as ondas resultantes se expressam como nas equações 2.5 e 2.6.

$$V(x, t) = V_P(x, t) + V_R(x, t) \quad (2.5)$$

$$I(x, t) = I_P(x, t) + I_R(x, t) \quad (2.6)$$

Nestas equações, o índice *P* significa onda progressiva e *R*, regressiva, *x* é a distância e *t* é o tempo.

Estes cálculos são fundamentais para as análises posteriores desta tese, análises estas focadas na localização de faltas em sistemas de distribuição, haja vista que o sinal da falta, refletido e refratado nas diversas descontinuidades da rede de distribuição, e por fim propagados até o local de medição, no caso o alimentador da subestação, permitirão a identificação do local do curto-circuito.

Não faz parte do escopo deste trabalho exaurir o tema, mas as condições mais comuns em redes de distribuição são detalhadas em seguida nas equações 2.7 a 2.10. Utilizam-se as equações gerais para a junção de linhas com impedâncias características distintas, como cabos com bitolas diferentes em derivações, linhas com terminação em resistência ou impedâncias indutivas (cargas em geral) e linhas com terminação em capacitância (muito usadas na distribuição para compensação de reativos).

As equações gerais considerando dois meios de impedância característica diferentes, Z_{C1} e Z_{C2} , considerando a onda se propagando do meio 1 para o meio 2:

$$C_V^{Reflexão} = \frac{Z_{C2} - Z_{C1}}{Z_{C2} + Z_{C1}} \quad (2.7)$$

$$C_I^{Reflexão} = -\frac{Z_{C2} - Z_{C1}}{Z_{C2} + Z_{C1}} \quad (2.8)$$

$$C_V^{Refração} = \frac{2 \cdot Z_{C2}}{Z_{C2} + Z_{C1}} \quad (2.9)$$

$$C_I^{Refração} = \frac{2 \cdot Z_{C1}}{Z_{C2} + Z_{C1}} \quad (2.10)$$

Alguns pontos podem ser considerados casos particulares:

Tabela 2.1 Coeficientes de reflexão e refração para terminal aberto

Grandeza	Reflexão	Refração
Tensão	1	2
Corrente	-1	0

Tabela 2.2 Coeficientes de reflexão e refração para terminal em curto-circuito

Grandeza	Reflexão	Refração
Tensão	-1	0
Corrente	1	2

Uma maneira interessante de observar esta realidade de propagação, reflexão e refração de ondas é entender o diagrama de treliças (TYSON & KEENER, op. cit.) ou diagrama de reflexões (ARAÚJO & NEVES, op. cit.), também conhecido pelo seu nome em inglês, *lattice diagram*, exposto na figura 2.6.

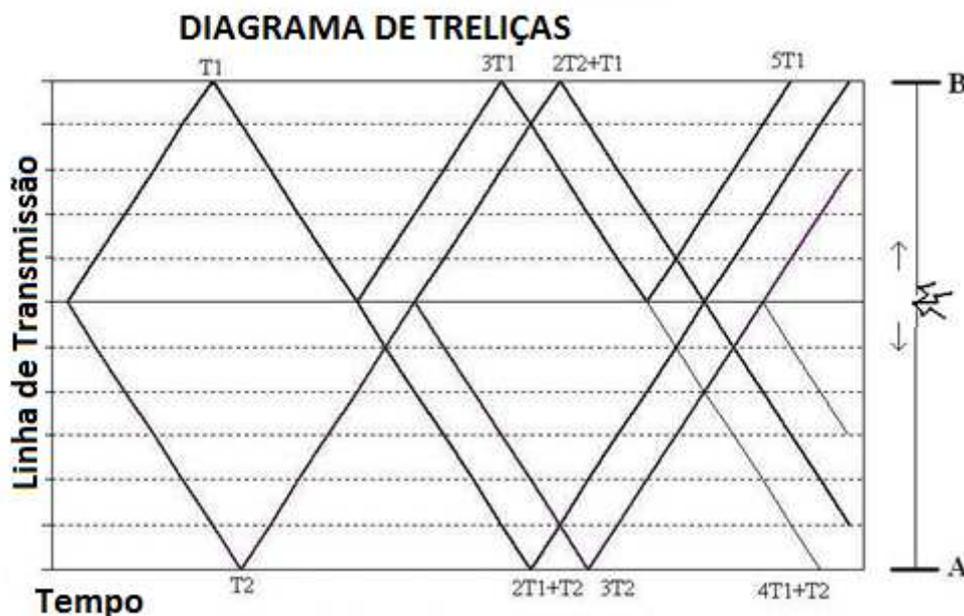


Figura 2.6 Diagrama de Treliças para um curto-circuito na linha AB.

Observando a linha de transmissão AB à direita na figura 2.6, com um curto-circuito representado, pode-se notar que o pulso negativo (pressupondo que a linha está energizada, um curto funciona matematicamente como um degrau de tensão do 1 pu para o 0) se propaga para os dois terminais, e através das reflexões e refrações chega em diversos momentos a cada um dos lados.

Em circuitos com derivações, como se pode ver na figura 2.7, estas reflexões e refrações acompanham a topologia do circuito, e dependem do comprimento e impedâncias características de cada trecho, terminando por produzir um sinal composto da somatória de diversas frequências refletidas e refratadas geradas pelo curto-circuito.

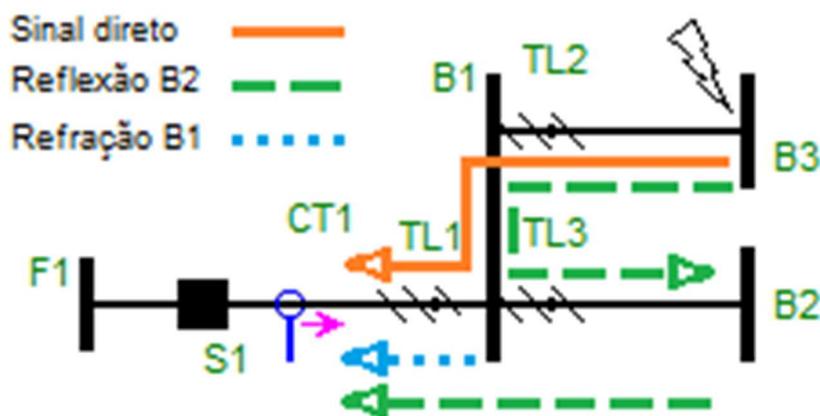


Figura 2.7 Diagrama de Treliças para um curto-circuito na linha AB.

Este sinal composto pelas diversas frequências carrega consigo as características da topologia do circuito, e também depende do local em que o evento de curto-circuito acontece, já que diferentes locais de falta acarretam diferentes trechos de refração e reflexão, com comprimentos e impedâncias características diferentes e, conseqüentemente, diferentes frequências que devem ser lidas.

Este sinal pode ser lido por um ou mais medidores colocados na rede. Nesta tese, estas frequências refletidas e refratadas são lidas por um único medidor na fonte do circuito. Os dados lidos são processados pela transformada *wavelet* e em seguida analisados pela rede neural para identificar o local da falta.

2.2.2 Transformada *Wavelet*

A transformada *wavelet*, na sua versão moderna, teve seus primeiros desenvolvimentos no contexto da geofísica de petróleo com Jean Morlet (BURKE, s/d). Após alguns desdobramentos matemáticos e a associação das múltiplas funções das *wavelets* – tema que será tratado mais adiante neste tópico – é possível traçar uma sequência de evoluções no que hoje se denomina a transformada *wavelet*.

A base matemática principal, sem dúvidas, é a transformada de Fourier (Id., Ibid.). Um dos primeiros desenvolvimentos, ainda na primeira década do século XX, mesmo sem ter sido originalmente associado ao conjunto das *wavelets*, foi a sequência Haar (Id., Ibid.) posteriormente denominada *wavelet* Haar e equiparada à *wavelet* mãe Daubechies 2 (db2) (DAUBECHIES, 1992), que pode ser vista na figura 2.8. Esta *wavelet* foi aplicada nos anos 1930 (Id., Ibid.) para estudar os movimentos brownianos, movimentos aleatórios de partículas suspensas em fluidos, muito vinculado aos estudos de mecânica quântica.

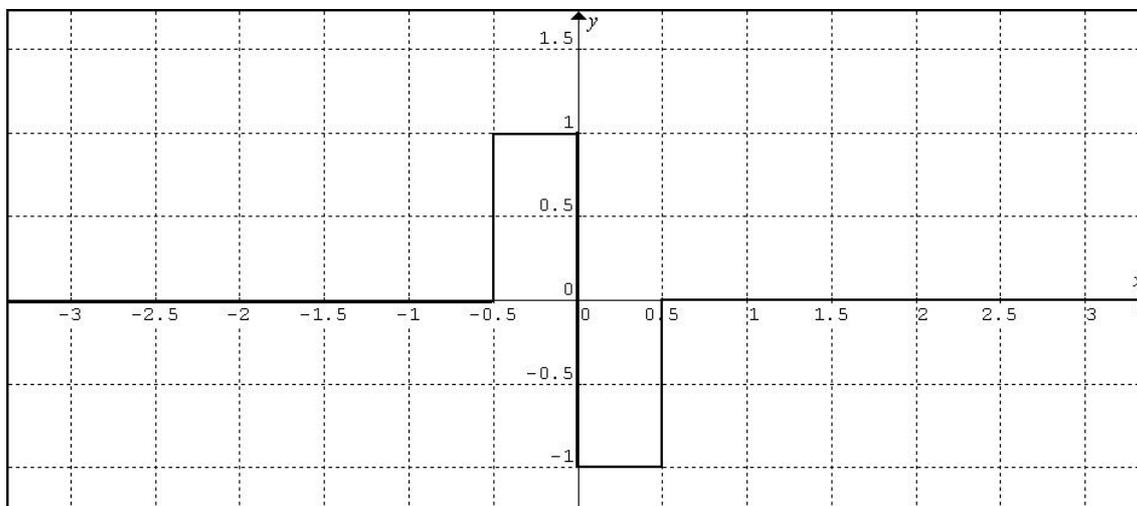


Figura 2.8 Wavelet Haar

Uma outra base teórica foi o artigo elaborado por Gabor (1946), em que ele detalhava um tipo de transformada de Fourier multiplicada por uma gaussiana que se comporta de modo similar às *wavelets*, e também pode ser considerada a primeira transformada Fourier de tempo curto, STFT (*Short Time Fourier Transform*). Um exemplo pode ser visto na figura 2.9.

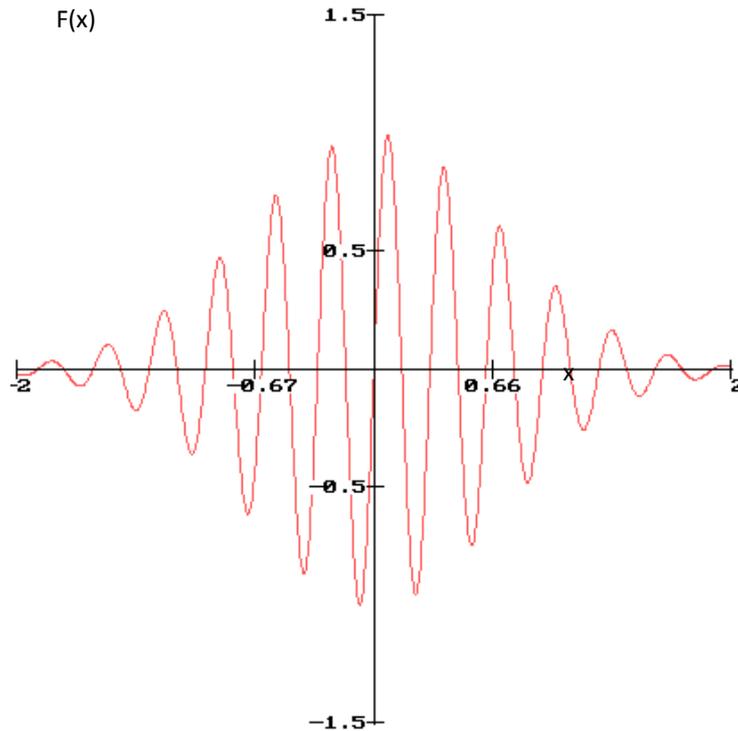


Figura 2.9 Exemplo de sinal básico de comparação da transformada Gabor. O sinal graficado é $f(x)=\sin(20*x)*\exp(-x^2)$

Comparando-se as expressões 2.11, 2.12 e 2.13 da transformada de Fourier, da transformada de tempo curto e da transformada de Gabor, identificam-se diferenças básicas: na transformada Gabor multiplicam-se o seno e cosseno por uma gaussiana⁹ com um valor de largura definido pela variável a , conforme equação 2.12, enquanto que a STFT acrescenta uma forma de onda delimitada no tempo mas que não necessariamente precisa ser a gaussiana (na equação 2.12, determinada pela função genérica $g(s-t)$). Evidentemente, toda transformada Gabor é uma STFT, mas não o contrário.

$$FT_{\omega} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot e^{-j\omega t} \cdot dt = k_{\omega} \quad (2.11)$$

$$G_{\omega,t} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(s) \cdot e^{-\pi \cdot a \cdot (s-t)^2} \cdot e^{-j\omega s} \cdot ds = k_{\omega,t} \quad (2.12)$$

⁹ GABOR Transform. Wikipedia, the free encyclopedia. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Gabor_transform>. Acesso em: em 16 de jun. de 2015.

$$STFT_{\omega,t} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(s) \cdot g(s-t) \cdot e^{-j\omega s} \cdot ds = k_{\omega,t} \quad (2.13)$$

Uma limitação de ambos, Gabor e STFT, é a o fato de que a janela (o sinal delimitador) possui largura fixa. Isso acaba gerando um compromisso entre a capacidade de resolução de baixas frequências e de altas frequências. Janelas de tempo largo são úteis para identificar baixas frequências, mas tem pouca precisão para sinais rápidos de altas frequências. Janelas de tempo rápidas são úteis para identificar o momento preciso de altas frequências, mas tem pouca precisão para identificar baixas frequências.

Um pequeno teste, adaptado do primeiro capítulo do livro de Daubechies (op. cit.), pode ser feito colocando um sinal com duas frequências baixas e dois impulsos em momentos distintos. Usando um sinal com 50Hz e 100Hz, conforme equação 2.14 e gráfico original capturado do Scilab na figura 2.10, e avaliando num intervalo de 1,024 segundos, pode-se analisar melhor a diferença entre STFT e WT (*Wavelet Transform*).

$$F(t) = \text{sen}(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot t) + \sin(2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot t) + \delta(0.512s) + \delta(0.544s) \quad (2.14)$$

Em que δ significa a função impulso, infinito no instante determinado, zero nos demais pontos.

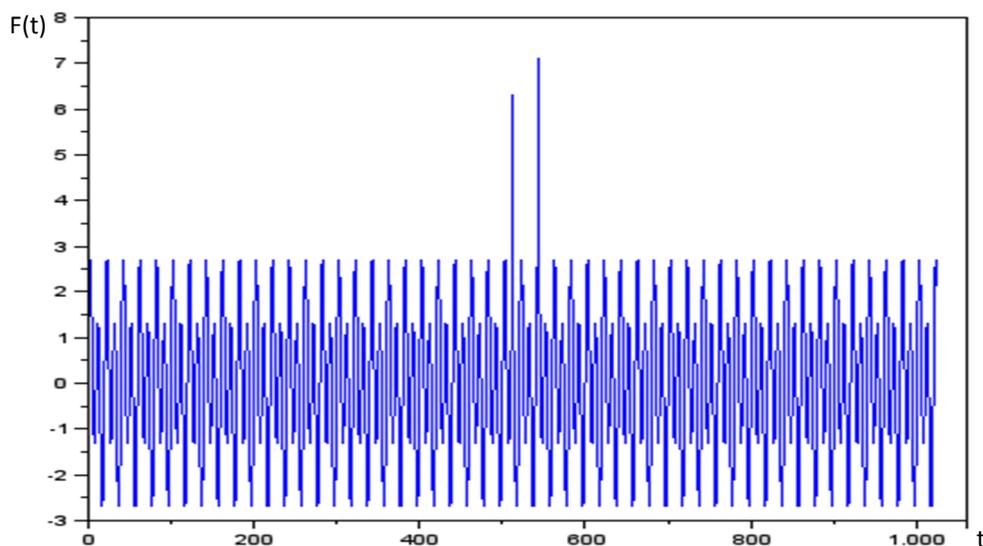


Figura 2.10 Sinal definido na equação 2.14. A taxa de amostragem é de 1ms.

Para a análise da transformada de Fourier de tempo curto, a STFT, foram testadas janelas $g(s-t)$ do tipo *Hamming* de 256ms, 128ms, 64ms e 32ms. Os resultados podem ser vistos nas figuras 2.11a até 2.11d, elaboradas por este autor.

O que se pode perceber nestas figuras é que a janela mais larga (256ms) consegue mostrar com precisão as frequências constantes de 50Hz e 100Hz, mas não consegue perceber o momento em que os dois impulsos acontecem.

Já a janela menor de 32ms detecta com clareza o momento em que os impulsos acontecem, mas as duas frequências estáveis se transformam num bloco único. As janelas intermediárias até conseguem trabalhar algum tipo de compromisso, mas com definição comprometida em ambos os parâmetros, frequência e tempo.

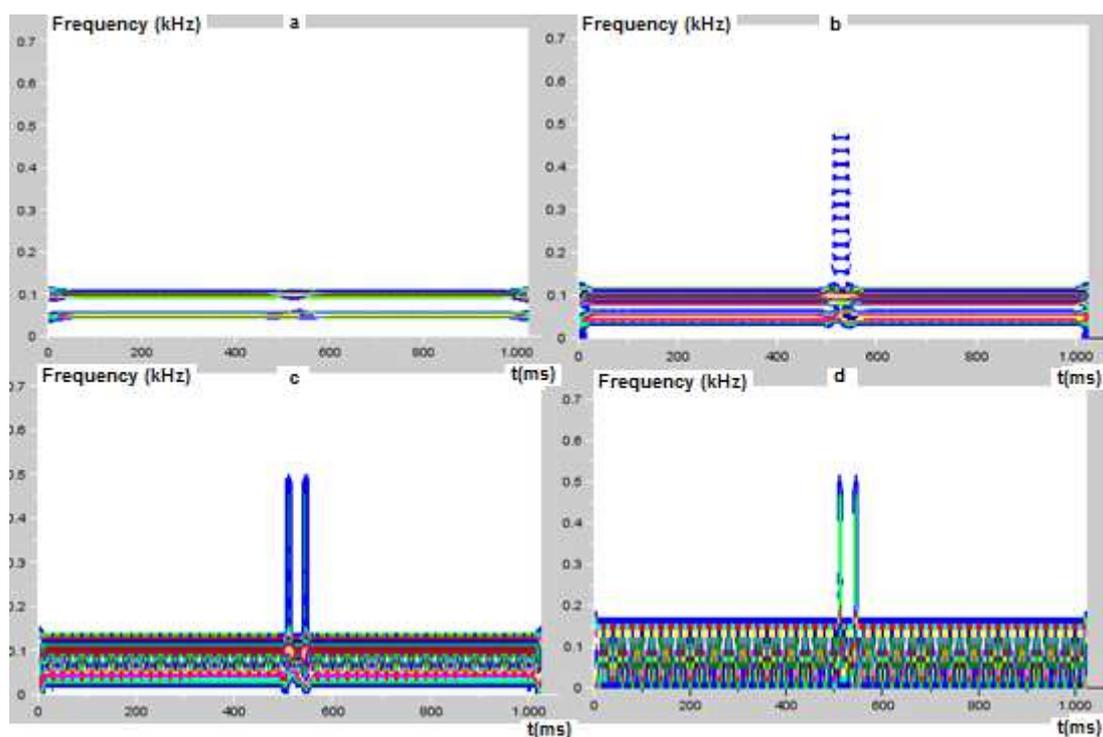


Figura 2.11 Resultado da transformada STFT para cada janela do tipo Hamming de 256ms (a), 128ms (b), 64ms (c) e 32ms (d).

A formulação clássica da transformada *wavelet*, apresentada na equação 2.15, é bastante similar à formulação da STFT:

$$WT_{a,b} = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) \cdot dt = C_{\psi_{a,b}} \quad (2.15)$$

onde os parâmetros **a** e **b** são os responsáveis pela dilatação (estritamente ou alongamento da forma de onda) e translação (variação no eixo do tempo) da função *wavelet*-mãe ψ .

A grande vantagem das *wavelets* é que a opção por utilizar as variáveis *a* e *b* permite estabelecer um compromisso entre a correta identificação de baixas frequências e a localização no tempo das altas frequências. Isso fica perceptível ao se analisar o mesmo sinal da equação 2.14 utilizando a *wavelet*-mãe do tipo *morlet* com janelas de 32 pontos de escala, como se pode ver na figura 2.12.

É possível perceber claramente que existem duas frequências contínuas e que a *wavelet* consegue acertar com boa definição o momento em que os impulsos acontecem. Como o eixo vertical está em escala logarítmica, há uma pequena distorção no parâmetro de frequência, mas o resultado é melhor que qualquer STFT mostrada anteriormente.

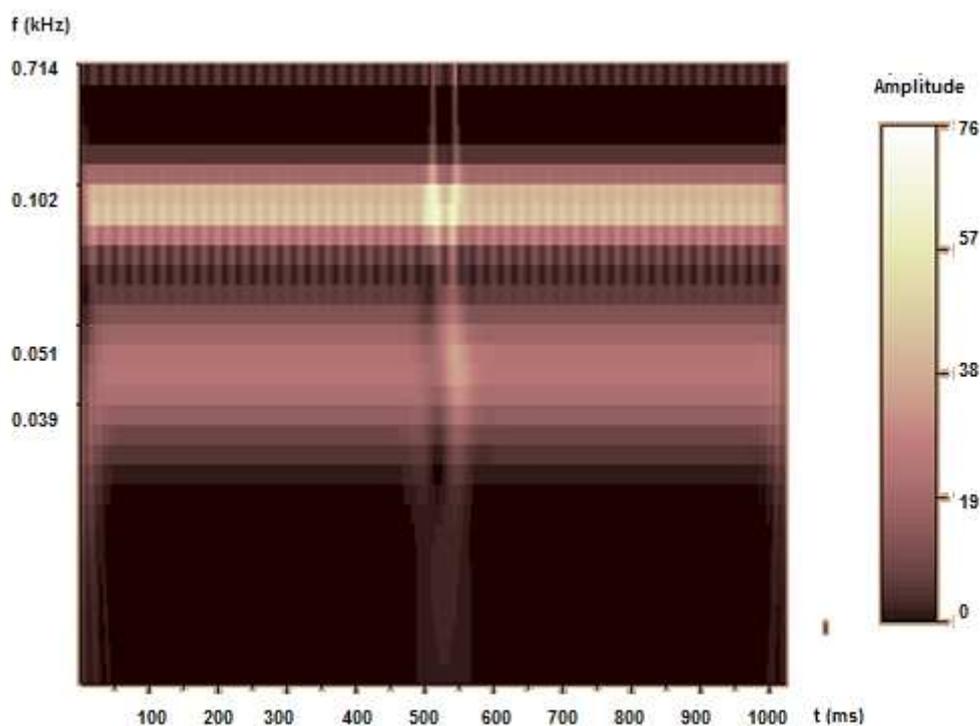


Figura 2.12 Resultado da transformada WT para escala de 32 pontos

A transformada *wavelet* equilibra com precisão razoável a detecção do momento do impulso, da mesma forma que a janela STFT de baixa duração, e o espectro das frequências contínuas, da mesma forma que a janela STFT de longa duração.

A diferença básica entre os sinais de uma *wavelet* e da STFT são em relação à largura da janela e, conseqüentemente, em relação à quantidade de picos necessários para caracterizar determinada frequência. As figuras 2.13, 2.14, 2.15 e 2.16, elaboradas pelo autor inspiradas em Rioul & Vetterli (1991), permitem percebê-lo com mais clareza.

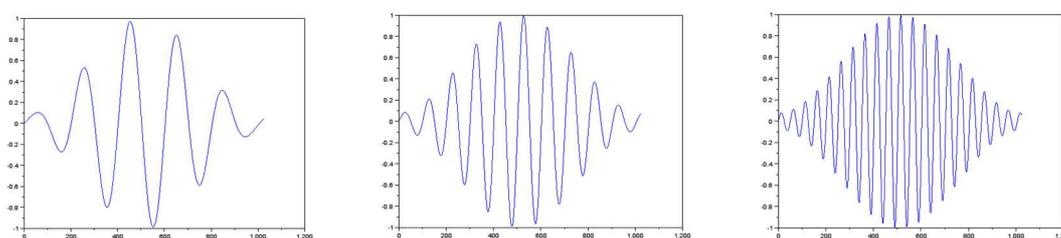


Figura 2.13 Diferentes frequências para uma STFT ao efetuar a varredura de um sinal

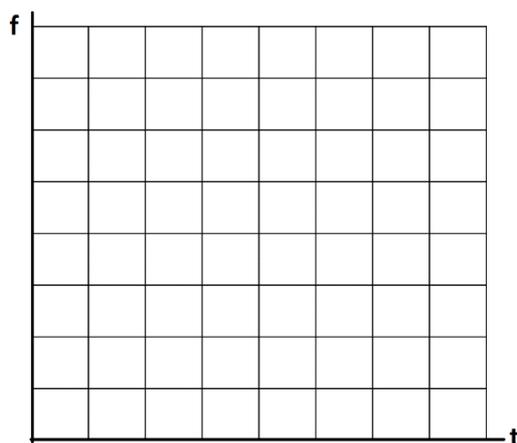


Figura 2.14 Estrutura de relacionamento entre frequência e tempo para a STFT

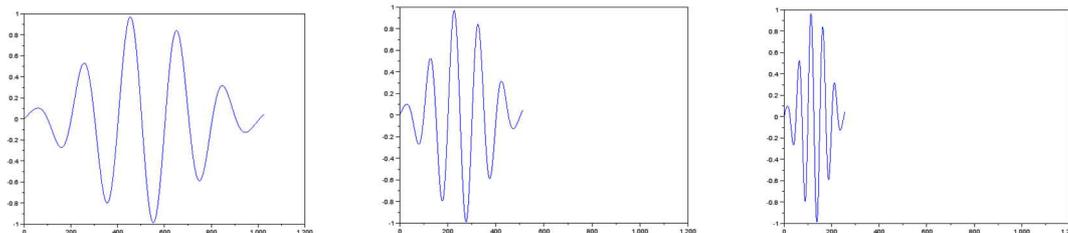


Figura 2.15 Diferentes frequências para uma *wavelet* ao efetuar a varredura de um sinal. Importante notar que a forma de onda não se altera.

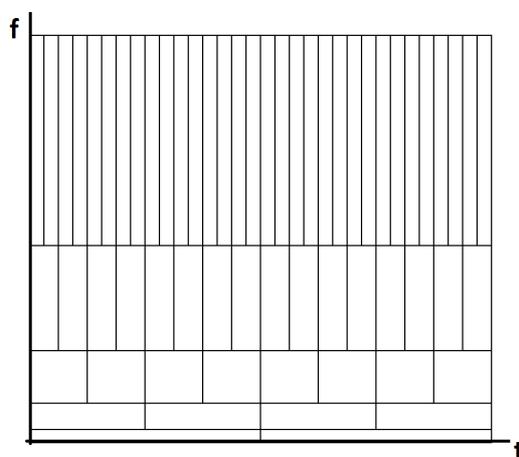


Figura 2.16 Estrutura de relacionamento entre frequência e tempo para a WT

Aqui, pode-se notar que a forma de onda de menor frequência foi modelada para ser igual para ambos, mas os sinais de frequência maior divergem substancialmente. Na verdade, nas *wavelets* o formato básico da forma de onda nunca muda, independente da largura da janela. Já na STFT a largura da janela é o parâmetro invariante.

Existem várias maneiras de se classificar os diferentes tipos de *wavelet* (GRAPS, 1995; WALKER, 1999; GARGOUR et al., 2009). Uma destas classificações se subdivide entre as *wavelets* contínuas (CWT, *continuous wavelets*), cujos parâmetros a e b variam continuamente no conjunto dos reais (SARKAR & SU, 1998), e as *wavelets* discretas (DWT, *discrete wavelets*), em que os parâmetros a e b variam através de intervalos pré-determinados (SARKAR et al., 1998). Estes intervalos podem se sobrepor entre si, de modo que se obtém um certo grau de redundância na transformada *wavelet*. Este tipo

de *wavelet* discreta também é conhecida, no jargão matemático, pelo termo inglês *frames* (DAUBECHIES, op. cit.; WALKER, op. cit.).

Uma segunda possibilidade da *wavelet* discreta é ser ortogonal, ou seja, intervalos que se tocam, mas não se sobrepõem. Geralmente, mas não exclusivamente, estas *wavelets* ortogonais utilizam grandezas de base 2, e com isso conseguem uma cobertura completa de análise do sinal original com o mínimo de informações possível, ou seja, possuem um comportamento de síntese. Um desdobramento da formulação ortogonal é a análise multiresolucional. Um exemplo deste tipo de análise com 3 estágios é a figura 2.17.

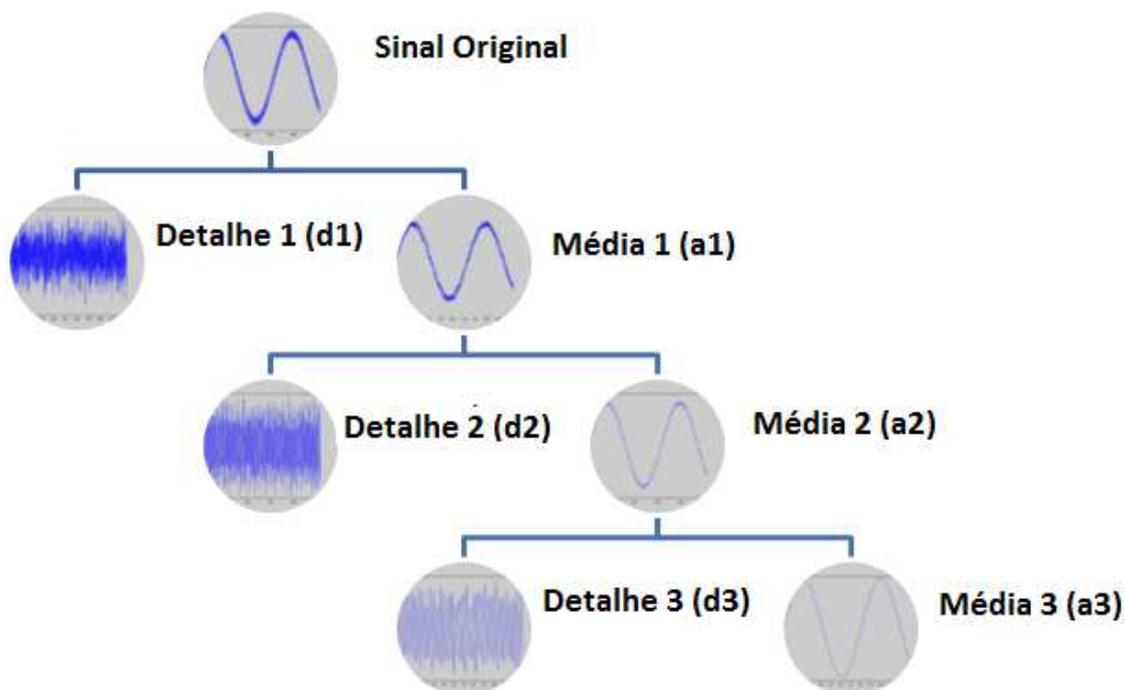


Figura 2.17 Análise Multiresolucional (MRA) com 3 estágios

Uma imagem que pode explicar a diferença entre a formulação em *frames* e a formulação ortogonal está na figura 2.18. O sinal ortogonal tem bandas de frequência bem definidas, enquanto que o filtro no formato de *frames* possui diversas sobreposições de filtros cobrindo uma mesma frequência. As cores e a

variação de amplitudes usadas na figura 2.18 tem intenção apenas ilustrativa, já que a formulação matemática em *frames* é a mesma que a formulação ortogonal.

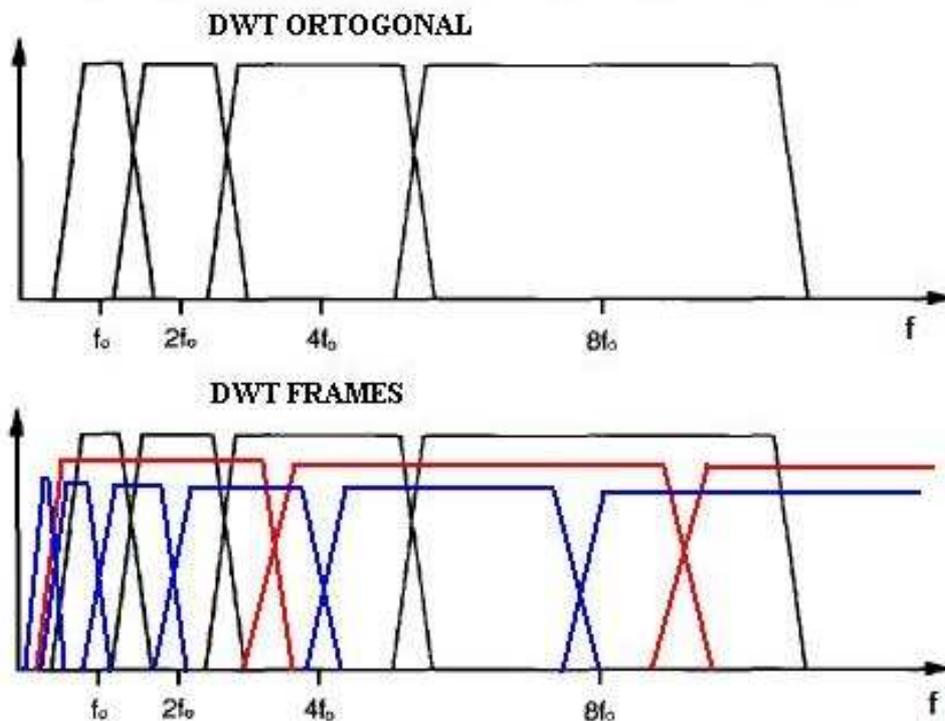


Figura 2.18 Comparativo das bandas de frequência selecionadas pelas *wavelets* ortogonais e em *frames*

A análise multiresolucional é a maneira mais comum de se implementar computacionalmente a transformada *wavelet* (GALLI et al., 1996), e a que será utilizada neste trabalho. Apesar de antigo, um trabalho que resume diversas aplicações da transformada *wavelet* em sistemas de potência é a pesquisa desenvolvida por Fernandez & Rojas (2002).

Para fins práticos, a análise multiresolucional usando base 2 opera como um filtro de sinais passa-alta e passa-baixa exatamente na metade da taxa de amostragem do sinal. O sinal de alta frequência é filtrado para um coeficiente denominado de “detalhe”, e o sinal de menor frequência transforma-se num coeficiente denominado de “média”. Esse processo pode ser repetido de modo recursivo, filtrando novamente o sinal de média, gerando um determinado número de detalhes e uma média final com o resíduo de frequência mais baixa.

Na formulação clássica da análise multiresolucional, ambos os sinais média e detalhe tem sua taxa de amostragem reduzidos pela metade, e essa redução de dados é que cria a cascata de frequências esperadas. Em geral o

processo recursivo é interrompido quando o total de amostras do sinal reduzido está próximo da quantidade de amostras mínimas necessárias para descrever a *wavelet*-mãe utilizada (DAUBECHIES, op. cit.).

Neste trabalho, a análise multiresolucional foi empregada para analisar no domínio do tempo e da frequência os sinais gerados pelos eventos de curtos-circuitos nos circuitos estudados. Após testes empíricos no módulo de detecção, foi empregada uma *wavelet*-mãe Daubechies tipo 4, que possibilitou 7 etapas recursivas no sistema analisado, ou seja, foram gerados 7 sinais de detalhe com suas bandas de frequência correspondentes, e um sinal final de média. Esta aplicação é melhor detalhada no capítulo 5.

2.2.3 Redes Neurais Artificiais

O uso de sistemas computacionais para auxiliar na análise de sistemas elétricos começou a ser usado praticamente desde que foi possível programar computadores com cartões perfurados (FUCHS, op. cit.). Inicialmente foram usados os métodos de inferência baseados em regras de produção e algoritmos sequenciais (*if then else*, etc.), mas a partir de fins da década de 80 (EL-SHARKAWI & NIEBER, 1996) as técnicas de redes neurais artificiais e lógica nebulosa passaram a também ser empregados, e, com o passar do tempo, novos métodos mais modernos foram sendo agregados, como máquinas de vetores de suporte, sistemas *neuro-fuzzy* e métodos probabilísticos (Id., *ibid.*).

Detalhes de como funcionam os métodos de inferência do tipo regra de produção podem ser melhor detalhados em Barreto (1997). Sistemas de lógica nebulosa (BARRETO, op. cit.; NASCIMENTO JR & YONEYAMA, 2000), modelos matemáticos (NASCIMENTO JR & YONEYAMA, op. cit.; HAYKIN, 2001) e técnicas probabilísticas (HAYKIN, op. cit.) também podem ser melhor estudados em outras referências. Devido à natureza determinística deste trabalho, em que serão utilizadas as energias dos diversos detalhes e médias *wavelet* do sinal pós-curto, considerando que o circuito analisado é completamente conhecido e que os eventos de curto em diversas condições serão testados e validados previamente, a metodologia adotada será a rede neural artificial com supervisão forte.

A rede neural artificial pode ser definida como uma estrutura que processa um conjunto de dados de forma paralela e distribuída, com unidades de

processamento – o neurônio – interconectadas (Id., Ibid.). Este tipo de rede consegue efetuar um mapeamento entre dados de entrada e suas saídas correspondentes esperadas através do aprendizado por experiência, ajustando a força de conexão entre seus diversos neurônios – força esta também chamada de peso sináptico – com base nas amostras de treinamento apresentadas.

Analisando o neurônio, elemento básico das redes neurais, é possível entender parte das suas funcionalidades práticas. A figura 2.19 mostra de maneira esquematizada o neurônio e suas principais características. Ele possui diversas entradas com seus pesos sinápticos específicos que são somadas, e este resultado é carregado em uma função de ativação. É esta função de ativação que definirá a saída final do neurônio.

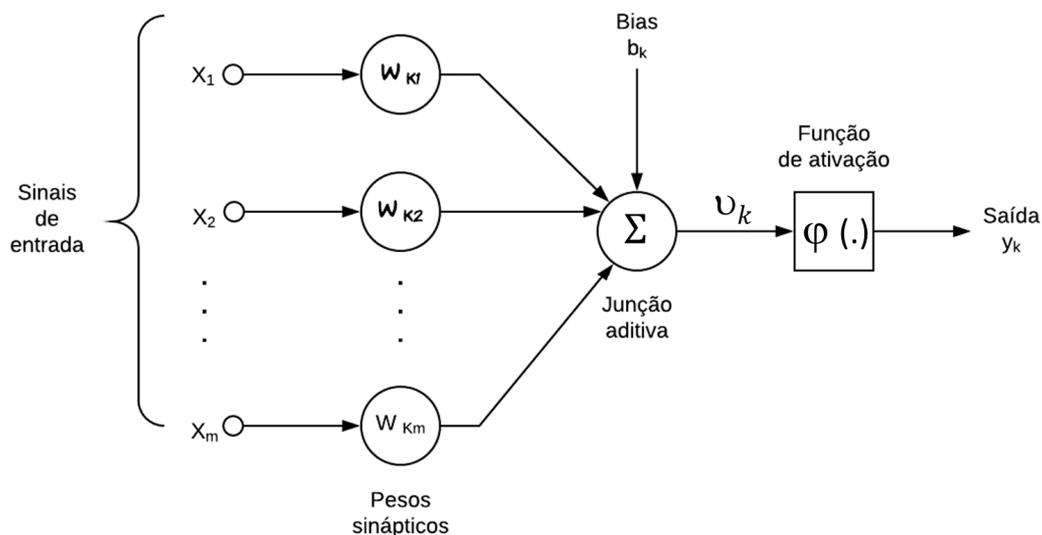


Figura 2.19 Modelo do neurônio artificial

Matematicamente, podemos resumir a figura anterior para um neurônio k arbitrário na equação 2.16:

$$y_k = \varphi(b_k + \sum_{j=1}^m w_{kj} \cdot x_j) \quad (2.16)$$

onde y_k é a saída do neurônio, x_j é a entrada j , b_k é um parâmetro fixo de viés ou *bias*, w_{kj} é o peso sináptico do neurônio k para a entrada j e $\varphi(.)$ é a função de ativação do neurônio (HAYKIN, op. cit.).

Há muitos tipos de funções de ativação do neurônio (NASCIMENTO JR & YONEYAMA, op. cit), mas a maior parte deles opera na forma de um limiar contínuo ou discreto. Neurônios binários foram os primeiros a ser apresentados no trabalho original de McCulloch & Pitts em 1943 (HAYKIN, op. cit.) e têm sua aplicação para certas tarefas, no entanto estão consagrados nas aplicações modernas (Id. Ibid.) os modelos sigmóides, em especial o neurônio que usa a função tangente hiperbólica, como se vê na figura 2.20.

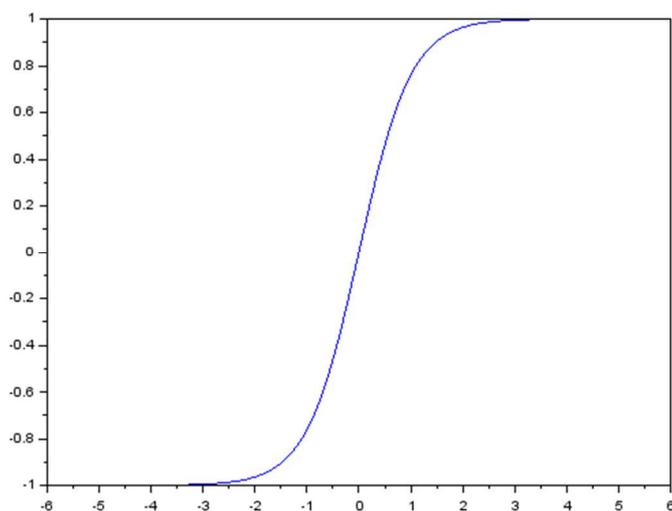


Figura 2.20 Forma de onda da tangente hiperbólica

A rede neural obtém sua capacidade de resolver problemas da faculdade de aprendizado com base nos dados de entrada. Existem algumas regras básicas de aprendizagem (Id., Ibid.), como aprendizagem baseada em memória e aprendizagem hebbiana, mas este trabalho ficará restrito à regra de aprendizagem por correção de erro. Neste método, em essência, o neurônio recebe as entradas de treinamento, computa a saída esperada e ajusta seus pesos sinápticos conforme o tipo de supervisão empregado.

Existem diversas técnicas de aprendizado por correção de erro para as redes neurais (FACELI et al., 2011), mas a classificação clássica concerne à força da supervisão, ou seja, se ela é uma supervisão forte, que, no limite, define

previamente os pesos sinápticos de cada neurônio, ou fraca, em que a rede neuronal procura identificar padrões nos dados de modo indistinto, e praticamente sem definição externa prévia (NASCIMENTO JR & YONEYAMA, op. cit.). O método mais amplamente empregado é um método intermediário, considerado de supervisão forte, contudo, o algoritmo de propagação reversa, também chamado de retropropagação e mais conhecido pelo termo inglês *back propagation* (EL-SHARKAWI & NIEBER, op. cit.). Este método será utilizado neste trabalho.

O método de propagação reversa divide o conjunto de dados analisados em dados de aprendizado e dados de teste, alinhando um determinado conjunto de entradas a uma saída previamente conhecida, minimizando o erro quadrático das saídas e corrigindo paulatinamente os pesos sinápticos de cada neurônio. O algoritmo de treinamento opera de modo recursivo, treinando por diversas vezes a rede neuronal com o conjunto de dados de aprendizado, até chegar a um erro aceitável. O conjunto de dados de teste fazem a validação do treinamento. Uma forma gráfica de mostrar este processo está na figura 2.21.

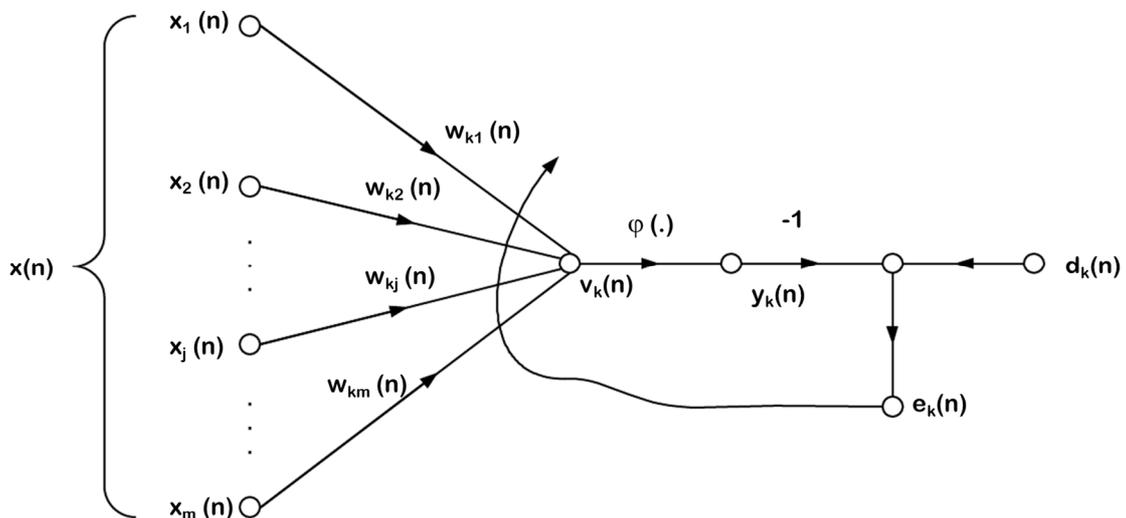


Figura 2.21 Neurônio com aprendizagem por correção de erro

O algoritmo básico do método de aprendizagem por correção de erro pode ser resumido nas equações 2.17 e 2.18:

$$e_k(N) = d_k(N) - y_k(N) \quad (2.17)$$

$$w_{kj}(N + 1) = w_{kj}(N) + \eta \cdot x_j(N) \cdot e_k(N) \quad (2.18)$$

onde $e_k(N)$ é o sinal de erro do neurônio no passo N , cotejando a diferença entre a saída $y_k(N)$ com a resposta desejada $d_k(N)$. O valor do próximo passo do peso sináptico do neurônio k para a entrada j é $w_{kj}(N+1)$, que utiliza o valor do peso sináptico do passo anterior, o já calculado sinal de erro do neurônio, a entrada j definida por $x_j(N)$ e o coeficiente de aprendizado η (NASCIMENTO JR & YONEYAMA, op. cit.).

A escolha do coeficiente de aprendizado η influencia na velocidade do aprendizado e no desempenho numérico da rede neural. Um valor muito pequeno de η pode trazer um desempenho melhor, mas fará com que o tempo de aprendizado seja exageradamente grande, ao passo que um η próximo a 1 pode fazer com que a convergência seja rápida, mas a rede neural não consiga reduzir a valores aceitáveis o sinal de erro do neurônio.

O processo de treinamento com a técnica de retropropagação para uma rede neural de múltiplas camadas é uma expansão do que já foi mostrado para um único neurônio (HAYKIN, op. cit.). Pode-se observar na figura 2.22 que o fluxo de sinais funcionais, ou seja, os sinais calculados pelos pesos sinápticos, processa-se de forma direta, iniciando-se pelos neurônios de entrada, e os sinais de erro propagam-se de forma reversa, corrigindo primeiramente os pesos sinápticos dos neurônios de saída e seguindo pelos neurônios ocultos em direção aos neurônios de entrada.

Durante a etapa de propagação, os dados de entrada de treinamento são apresentados à rede neural, e esses sinais trafegam em direção aos neurônios de saída conforme os pesos sinápticos vigentes. No algoritmo completo, a rede neural é inicializada com pesos sinápticos aleatórios, dentro de certos limites que incentivam a convergência. Quando os valores de saída são computados, é possível comparar os dados efetivamente calculados pela rede neural e os resultados esperados daquele conjunto de dados de treinamento. Esta diferença,

computada da mesma forma que na equação 2.17, é o insumo para a etapa de retropropagação.

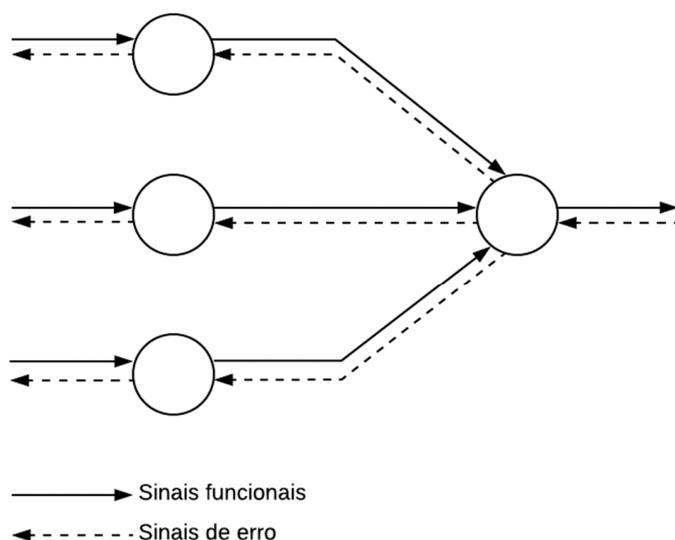


Figura 2.22 Fluxo de sinais numa rede neural com múltiplas camadas

Na propagação reversa, os sinais de erro corrigem paulatinamente os pesos sinápticos, iniciando pela correção nos neurônios de saída e prosseguindo pelos neurônios das camadas ocultas até os neurônios de entrada. A matemática completa é longa e reproduzi-la foge ao escopo deste trabalho, mas pode ser consultada em Haykin (HAYKIN, op. cit.).

Há dois modos básicos de treinamento de redes neurais pelo método de retropropagação, definidos pela forma de processar o conjunto de treinamento: sequencial ou por lote. Um conjunto de treinamento da rede neural é denominada época, e ela contém todos os n grupos de treinamento, vinculando suas entradas e saídas. No modo sequencial, também conhecido pelo termo inglês *online*, a cada grupo de dados de entrada e sua respectiva saída, é efetuado o processo completo de correção dos pesos sinápticos de toda a rede neural. Quando todos os grupos de entrada e saída foram apresentados à rede neural, o modo sequencial efetuou um total de n correções dos pesos sinápticos. No modo em lote, a correção dos pesos sinápticos é executada apenas uma vez por época, utilizando o erro médio quadrado de todo o conjunto de treinamento.

Apesar de ser influenciado pela topologia da rede neural analisada, devido ao fato de executar menos cálculos por época, o modo por lote gasta menos

tempo computacional que o modo sequencial para a mesma rede, considerando o mesmo número de épocas de treinamento, e por este motivo foi o método utilizado aqui. Detalharemos a rede neural utilizada e suas características no capítulo 5.

Por fim, encerrando a apresentação do conteúdo metodológico das redes neurais, ressalta-se que a classificação de padrões em diferentes grupos efetuado pelas redes neurais não é plenamente preciso, pois depende das propriedades das diferentes classes e do quão distantes os conjuntos de dados de entrada podem vir a ser.

Pode-se entender melhor este tipo de afirmação considerando o gráfico apresentado na figura 2.23.

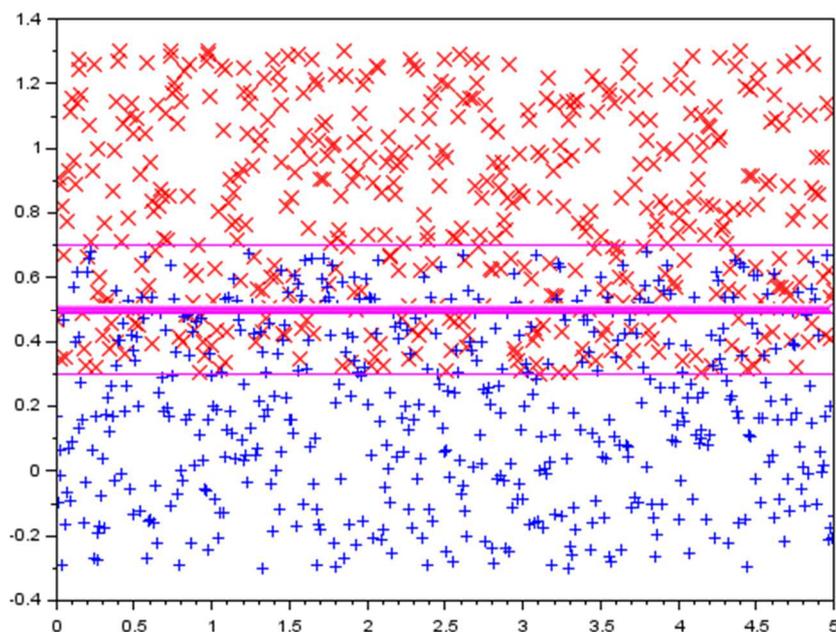


Figura 2.23 Gráfico da distribuição das classes C1 e C2, que são conjuntos de dados com sobreposição, e classificação efetuada por uma rede neural

Supõe-se que existam duas classes, C1, definida pelos X vermelhos que se distribuem no eixo das ordenadas entre os limites 0,3 e 1,3, e C2, definida por + azuis que se distribuem no eixo das ordenadas entre os limites -0,3 e 0,7. Uma rede neural que pretenda classificar estas duas classes separadamente jamais

obterá 100% de precisão em virtude da sobreposição dos dados de entradas. Uma linha rígida sobre o valor 0,5 da ordenada seria um tipo de separação possível, mas toda a região entre os valores 0,3 e 0,7 da ordenada possuem sobreposições que não teriam resolução plena de modo a discernir as duas classes.

3 DETECÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM REDES ELÉTRICAS COM O USO DE *WAVELETS* E OUTRAS TÉCNICAS

O problema de localização de curtos-circuitos em sistemas de distribuição certamente deve ter acompanhado o nascimento do próprio sistema de distribuição de energia elétrica. A manutenção corretiva é tratada por uma equipe específica do sistema de manutenção de sistemas elétricos, que faz parte de um conjunto maior que contempla inspeção de redes elétricas, manutenção preventiva e preditiva.

A equipe de restabelecimento, com base em experiência, intuição e métodos sistemáticos, vasculha o sistema até encontrar o provável local da falha, e após efetuar as manutenções corretivas necessárias, efetua os procedimentos para religar o sistema. Caso a falha permaneça, um novo ciclo de análise se repete, até que a causa-raiz seja efetivamente encontrada e o sistema possa operar de forma estável (CIPOLI, 1993).

Para evitar esta dependência unívoca da percepção do cliente e da análise essencialmente heurística das equipes de manutenção corretiva, alguns métodos foram experimentados no decorrer da história dos sistemas elétricos de distribuição. Descrever suas características, vantagens e desvantagens, é o que se pretende nos próximos tópicos.

Apesar do escopo deste trabalho se limitar à localização de faltas em sistemas de distribuição com o uso da transformada *wavelet*, com suas características específicas, como bem define Fernandez & Rojas (op. cit.), para este tópico específico de revisão bibliográfica é fundamental apresentar os desenvolvimentos prévios realizados para problemas anteriores, a detecção e

classificação de faltas em sistemas de potência e a localização de faltas em sistemas de transmissão. Ademais, apenas no tópico distribuição será feito um detalhamento maior de técnicas que não utilizam as *wavelets*. Nos itens sobre detecção e classificação, e também sobre localização de faltas em linhas de transmissão, serão tratados somente os trabalhos já publicados que envolvem *wavelets*.

3.1 Detecção e Classificação de Faltas em Sistemas de Potência

O tratamento do problema de detecção e classificação de faltas traz dois resultados positivos explícitos: uma atuação da proteção mais correta e célere, e ao mesmo tempo informações substanciais para que o restabelecimento definitivo aconteça. Um subproblema extremamente relevante que é tratado nos contextos de detecção de faltas é o caso das faltas de alta impedância, as HIF (*High-Impedance Faults*).

Como dito, a totalidade dos artigos aqui citados trata exclusivamente de detecção e classificação que empregam a transformada *wavelet*. Outras técnicas, como as que empregam lógicas dissociadas da análise tempo-frequência, ou técnicas que substituem as *wavelets*, como as transformadas S e TT, podem ser tão ou mais efetivas que a transformada *wavelet*, mas não se coadunam com o escopo deste trabalho.

3.1.1 Detecção de Faltas em Sistemas de Potência

A primeira abordagem deste grupo de artigos é a detecção do evento curto-circuito. Ukil & Zivanovic (2005) e Salim et al. (2007) tem abordagens aproximadamente similares para o problema de detecção em sistemas de potência, empregando a transformada *wavelet* associadas a métodos de inferência.

Diferentes autores (LIAO & ELANGO VAN, 1998; SILVA et al., 2008; JAFARIAN & SANAYE-PASAND, 2010; WANG et al., 2010; PÉREZ et al., 2012) ampliam, com diferentes tipos de *wavelet*, a aplicação da detecção para sistemas de proteção digital. Importante relatar que a maioria das técnicas de proteção

digital vigentes ainda utilizam os simples algoritmos de inferência clássicos, como proteção instantânea, temporizada, diferencial e similares. LIAO & ELANGOVAN (op. cit) e SILVA et al. (op. cit.), em particular, propõem métodos diferentes para obter uma proteção do tipo relé de distância.

Alguns métodos focam na detecção de curtos-circuitos de alta impedância. A tipologia mais comum deste curto-circuito é o evento de um cabo elétrico partido que cai sobre um solo com características isolantes. Neste caso, a intensidade da corrente não é capaz de ultrapassar os limiares das proteções instantâneas ou temporizadas, e com isso é comum que o cabo permaneça energizado no solo, colocando em risco transeuntes e/ou animais no entorno do local.

Diferentes autores (CHAARI et al., 1996; LAZKANO et al., 2004; LAI et al., 2006; WANG & SONG, 2006; NENGLING & JIAJIA, 2008; HUANG et al., 2011; TORRES & RUIZ, 2011; BAQUI et al., 2011) propõem diferentes tipos de solução para detectar este tipo de evento usando a transformada *wavelet* como um filtro de sinais.

Um trabalho interessante que foca na detecção de faltas de alta impedância é o de Santos et al (2013). O método usa as energias das frequências na faixa entre 2kHz e 10kHz para detectar o início do transitório e, assim, efetuar a detecção. Eles desenvolvem o tema para aprimorar o modelo da falta de alta impedância, de modo a aumentar a precisão das simulações computacionais (SANTOS et al, 2015), e conseguem resultados melhores e mais robustos do método de detecção de faltas de alta impedância em relação ao chaveamento de capacitores, faltas sólidas e energização do alimentador (SANTOS et al, 2017).

3.1.2 Classificação de Faltas em Sistemas de Potência

Classificação de faltas é uma extensão da detecção de falta. Identificar qual das fases está em falta, e se é fase-terra, dupla-fase (envolvendo a terra ou não) ou trifásico produz diferentes resultados para a atuação da proteção, bem como para a resposta das equipes de manutenção.

A maioria dos artigos de classificação de faltas também usa o método de inferência baseado em limiares para efetuar a classificação da falta, mas essas técnicas em geral são mais complexas que as de detecção. Muitos autores usam

técnicas de limiar com diferentes formatos (WANG & SONG, op. cit.; LIANG et al., 1998; HONG & ELANGO VAN, 2000; YOUSSEF, 2001; YOUSSEF, 2003; CHANDA, et al., 2004; SILVA et al., 2006; VALSAN & SWARUP, 2008; SAFTY & EL-ZONKOLY, 2009), mesmo em trabalhos bem recentes (ALLIPILLI & NARASHIMA RAO, 2015). Em geral a formulação clássica da técnica de inferência é semelhante à de detecção, com uma referência calibrada que serve de comparação para um determinado conjunto de coeficientes extraídos pelas *wavelets*. Outros autores aplicam algum tipo de inteligência artificial (YOUSSEF, 2004; DAG & UCAK, 2004; SILVA et al., 2006; BHALJA & MAHESHWARI, 2008; UPENDAR et al., 2010; UPENDAR et al., 2012), em que se pode notar o uso de redes neurais, máquinas de vetores de suporte e mesmo lógica *fuzzy*. Estas técnicas funcionam inclusive em redes hexafásicas (KUMAR et al., 2014).

Um resumo comparativo de diversas técnicas de classificação se encontra em alguns trabalhos (MAHANTY & GUPTA, 2006; SUDHA & BASAVARAJU, 2007). Apesar de não ser ostensivo e terem sido redigidos há algum tempo, ambos são sugeridos como uma primeira etapa para que o iniciante conheça as diferentes técnicas de classificação de falta.

Até pelo acesso a dados originais, no entanto, a referência mais consultada neste tópico para o desenvolvimento desta tese foi o trabalho elaborado pelo autor Costa, redigidos em suas teses de mestrado (COSTA, 2006) e doutorado (COSTA, 2010). Este trabalho é a base para a construção de todo o capítulo 4, e também das simulações automatizadas no ATP que são essenciais para a consecução do desenvolvimento desta metodologia de localização de curtos-circuitos aqui proposta.

3.2 Localização de Faltas em Sistemas de Transmissão

O fato de operar com linhas relativamente longas (longas em comparação com as linhas de distribuição) sem derivação (geralmente trechos não ramificados de 20km ou maiores), mesmo que tenha que considerar sistemas em malha fechada, faz com que o trabalho de localização de faltas em redes de transmissão tanto justifique o uso de múltiplos medidores quanto tenha melhor precisão que aplicações similares em sistemas de distribuição.

Assim, é importante entender como as pesquisas foram evoluindo na localização de faltas em sistemas de transmissão, pois muitas das tecnologias empregadas para transmissão foram adaptadas para a distribuição. O foco desta análise se restringirá às técnicas de localização de faltas em sistemas de transmissão empregando a frequência fundamental e empregando a teoria de ondas viajantes. A revisão bibliográfica não é extensiva, haja vista o foco principal serem as redes de distribuição, mas pode ser complementada com estudos mais aprofundados feitos por terceiros ou pelo leitor.

Um dos primeiros trabalhos que resume o estado da arte da localização de faltas em linhas de transmissão é o de Stringfield et al., (1957), mostrando as técnicas convencionais de inspeção visual com as equipes de manutenção, técnicas de frequência fundamental e técnicas que empregam ondas viajantes. Para fins desta revisão bibliográfica, o foco residirá em trabalhos bem mais recentes, mas é importante citar este artigo como curiosidade histórica.

3.2.1 Métodos Baseados na Frequência Fundamental

A localização de faltas baseados na frequência fundamental em sistemas de transmissão foi um tema bem explorado em resumo realizado por Schweitzer III (1990), e também normalizado pelo IEEE¹⁰. O principal problema nestes casos é a dificuldade de identificar com precisão os parâmetros das redes elétricas, e em seguida medir e calcular com precisão os fasores de tensão e corrente da falta.

Com os fasores é possível estimar a localização da falta através do comparativo de impedâncias. Cada tipo de falta (fase-terra, fase-fase, fase-fase-terra e trifásica) tem seu cálculo específico, mas a lógica matemática é a mesma.

Problemas neste método podem aparecer devido à impedância das cargas e também se houver impedância de curto-circuito, pois isso altera o valor da impedância esperada e impede que o cálculo de localização da falta seja preciso. Alguns autores citados na norma IEEE (*Institute for Electrical and*

¹⁰ INSTITUTE FOR ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERS. C37.114-2014 - IEEE Guide for Determining Fault Location on AC Transmission and Distribution Lines. New York, 2004.

Electronic Engineers)¹¹ fazem sugestões para compensar a influência da resistência de falta para o método de impedâncias, com resultados variados.

Um outro método de frequência fundamental, associado aos conceitos de ondas trafegantes, pressupõe a utilização de 2 medidores sincronizados nos extremos da linha de modo a detectar o momento em que as frentes de onda da frequência fundamental chegam em cada um dos extremos. A sincronização temporal permite identificar o local de partida da frente de onda, e, portanto, o local do curto circuito¹².

3.2.2 Métodos Baseados em Sistemas Inteligentes

A maioria dos métodos que empregam sistemas inteligentes para localizar faltas em sistemas de transmissão parte da teoria de ondas viajantes, utilizando *wavelets* para efetuar a identificação do tipo de sinal e do momento em que o sinal chega ao terminal único, ou mesmo duplo, e com isso identificar o local preciso da falta.

Apesar de ser um trabalho relativamente antigo neste tema atual, é relevante citar inicialmente o trabalho de Elhaffar (2008), tese de doutorado sobre o tema localização de faltas em redes de transmissão, tanto por descrever com riquezas de detalhes os procedimentos realizados quanto por também ter servido como indicação de boa parte da lista de artigos que se segue. Um resumo mais atual está em Neri Jr. et al (2016a).

A primeira técnica de localização de faltas em linhas de transmissão usando *wavelets* foi desenvolvida por Magnago e Abur (1998). Eles aplicaram uma *wavelet* mãe do tipo daub4 em um sinal com 100kHz de taxa de amostragem, e usaram dois algoritmos, um para detectar faltas de fase, outro para detectar faltas a terra, já que as velocidades de propagação de onda são diferentes. Magnago e Abur usaram monitoramento em ambas as extremidades da linha, e compararam os resultados com o que se pode obter usando apenas um medidor. Eles detalharam melhor os resultados obtidos com um único medidor em outro trabalho (ABUR & MAGNAGO, 2000).

Gafoor e Rao (2006), com medidores em ambas as extremidades, usaram duas *wavelets* mãe biortogonais. Biortho 2.2 detecta o evento usando um limiar,

¹¹ Id., ibid.

¹² Id., ibid.

e biortho 4.4 localiza a falta através de um rede neural artificial dupla, um algoritmo para falhas na fase, outro para falhas a terra. Xiaoli et al., (2007) também colocaram medidores em ambas as extremidades da linha, e aplicaram uma *wavelet* mãe do tipo B-Spline, chegando a resultados semelhantes a Magnago e Abur (op. cit.).

Thomas et al. (2004) usaram a mesma *daub4* já empregada por Magnago e Abur (op. cit.) em um sistema de transmissão completo, com diversas linhas de transmissão e vários pontos de monitoramento. Os sinais foram processados com uma amostragem de 1250kHz, mas com filtro a 500kHz para dessincronizar os medidores. O algoritmo é baseado em medições individuais, aplicando uma correlação cruzada com coeficientes médios. Silva et al. (2008) empregaram a análise multiresolucional em sinais com 240kHz de taxa de amostragem para identificar a localização de falta em linhas com 3 terminais, com medidores múltiplos, sincronização por GPS (*Global Positioning System*) e baseado nas frequências fundamentais e harmônicas.

Chanda *et al* (2003) usam medidores em ambas as extremidades da linha. Com uma taxa de amostragem de 12,5kHz, eles aplicaram a transformada *wavelet* discreta para remover a segunda e terceira harmônicas (97-195Hz), em seguida efetuaram uma interpolação cúbica em cada terminal para identificar o local da falta. O trabalho de Reddy e Mohanta (2007) usa a MRA para filtrar o sinal original, extrair o detalhe d_3 e concluir a etapa de classificação da falta. Em seguida a linha de transmissão é dividida em frações definidas, e um sistema inteligente baseado em lógica nebulosa (*fuzzy*) define em que intervalo a falta aconteceu. Os mesmos autores, em artigo seguinte (REDDY & MOHANTA, 2008), desenvolvem esta aplicação considerando o efeito de variações de carga para a classificação e localização do evento. Bhowmik et al. (2009) apresentam uma abordagem similar a Reddy e Mohanta, dividindo a linha de transmissão em trechos para calcular o local da falta, mas usando redes neurais, e não lógica nebulosa.

Adaptando a técnica convencional de localização através da impedância fasorial com a aplicação das ondas viajantes e a transformada *wavelet*, Ngu e Ramar (2011) propõem um método para linhas com múltiplos terminais. Medidores em cada terminação das linhas detectam a falta, e baseado no terminal mais próximo a distância é calculada. Jamali e Ghaffarzadehy (2012)

focam em transitórios com arco, e não faltas permanentes. Com uma taxa de amostragem de 2,5kHz, eles eliminam a corrente pré-falta e ruídos, em seguida aplicam uma rede de *wavelets*, similar a uma rede neural, mas empregando coeficientes calculados pela transformada *wavelet*, para computar o local de falta, alcançando erros menores que 0,05%.

Apresentando em dois artigos um pacote amplo de *hardware* e *software*, Jiang *et al* (2011a; 2011b) usam uma taxa de amostragem de 3,84kHz para criar 3 grupos de processamento, um para detectar a falta, outro para classificá-la e um terceiro para calcular a localização da falta. A detecção é feita usando componentes simétricas para não confundir com cargas desequilibradas. Uma *wavelet* mãe daub4 é aplicada em MRA sobre a tensão e a corrente, e pelas técnicas PCA (*Principal Components Analysis*, análise dos componentes principais, em inglês) e SVM (*Support Vector Machine*, Máquinas de Vetores de Suporte, também em inglês) a classificação é obtida. Por fim, uma rede neural estrutural adaptativa, capaz se ser treinada simultaneamente à sua operação, localiza a falta.

Baseado na propriedade das *wavelets* como filtros espelho em quadratura (QMF – *Quadrature Mirror Filters*), Argyropoulos e Lev-Ari (2011) apresentam um algoritmo para selecionar os coeficientes ótimos do diagrama de treliças de modo a construir uma *wavelet* específica para aprimorar a detecção de pico em curtos em linhas de transmissão, permitindo assim maior precisão no trabalho de localização de falta. Valsan e Swarup (2009) desenvolveram um método de localização de falta através da *wavelet* mãe daub6, focando no conteúdo entre 500Hz e 1kHz para detectar, classificar e por fim localizar a falta através de uma topologia com medidores nos extremos da linha.

Jung *et al* (2012) aplicam os conceitos de localização de faltas em linhas de transmissão para proteger e acelerar o reparo de cabos subterrâneos. Após remover ruídos do sinal, e monitorando ambas as extremidades do cabo, um algoritmo duplo identifica a metade problemática, e um algoritmo baseado em medição única calcula a distância. Silva *et al.* (2012) apresentam um algoritmo baseado em redes neurais no domínio complexo e na transformada *wavelet* estacionária, que nada mais é que uma MRA sem aplicar a ação de reduzir na metade os dados após cada passo da transformada discreta.

Korkali et al. (2012) mostram uma técnica para localizar faltas em redes complexas de transmissão usando medidores localizados estrategicamente de modo a abarcar o máximo de locais. A técnica pretende otimizar a quantidade de medidores para redes ramificadas, considerando, no entanto, interpolação entre os resultados de cada medidor para localizar o evento. Dasgupta et al. (op. cit.) usam a *wavelet* mãe daub4 e computam entropias através de uma rede neural de modo a precisar o local em falta na linha de transmissão.

O artigo de Yusuf et al. (2014) obtém bons resultados com uma *wavelet* estacionária e a função determinante para extrair e simplificar os dados da falta. Em seguida emprega uma máquina de vetor de suporte para classificar o tipo da falta, e a regressão de vetor de suporte (*Support Vector Regression, SVR*) para cada um dos dez tipos de evento de falta (AG, BG, ABC, etc.) de modo a precisar o local do curto-circuito.

Um artigo de revisão bibliográfica que cita diversos dos artigos aqui comentados e que faz um resumo bastante didático de técnicas em localização de faltas em redes de transmissão é o trabalho de Andrade e Leão (2014).

Alguns artigos consultados usam a transformada de Fourier (KIM et al., 2009) ou outras funções de correlação (Id., ibid.), mas o mecanismo básico de localização da falta é o mesmo, ou seja, o momento em que o sinal de falta viaja até o(s) medidor(es) é o que permite identificar o local do curto-circuito.

Raooft et al (2015) inovam na localização de faltas em linhas de transmissão usando *wavelets* e redes neurais ao coletar os sinais elétricos diretamente da camada de comunicação de potência de um transformador de tensão capacitivo (CVT, *Capacitive Voltage Transformer*). Meyur et al (2016) associam o filtro de sinais da análise multiresolucional *wavelet* com um sistema de inferência neural-nebuloso adaptativo, conhecido pela terminologia em inglês *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, ANFIS*, de modo a localizar o ponto do curto circuito numa rede de transmissão com duas linhas paralelas, calculando a distância do local do curto com erros menores que 1%. Hosseini et al (2017) apresentam um sistema que associa a transformada *wavelet* com redes neurais para classificar o tipo de falta, e após esta classificação uma das 10 redes neurais de localização da falta é selecionada para indicar o ponto em que ocorreu o curto-circuito.

Outros pesquisadores utilizaram técnicas mais específicas, como filtros Butterworth condicionando o sinal que será processado por um sistema em linguagem de programação C implementado dentro da rotina MODELS do ATP (PEREIRA & ZANETTA JR., 2003), estimação de estado transitório (YU & WATSON, 2005) ou mesmo medição poste a poste da corrente de fuga (*leakage current*) (SILVA et al., 2012) para permitir que um sistema de classificação inteligente possa identificar o local do curto-circuito.

Dois fabricantes¹³ apresentam sistemas de localização de falta em linhas de transmissão aplicando o teorema das ondas viajantes (MARX et al., s/d), incorporando algoritmos próprios em registradores digitais ou relés.

3.3 Localização de Faltas em Sistemas de Distribuição

A localização de faltas em sistemas de distribuição é um tema menos desenvolvido que em sistemas de transmissão devido a seus problemas inerentes. A quantidade de redes de distribuição é significativamente mais ampla, geralmente mais ramificadas, com diversas derivações, e normalmente transportam pacotes de energia menores, sendo, por conseguinte, menos importantes.

Ainda assim o problema sempre existiu e foi tratado de diversas formas. O artigo de Mirzaei et al. (2009) e o de Suárez et al. (2010) fazem uma classificação abrangente de diferentes técnicas, mas neste texto, para os fins desta abordagem bibliográfica, dividiu-se as técnicas de localização de faltas em redes de distribuição em 3 casos particulares: métodos baseados na frequência fundamental, em muitos casos também denominados métodos de impedância; métodos que empregam sistemas inteligentes, com destaque para o uso da transformada *wavelet* em associação com a teoria das ondas viajantes; e outros métodos simples que não se encaixam nestes dois grupos.

¹³ REASON RPV 311: Registrador Digital de Perturbações com Localizador de Falta e PMU. Disponível em: <http://www.gegridsolutions.com/alstomenergy/grid/Global/Grid/Resources/Documents/Automation/Reason%20products/Grid-GA-L3-Reason_RPV311_RAs-1039-2016_07-PT_lo.pdf>. Acesso em: 29 de ago. de 2017.

3.3.1 Distribuição - Métodos Baseados na Frequência Fundamental

Métodos que utilizam a frequência fundamental como premissa de cálculo, mesmo que empreguem de qualquer forma sistemas inteligentes, serão avaliados neste tópico. Estes são os métodos mais antigos para se tentar localizar faltas em sistemas de distribuição.

A norma IEEE (op. cit.) faz um resumo das técnicas tradicionais de localização de falta em sistemas de distribuição em sua seção 6.4, embora não aprofunde sobremaneira o tema. O artigo de Saha et al. (2002), apesar de se denominar uma revisão de métodos de localização de falta em sistemas de distribuição, na verdade coteja os diferentes resultados de métodos que utilizam a frequência fundamental.

O método básico descrito na norma IEEE, e em vários outros estudos (SAHA et al., op. cit.; OIRSOW & PROVOOST, 2003; SAHA et al., 2005; FULCZYK et al., 2007; HUANG & KACZMARK, 2007; DONG & KEZUNOVIC, 2009; DECANINI & MINUSSI, 2010), é calcular as impedâncias do circuito analisado, seja de forma fasorial, seja usando valores de transformadas (como DQ0 ou componentes simétricas), e comparar este resultado com uma relação entre as tensões e correntes medidas, e a partir destes dados aplicar um algoritmo que permita definir o local da ocorrência. Em que pese as particularidades de cada trabalho, o modo básico de operação para localizar a falta é consistentemente similar entre os artigos deste tópico. Mesmo uma proposta considerando sistemas com geração distribuída (MARVIK et al., 2009) tem formulação e resultados bastante similares.

Dois artigos que fogem ao escopo restrito aqui avaliado, mas que aparentemente levam a análise de impedância a um patamar interessante de resultados e aplicação prática são os de Salim et al. (2009; 2011), em que associam os cálculos convencionais de métodos de impedância com correções derivadas de análise de fluxo de carga, efeito capacitivo e desbalanceamento de fases para aumentar a precisão.

Uma implementação prática da localização de falta usando métodos de impedância foi efetuada por um fabricante comercial em um relé de proteção, e pode ser vista em Gong e Guzman (2013).

3.3.2 Distribuição - Métodos Baseados em Sistemas Inteligentes

O método proposto neste trabalho é derivado das análises efetuadas nos artigos que se utilizam de sistemas inteligentes para localizar faltas em sistemas de distribuição. Existe um volume significativo de trabalhos na área, e alguns deles, citados oportunamente, serviram como principais incentivadores para a proposta aqui apresentada.

Os métodos baseados em sistemas inteligentes efetuam algum tipo de conversão analógico-digital para processar os sinais elétricos da rede de distribuição, seja corrente ou tensão ou ambos, e transforma esses sinais em dados que podem ser manipulados por um computador.

Os métodos mais comuns utilizam a transformada de Fourier ou a transformada *wavelet*, associadas a regras de inferência (algoritmos *if then else*) e, em alguns casos, redes neurais. Até por fazer parte da abordagem deste trabalho, nesta seção será dado um destaque maior aos estudos que associam a localização de faltas em redes de distribuição com a transformada *wavelet* e a teoria das ondas viajantes.

A localização de faltas em sistemas de distribuição usando a transformada *wavelet* possui uma abordagem distinta dos eventos em redes de transmissão. A teoria das ondas viajantes continua sendo empregada, mas a topologia radial ramificada e a consequente profusão de reflexões e refrações do sinal complicam os cálculos. Um resumo de artigos pode ser encontrado em (NERI JR. et al, op. cit)

Magnago e Abur (1999) são novamente os precursores, continuando o desenvolvimento do artigo anterior (op. cit.), empregando DWT com uma taxa de amostragem de 100kHz para identificar o trecho em que ocorre o curto-circuito, e em seguida o método fasorial na frequência fundamental para calcular a distância da falta em relação ao ponto de medição. Bo *et al* (1999) avaliam uma rede de distribuição simplificada, usando alta frequência de amostragem (10MHz) para avaliar a polaridade da corrente de arco e o intervalo entre diversas reflexões. O método é bastante preciso, mas na prática funciona de modo similar ao que é realizado em linhas de transmissão. Yan et al. (2002) usam uma taxa de amostragem ainda maior que Bo, 100MHz, e aplicam o pacote de *wavelets* para detectar o ramal com problemas comparando os dados pré-

calculados de um autovetor da rede. Os intervalos entre as reflexões permitem calcular o local da falta.

Peretto *et al* (2007) inserem monitores de tensão em cada nó do sistema sincronizados através de GPS, e com uma amostra de 10MHz e a *wavelet* mãe daub4 computam os intervalos entre sinais para achar o ponto com defeito, diferenciando os algoritmos de falta de fase e falta à terra devido às distintas velocidades de propagação. Nouri et al. (2001) trabalham de modo semelhante a Peretto (op. cit.), mas com um algoritmo que calcula múltiplas distâncias para cada medidor e avalia desta forma o mais preciso.

O artigo de Chunju et al. (2007) aplica uma taxa de amostragem relativamente baixa, somente 1200Hz, e tenta identificar faltas fase-terra em sistemas aterrados pela bobina de Petersen, também chamada bobina de supressão de arco, que é utilizada em certos sistemas de distribuição de modo a compensar a capacitância intrínseca de rede elétrica e, assim, eliminar ou reduzir a valores muito pequenos a corrente elétrica de curtos monofásicos à terra, evitando arcos voltaicos. Usando a *wavelet* mãe daub4, eles avaliam o conteúdo harmônico pré e pós-falta, e um sistema inteligente baseado em redes neurais e lógica nebulosa (*fuzzy*) classifica o tipo de falta e indica a distância do local de falha para o ponto de medição, mas eles não testam esta técnica em sistemas ramificados.

Outros dois estudos (ELKALAHASHY et al., 2007; DWIVEDI et al., 2008) operam de modo similar a Chan, com apenas um medidor. O detalhe d3 da MRA (1,25-6,25kHz no caso de Darwish, 60Hz-200Hz no artigo de Dwivedi) identifica o ramo defeituoso, mas o algoritmo não computa a distância do curto-circuito em relação à fonte. Souza et al. (2005) alcançam praticamente o mesmo efeito que ambos empregando um algoritmo distinto e sistemático, com regras de decisão. Jalali e Moslemi (2005) também param apenas na identificação do ramo em falta. Primeiro calculam a matriz modal da linha de transmissão no modelo JMarti de cada ramo (MARTI, 1982), em seguida calculam previamente a energia dos coeficientes *wavelet* representando essa matriz, e por fim comparam os coeficientes do detalhe d3 da transformada contínua com as energias previamente calculadas.

Borghetti *et al* (2006; 2007; 2009) desenvolveram um sistema que emprega a transformada *wavelet* contínua e a teoria de ondas viajantes para

identificar com precisão o local em que o curto acontece, usando apenas um elemento de medição na fonte de potência. Em todos os casos, eles utilizam um circuito simples com um tronco e duas derivações e calculam as frequências e tempo de resposta esperados para cada ramo em falta.

No primeiro artigo (op. cit) eles usam a *wavelet* mãe Morlet para calcular as frequências e os instantes de cada local de curto, comparando com valores teóricos pré-calculados de modo a precisar o local em que aconteceu o evento de curto-circuito. Com apenas um medidor, a taxa de erros é elevada, mas quando mais medidores sincronizados são usados, a precisão passa a ser bastante satisfatória, devido à verificação de dados confiáveis.

No segundo artigo (op. cit.) é apresentada uma nova *wavelet* mãe que não está formalmente estruturada, já que não se pretende atuar na reconstrução do sinal. O objetivo é ter precisão na detecção do evento de falta. Neste caso, em que pesem incertezas, os valores das frequências medidas são bem mais próximos das frequências esperadas, mas ainda passível de erros quando operando com medidor único. No terceiro artigo vinculado a este tema (op. cit.) eles incrementam a técnica ao agregar os intervalos repetidos entre ondas de mesma frequência, reforçando o conteúdo dos cálculos baseados apenas nas frequências esperadas. Eles também apresentam uma versão em miniatura para testes e para coletar dados experimentais.

Pourahmadi-Nakhli e Safavi (2011) também pode ser considerada uma das referências mais promissoras no que concerne a este trabalho. Eles desenvolveram os conceitos implementados por Borghetti usando redes neurais e a análise multiresolucional das *wavelets* para efetuar o cálculo da distância do curto em relação à origem ao mesmo tempo em que identificavam a derivação em que a falta aconteceu. Basicamente, eles avaliam com a transformada *wavelet* a tensão pós-falta de uma rede de distribuição monofásica, extraindo as energias de 10 faixas de frequências para gerar os valores característicos que servirão de entrada à rede neural. Para o processamento da rede neural, todas as derivações da rede são linearizadas, empilhando-as num único contínuo (numa rede cujo tronco tem 8km, uma derivação qualquer no início com 2km e outra derivação próxima ao final de 1km de comprimento, por exemplo, o objetivo da rede neural é identificar o local do curto nos 11km equivalentes). A saída da rede neural é contínua, visando a computar a distância em relação à fonte do

local com curto. Ao mesmo tempo em que computa a distância, já define o trecho faltoso. No mesmo exemplo citado, caso o local do curto apontado pela rede neural seja no ponto 9km, isto significa que a falta aconteceu na derivação de 2km, a 1km do local em que ela se conecta ao tronco. Se foi indicado pela rede neural que o curto foi no ponto 10,5km, isso significa que aconteceu na segunda derivação, a 0,5km de distância do ponto em que esta derivação se conecta ao tronco do alimentador. A análise da precisão do método, neste caso, é o grau de acerto da distância calculada pela rede neural em relação à distância efetiva do curto. No pior dos casos, para o modelo final ele reporta um erro máximo de cerca de 270m.

Jahromi et al. (2015) focam em redes de distribuição rurais no intuito de evitar incêndios em épocas de seca ou motivados por cabo ao solo. Numa rede de 63 barras, 4 pontos terminais são monitorados e sincronizados com GPS de modo a observar as diferentes frentes de onda e filtrar, usando a *wavelet* mãe Biorthogonal 2.4 num sinal de 2MHz, os impulsos que permitem classificar os diferentes locais através de um algoritmo Floyd-Warshall.

Goudarzi et al (2015) testam na rede padrão de 34 barras do IEEE um sistema de duplo algoritmo. Usando 4 medidores espalhados em terminais da rede sincronizados por GPS, um sistema baseado em DWT permite identificar a seção defeituosa, e um cálculo entre os tempos das frentes de onda obtidos através da análise do mesmo sinal por CWT permite calcular com precisão de menos de 1% de erro o local da falta.

O trabalho de Biscaro et al (2016) associa à localização de falta um módulo para análise de qualidade de energia. Ambos os algoritmos usam redes neurais do tipo *Fuzzy-ARTMAP*. Efetuando testes através de simulações de uma rede real de 134 barras em que se colocaram 4 medidores em pontos não terminais, numa taxa de amostragem de apenas 7,68kHz e empregando a *wavelet* mãe daub4, eles obtêm bons resultados de identificação do local de falta, com a ressalva de às vezes confundir nós adjacentes como o local da falta.

Recentemente Kordestani et al (2016) apresentaram um trabalho similar ao desenvolvido por Pourahmadi-Nakhli, usando a transformada *wavelet* e redes neurais para classificar diferentes tipos de distúrbios e localizar o local do evento numa rede elétrica iraniana de alta tensão (linhas de 230kV e 400kV), mas o artigo não é explícito nos detalhes da metodologia, tampouco no circuito que é

analisado e nos resultados obtidos, de modo que não é possível fazer uma análise qualitativa.

Khorradamel et al (2014), associado ao já citado Pourahmadi-Nakhli (op. cit.), efetua um trabalho de localização de faltas denominadas de grande porte, mas que de fato é avaliado na rede de distribuição IEEE 34 barras, em que emprega o Modo de Decomposição Empírica e a Regressão ao Vetor Principal. Ele questiona a validade do seu trabalho anterior para redes de maior porte, e aplica medição em dois pontos da rede de distribuição.

Um estudo que não se encaixa em nenhuma das demais definições mas que merece ser citado, por tratar especificamente de redes de instalações marítimas, está apresentado em dois artigos distintos (WANG et al., 2008; idem, 2011). Os autores deste trabalho desenvolvem um sistema de proteção e localização de faltas baseado na transformada *wavelet* para embarcações de modo geral, como navios, plataformas de petróleo e similares.

Pereira (2007) propõe localizar a falta através de algoritmos de fluxo de potência de varredura associado à medição das tensões na fonte e em alguns medidores organizados esparsamente na rede elétrica de distribuição. Ele também apresenta um algoritmo genético para definir os locais em que esses medidores adicionais devem ser posicionados, e testa sua tese num circuito real de 134 barras e 13,8kV.

Decanini (2012) é bastante focado em detecção e classificação da falta usando a teoria da evidência de Dempster-Shafer aplicada a redes neurais ARTMAP *Fuzzy*. Ele efetua um sistema de localização de falta que estrutura macro-regiões do sistema elétrico, com base nas correntes e tensões medidas apenas na subestação. Os testes feitos para uma rede de 134 barras, conseguem efetuar com uma precisão razoável o local do curto dentro das 15 macro-regiões definidas pelo autor.

Zamboni (2013) integra técnicas inteligentes e ferramentas convencionais como análise de dados COMTRADE para detectar e classificar os diferentes tipos de falta, e emprega o método de Roberts para criar um mapa de impedâncias de sequência positiva e zero de todo o circuito, desta forma localizando o trecho mais provável onde o evento aconteceu. Apesar de focar na frequência fundamental, decidiu-se por incluí-lo no presente estudo no item

3.3.2, pelo fato da tese sugerir a possibilidade de mapas de impedância de harmônicos de ordem mais elevada.

Alguns sistemas inteligentes que não utilizam a transformada *wavelet* podem se basear em sistemas com múltiplos critérios, como, por exemplo, Pereira et al. (2008), que agrega a potência consumida perdida com a falta, a reatância medida pré e pós falta, a corrente de curto e o tempo de atuação da proteção num sistema único que processa os dados COMTRADE do sistema de proteção. España et al., (2007) apresentam um sistema que compara 3 métodos de análise de dados similares a redes neurais (SVM – *Support Vector Machine*, LAMDA – *Learning Algorithm for Multivariate Data Analysis* e Misturas Finitas), mas não explicita seu método de filtragem de sinais para a obtenção dos parâmetros de treinamento, que ele define como “descritores”. Lee et al. (2004) propõem um sistema que estima iterativamente a corrente de curto-circuito e a corrente de carga de cada trecho da rede de distribuição. Em seguida compara estes dados pré-calculados com o efetivo evento de falta, além de considerar cargas que são interrompidas.

Bernadic e Leonowicz (2012) localizam faltas num sistema de distribuição com cabos aéreos e subterrâneos usando ondas viajantes, fasores espaciais complexos e a transformada Hilbert-Huang, um tipo de filtragem de frequência alternativo às transformadas *wavelet* ou *fourier*.

Oliveira, Salim e Bretas, que trabalharam com sistemas de frequência fundamental (op. cit.), juntaram-se a Shuck e, em novo estudo, (OLIVEIRA et al., 2009) propuseram um método de localização do ramo faltoso usando ondas viajantes num sistema com dados sujeitos a ruídos.

Thomas et al. (op. cit), antes de desenvolver trabalhos com *wavelets*, produziu um método baseado em ondas viajantes que executa um cálculo de correlação cruzada entre tensão e corrente de curto-circuito de modo a explicitar os picos de sinal correspondentes aos intervalos de reflexão das ondas no início dos alimentadores (THOMAS et al., 2003).

Para encerrar esta seção, é importante citar o Sistema de Localização de Defeitos para redes de distribuição por Ondas Viajantes, o SILDOV. Inicialmente desenvolvido como LDOV, Localizador de Defeitos por Ondas Viajantes para sistemas de transmissão, foi expandido para uma tecnologia de localização de

faltas em redes de distribuição a partir de 2001¹⁴ com o propósito de localizar faltas na linha tronco de redes de distribuição de modo similar ao que é feito com linhas de transmissão, de modo que faltas nas derivações seriam indicadas como faltas no nó do tronco de onde sai a derivação (PEREIRA et al., 2007). Para este caso, o sistema emprega dois medidores, e evidentemente tem a limitação de não aprofundar as faltas nas derivações ou não ser factível para sistemas com derivações longas.

3.3.3 Distribuição – Outros Métodos de Localização de Faltas

Os mais antigos sistemas de localização de falta, além da comunicação dos clientes, certamente tinham algum tipo de componente visual e ficavam instalados na própria linha analisada (STRINGFIELD et al., op. cit), e ainda hoje são utilizados. Chaves fusíveis atuadas deixam o cartucho do elo cair, ficando bastante explícito à distância a fase que está desligada, como se vê na figura 3.1.

Um mecanismo de proteção também antigo, mas que serve para restringir e agilizar a localização da falta, são os religadores¹⁵ instalados no meio da rede. Quando atuados, eles apresentam uma sinalização colorida que mostra sua atuação e direciona as equipes de manutenção para o local correto. Uma maneira de unir o conceito de proteção por religador e as chaves fusíveis é a chave fusível religadora¹⁶.

Expandindo o conceito visual dos religadores e chaves fusíveis, mas sem a necessidade de interferir nas suas funcionalidades de proteção, que são mais importantes que a indicação visual, surgiram propostas de sinalizadores de falta luminosos, equipamentos relativamente mais baratos e simples cujo único papel é indicar a passagem ou não de uma corrente de curto-circuito¹⁷.

¹⁴ PEREIRA, Elisete Ternes. Localizador de Defeitos por Ondas Viajantes: um projeto nacional. Disponível em: <<http://www.tec.abinee.org.br/2006/arquivos/a32.pdf>>. Acesso em: 01 de set. de 2017.

¹⁵ EATON. Religadores e Chaves. Disponível em: <<http://www.eaton.com.br/EatonBR/ProductsSolutions/Electrical/ProdutoseServicos/SistemasdePotencia/ReligadoreseChaves/index.htm>>. Acesso em: 01 de set. de 2017.

¹⁶ DELMAR. Chave Fusível Religadora “DCH-R”. Disponível em: <<http://www.delmar.com.br/PDF/DHC-R.PDF>>. Acesso em: 01 de set. de 2017.

¹⁷ AR360. Indicador de Falta AutoRANGER AR360. Disponível em: <<https://selinc.com/pt/products/AR360/>>. Acesso em: 01 de set. de 2017.



Figura 3.1 Chave fusível com elos abertos

Estes localizadores foram inicialmente aplicados a redes de média tensão, limitados a 36kV, mas já existem alternativas que se aplicam a redes de 72,5kV (VILLELA et al., 2007). Um sistema similar mas utilizando sinais de rádio faz o mesmo papel de localizador de faltas para redes subterrâneas (BRANDÃO et al., 2010).

O trabalho de Bjerkan e Venseth (2005) faz uso destes sinalizadores luminosos numa rede de 22kV aterrada através da bobina de Petersen. Simões (2012) propõe definir os critérios de localização ótima desses sinalizadores numa rede de distribuição de modo a maximizar a precisão da localização com o menor custo, usando um sistema computacional chamado PROMETHEE II¹⁸.

¹⁸ www.promethee-gaia.net, consultado em 15 de setembro de 2017

4 SIMULAÇÕES PRELIMINARES – DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE FALTAS

Pela simplicidade da execução e pela possibilidade de testar as metodologias aqui sugeridas, preferiu-se iniciar as simulações com os desafios mais simples, quais sejam, a detecção e classificação das faltas elétricas em redes de distribuição. Os conhecimentos aqui adquiridos serviram para respaldar os desenvolvimentos posteriores no sistema de localização de faltas. Estas simulações construíram conhecimentos sólidos sobre a operação dos *softwares* ATP e Scilab, bem como aplicações da teoria das ondas viajantes e da transformada *wavelet*. Este desenvolvimento foi baseado essencialmente nos trabalhos desenvolvidos por Costa (op. cit.).

4.1 O Circuito Simulado

O circuito que está sendo avaliado neste trabalho representa uma pequena rede de distribuição com 6 barras, nível de tensão de fase de $20\text{kV}_{\text{PICO}}$ (Tensão de linha de $24,5\text{kV}_{\text{RMS}}$). Apesar de não ser uma tensão convencional no sistema brasileiro, é uma tensão prática para analisar visualmente seus resultados, além de ser usada no circuito IEEE de 34 barras. Nesta rede existe medição apenas na subestação, representada na figura 4.1 pela fonte F1. As características da rede são mostradas no apêndice A. Não foram simuladas ocorrências imediatamente nos terminais da fonte.

Esta rede é modelada no ATP com a configuração da figura 4.2. O bloco RLC que se segue à fonte simboliza as impedâncias intrínsecas da fonte, e serve de ponto de medição. Os blocos RLC aterrados simbolizam cargas resistivas trifásicas. Uma chave trifásica, um bloco RLC e um ponto de aterramento permitem a configuração dos diversos tipos de curto.

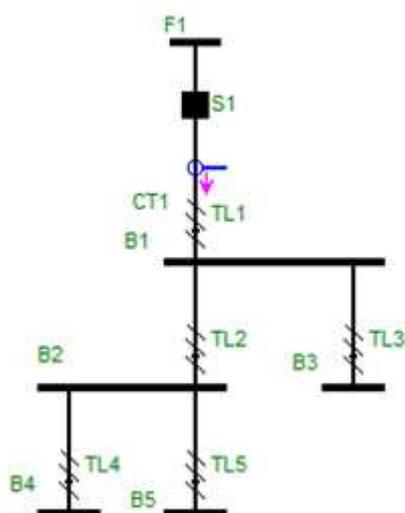


Figura 4.1 Diagrama elétrico da rede de distribuição simulada

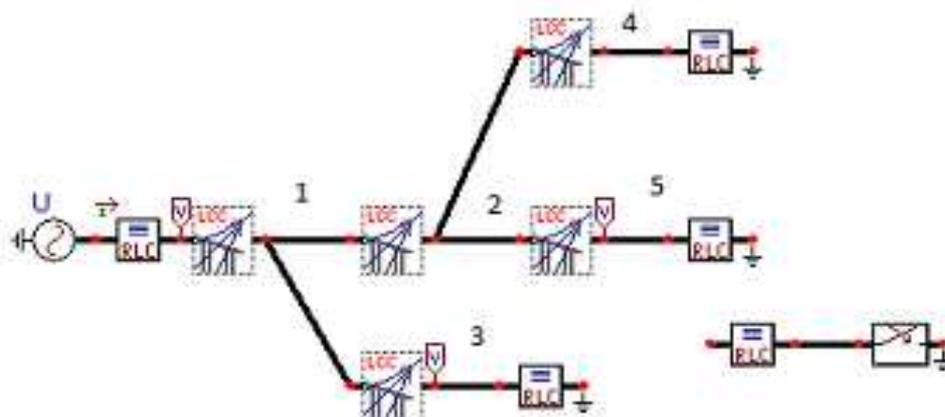


Figura 4.2 Representação no ATP da rede de distribuição simulada

4.2 O Programa de Processamento de Dados

Para simplificar a execução do processamento, foi implementada no Scilab uma rotina de geração de múltiplos arquivos ATP em sequência. Este mecanismo usa um arquivo texto ATP como base, neste caso o arquivo apresentado na figura 4.2 gerado pelo ATPDraw e transformado em arquivo texto ATP. O Scilab gera diversas cópias texto mudando parâmetros relevantes do circuito (SOUZA et al., 2005), cópias que são em seguida simuladas no ATP.

Isso permitiu que se testassem 600 casos distintos, variando o local do curto (5 barras), o tipo de curto (10 casos, entre AT, BC, ABC, etc.), com impedâncias distintas (1m Ω , 10 Ω e 1k Ω) e ângulos de incidência diferentes (0°, 90°, 180° e 270°).

Os eventos aqui simulados pretendem contribuir com a solução do problema de localização de falta, e não com o problema de detecção de curtos de alta impedância, portanto o modelo usado dos curtos de alta impedância se restringiu a usar uma resistência simples, o que nem sempre representa com precisão alguns tipos de curtos de alta impedância comuns, como cabos em contato com a vegetação ou cabo ao solo. Modelos mais elaborados trazem resultados diferentes, e podem ser melhor observados nos trabalhos de Santos (Op. Cit.).

4.2.1 Detecção de Curtos-Circuitos

Depois que a rotina anterior gerou os 600 casos, eles são executados sequencialmente pelo ATP, que armazena os resultados dos curtos em arquivo do tipo texto. Este arquivo pós-simulação é lido pelo Scilab e transformado em vetores internos do Scilab, e estes vetores serão processados pelas rotinas seguintes.

A terceira etapa apresenta a janela de varredura de dados. Esta janela é importante porque permite modularizar o tratamento dos dados, simplificando a análise do processamento e identificando com um grau relativo de precisão o instante do curto-circuito. A quarta etapa se caracteriza pelo processamento *wavelet*. Os sinais da forma de onda original gerados pelo ATP são modificados e filtrados de modo que as diversas componentes de frequência possam ser

segregados nos coeficientes *wavelet*. Para esta implementação, é usado um módulo de funções *wavelets* do Scilab (ARAÚJO et al., 2011). São utilizadas 7 etapas da análise multiresolucional, conforme figura 4.3.

O algoritmo de análise dos dados transformados usando as *wavelets* para confirmar a detecção da falta é relativamente simples. Essencialmente, compara-se dado a dado o resultado do detalhe d3 com um certo limiar. Ultrapassando este limiar (*threshold*), o sistema considera que o curto-circuito foi identificado, e interrompe o processamento dos dados. Esta interrupção é salutar pois, num sistema real, o relé precisa ser resetado antes de avaliar se existe ou não um outro curto-circuito.

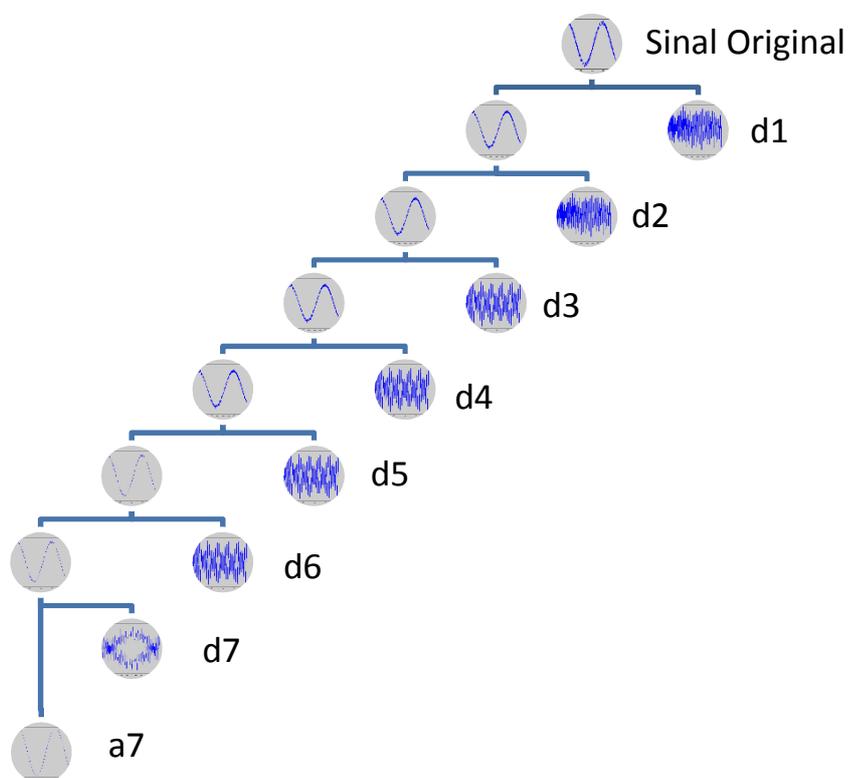


Figura 4.3 Análise multiresolucional (MRA) com 7 estágios

4.2.2 Classificação de Curtos-Circuitos

Para implementar a classificação da falta, utiliza-se a energia do sinal registrada no sinal médio (average), através de uma operação de

integração/soma de cada janela de sinal original processada. Esta sequência monta um vetor que pode ser avaliado para permitir a detecção.

A análise do vetor de energia de cada fase permite criar uma matriz com os dados de comparação entre valores do vetor de energias, e assim definir quais as fases que efetivamente apresentaram variação excessiva. Logo após a detecção da falta, o sistema de leitura de dados interrompe a varredura do sinal original, e com isso armazena o final do contador. Este contador final possui um quarto de ciclo do sinal original, e isto faz com que seja coerente comparar a energia antes e depois da detecção do curto-circuito. Com base no vetor de comparação, um sistema lógico classifica o tipo da falta.

4.3 Simulações e Resultados

A análise foi feita tanto de modo analítico quanto de modo gráfico. Foi empregada a *wavelet* daubechies tipo 4, com boa resolução para identificar comportamentos impulsivos no sinal avaliado. Em que pese existir um trabalho (ARAÚJO et al., op. cit.) que compara desempenhos de diferentes tipos de *wavelet* para a localização de faltas em redes de transmissão, como a metodologia aqui testada possui lógica diferente, percebeu-se que a *wavelet*-mãe Daub4 é a mais rápida e precisa na extração das características das bandas de frequência analisadas.

Dos 600 casos de curto-circuito simulados, todos foram corretamente detectados, com um erro de precisão do tempo limitado pela largura da janela de análise, ou seja, cerca de 4 ms. Somente 1 dos 600 casos não foi classificado corretamente, uma falta BT na barra B5, $\theta = 270^\circ$ e $Z = 1000 \Omega$. Ainda assim, o sistema pôde precisar que era falta à terra.

Os exemplos gráficos a seguir apenas explicitam o momento em que a *wavelet* detecta o curto-circuito ocorrendo e a análise do tipo da falta. Os resultados aqui mostrados foram também publicados em (NERI JR. et al, 2016b).

4.3.1 Caso 1: curto trifásico na barra B5

Este curto circuito é franco, e ocorre no ângulo de 90° . A corrente para um curto trifásico tem amplitude bastante elevada, o que permite a um sistema convencional de sobrecorrente detectar o tipo da falta, conforme se observa na figura 4.4. Utilizando a transformada *wavelet*, no entanto, fica fácil estabelecer um filtro que defina e detecte o momento exato em que a falta ocorreu, como mostra a figura 4.5. A energia do sinal médio *a7*, apresentada na figura 4.6, é então utilizada para efetuar a classificação do tipo de falta.

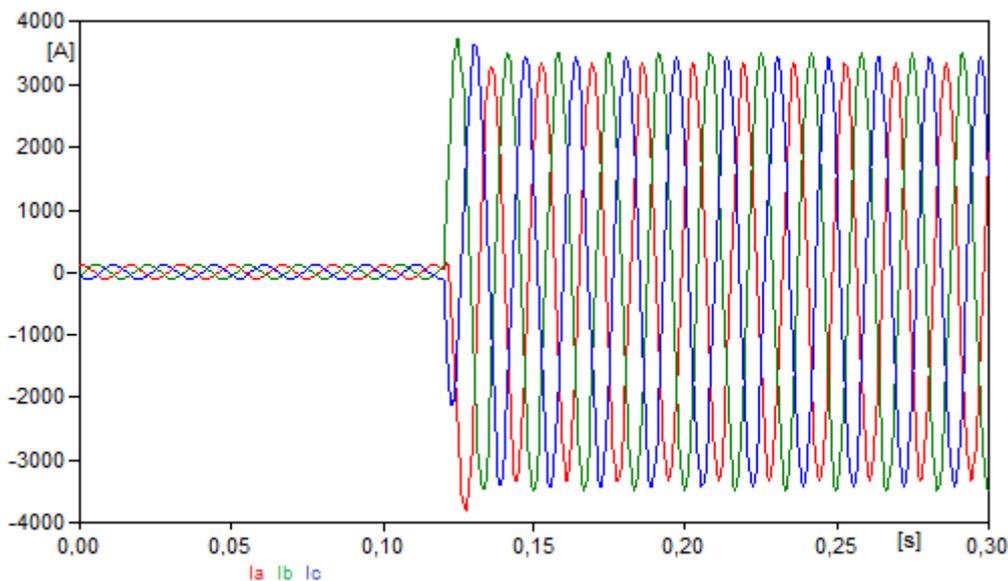


Figura 4.4 Corrente das 3 fases medidas na fonte para o caso 1

Este curto-circuito aconteceu em 120ms após o início da simulação. O sistema classificou corretamente como trifásico e o detectou no tempo de 122,9ms.

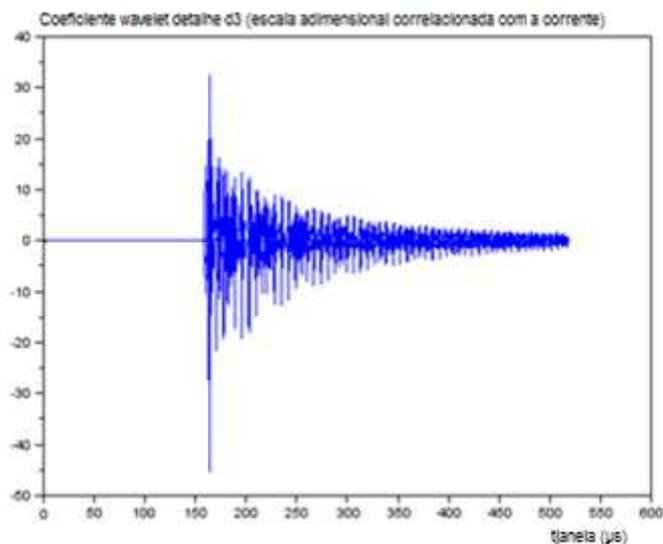


Figura 4.5 Detalhe d3 das três fases mais terra, janelas sobrepostas, caso 1.

O eixo das abscissas na figura 4.5 tem relação com o tempo, cada ponto significando $8\mu\text{s}$, e o eixo das ordenadas é o coeficiente wavelet relativo à faixa de frequência do detalhe d3, entre 125kHz e 250kHz.

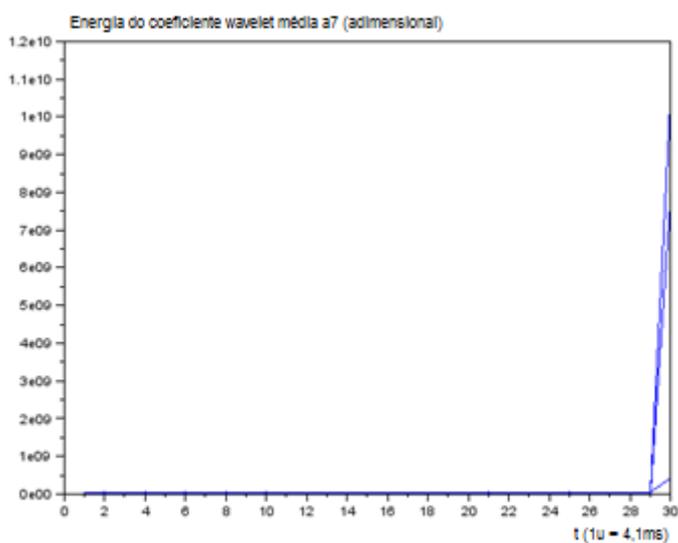


Figura 4.6 Energia do sinal médio a7 das três fases mais terra a cada iteração, caso 1.

O eixo das abscissas nesta figura 4.6 tem relação com o tempo, cada ponto condensando a energia de 4,1ms, e o eixo das ordenadas é a energia associada ao coeficiente *wavelet* das frequências menores que 7,8kHz.

4.3.2 Caso 2: curto fase C-terra na barra B2

O curto fase-terra simulado utilizou uma impedância de 1000Ω no ângulo de incidência de 180° . O sinal das correntes trifásicas está na figura 4.7, a sobreposição da transformada $d3$ está na figura 4.8 e o sinal da média $a7$ está na figura 4.9.

O eixo das abscissas na figura 4.8 tem relação com o tempo, cada ponto significando $8\mu s$, e o eixo das ordenadas é o coeficiente wavelet relativo à faixa de frequência do detalhe $d3$, entre $125kHz$ e $250kHz$. O eixo das abscissas na figura 4.9 tem relação com o tempo, cada ponto condensando a energia de $4,1ms$, e o eixo das ordenadas é a energia associada a frequências menores que $7,8kHz$.

Este curto-circuito aconteceu em $100ms$ após o início da simulação. O sistema classificou corretamente como fase C à terra e o detectou no tempo de $102,4ms$.

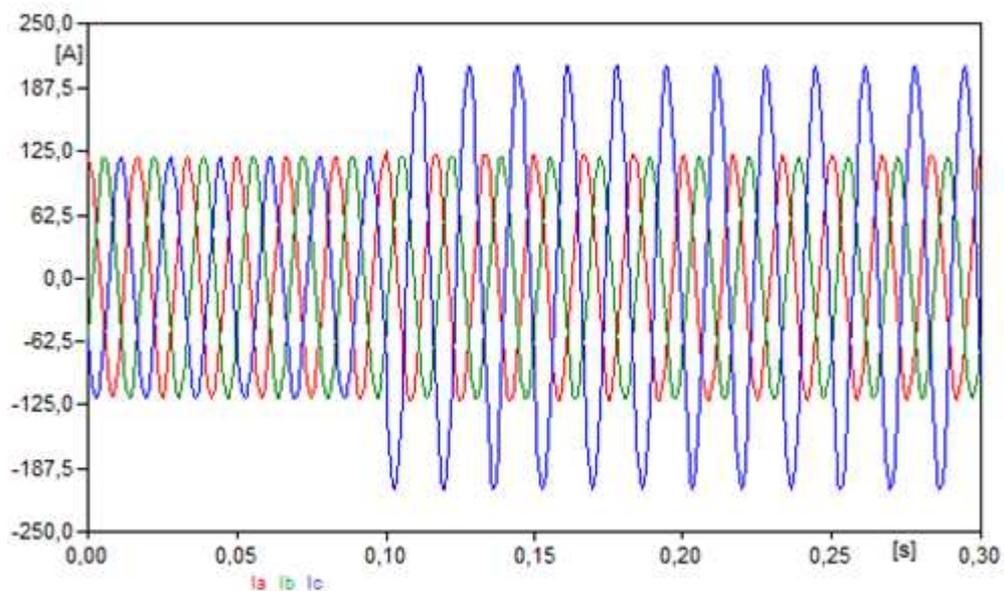


Figura 4.7 Corrente das fases medidas na fonte para o caso 2

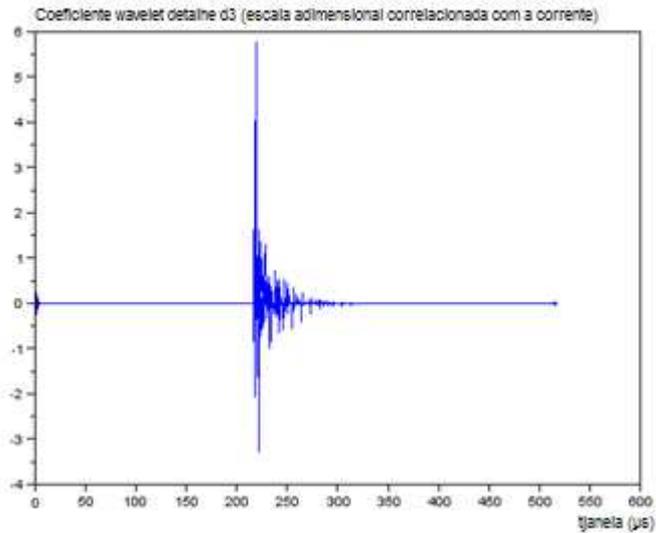


Figura 4.8 Detalhe d3 das três fases mais terra, janelas sobrepostas, caso 2

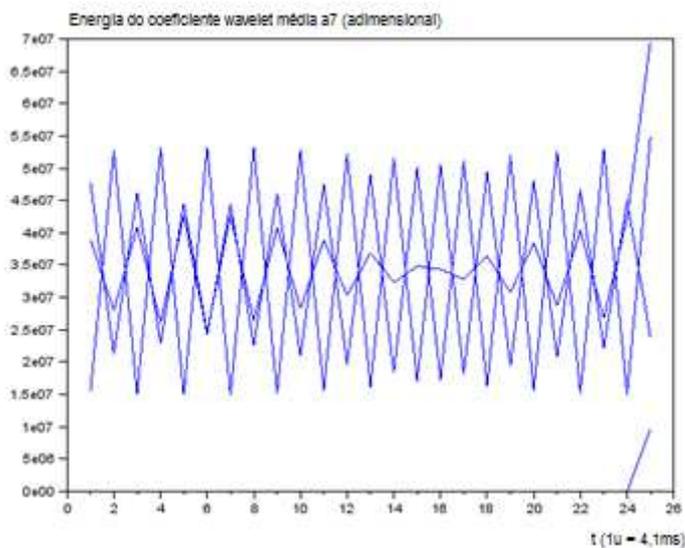


Figura 4.9 Energia do sinal médio a7 das três fases mais terra a cada iteração, caso 2

4.3.3 Caso 3: curto bifásico BC a terra na barra B3

O curto bifásico a terra também foi simulado de modo franco, à semelhança do curto trifásico (caso 1) no ângulo de 270° . Da mesma forma que o caso anterior, o sinal das correntes trifásicas está na figura 4.10, a

sobreposição da transformada $d3$ está na figura 4.11 e o sinal da média $a7$ está na figura 4.12.

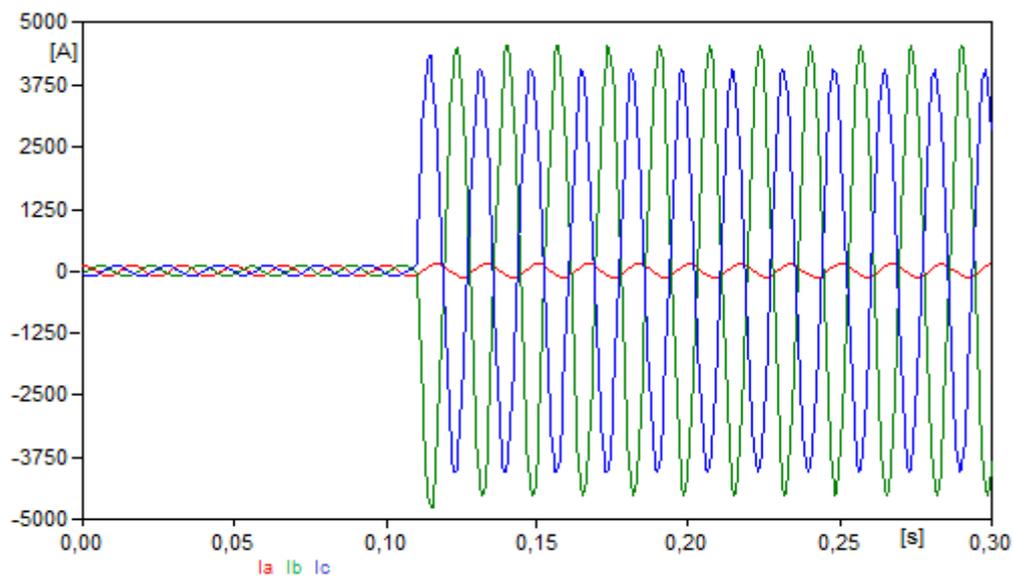


Figura 4.10 Corrente das fases medidas na fonte para o caso 3.

O eixo das abscissas na figura 4.11 tem relação com o tempo, cada ponto significando $8\mu\text{s}$, e o eixo das ordenadas é o coeficiente wavelet relativo à faixa de frequência do detalhe $d3$, entre 125kHz e 250kHz . O eixo das abscissas na figura 4.12 tem relação com o tempo, cada ponto condensando a energia de $4,1\text{ms}$, e o eixo das ordenadas é a energia associada a frequências menores que $7,8\text{kHz}$.

Este curto-circuito aconteceu em 110ms após o início da simulação. O sistema classificou corretamente como fases B e C à terra e o detectou no tempo de $110,6\text{ms}$.

Comparando os 3 casos, pode-se ver que a diferença de amplitude na corrente de curto-circuito possui relação com a amplitude máxima do sinal de detalhe $d3$ da transformada *wavelet* (figuras 4.5, 4.8 e 4.11). Pode-se perceber também que o uso da energia no sinal average é bastante explícito para identificar as fases que participam do curto circuito (figuras 4.6, 4.9 e 4.12).

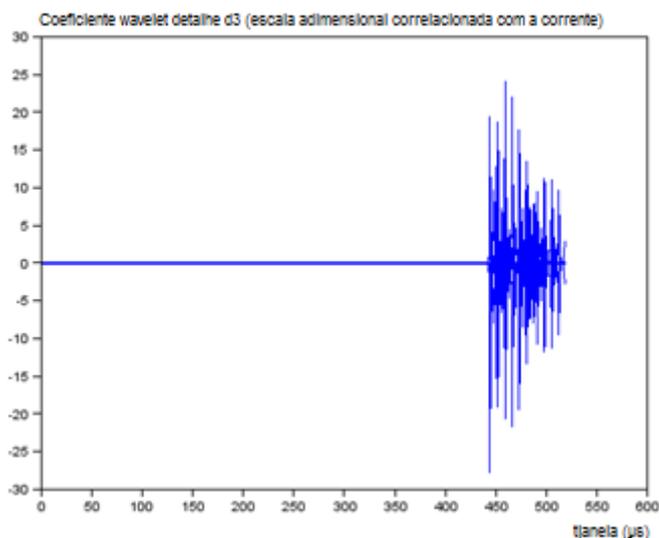


Figura 4.11 Detalhe d3 das três fases mais terra, janelas sobrepostas, caso 3.

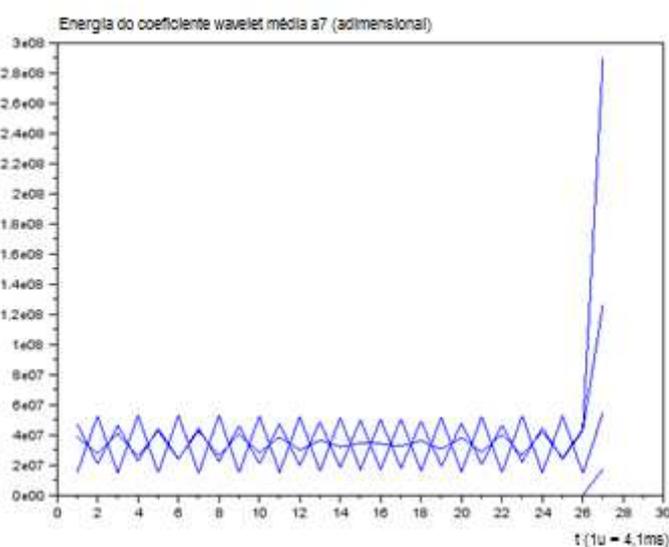


Figura 4.12 Energia do sinal médio a7 das três fases mais terra a cada iteração, caso 3

4.3.4 Injeção de Harmônicos e Variação de Cargas

Após as 600 simulações de curto-circuito, também foram executadas 24 variações de cargas na rede. Como somente as barras B3, B4 e B5 possuem cargas, foram feitos testes de duas formas distintas, duplicando a carga de 300kW ou reduzindo-a a metade, além de testar os mesmos 4 ângulos testados no curto-circuito.

Ao contrário do que era esperado, a variação de cargas na rede para o método de detecção terminou por ser confundida com curtos de alta impedância, tornando, por conseguinte, as simulações para curtos com impedância de 1000Ω susceptíveis de serem confundidas com variações de carga. Para impedir que este problema acarrete prejuízos ao algoritmo de localização de falta, decidiu-se por reduzir o escopo de simulações a curtos-circuitos com impedância limite de 10Ω , um valor que não interferia na detecção, tampouco confundia o evento de falta com o evento de variação de carga.

Ademais, foram feitas injeções de dois tipos de correntes harmônicas em cada uma das 5 barras, totalizando 10 simulações ao todo. O primeiro sinal é uma forma de onda do tipo dente de serra, vista na figura 4.13. O segundo sinal é uma corrente composta de sinais a 60Hz, 180Hz, 540Hz e 720Hz, mostrado na figura 4.14.

Estas correntes injetadas não têm energia suficiente para estimular o limiar de detecção de eventos, e pode-se perceber que na prática interferem pouco no funcionamento geral do sistema, apesar de gerar interferências perceptíveis no sinal de tensão da fonte, como se vê nas figuras 4.15 e 4.16.

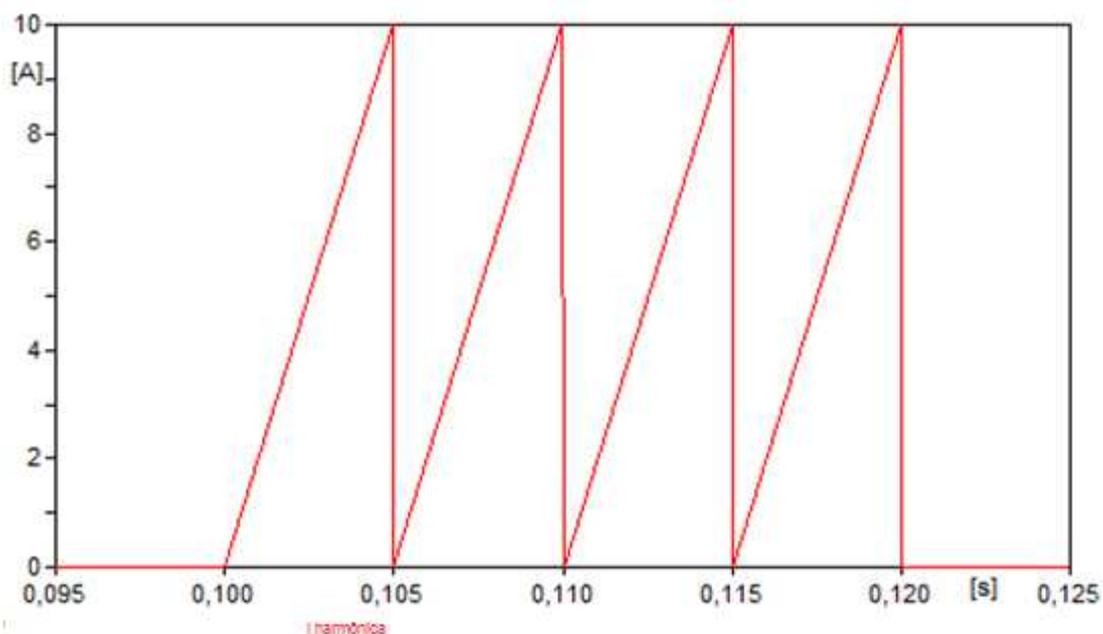


Figura 4.13 Forma de onda do tipo dente de serra.

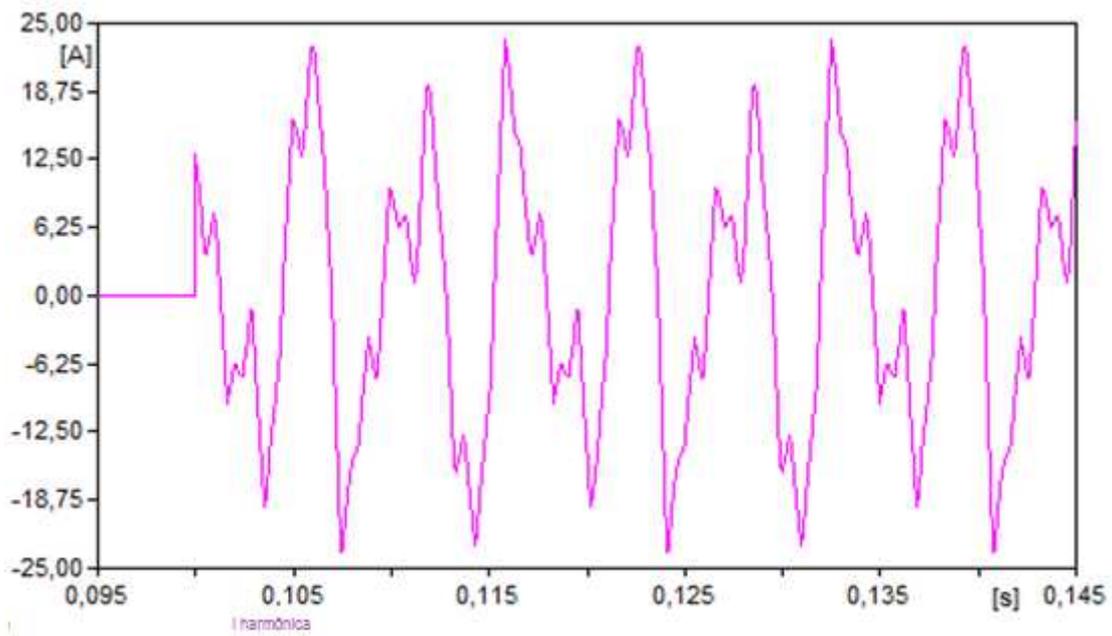


Figura 4.14 Forma de onda harmônica composta de senos de diferentes frequências.

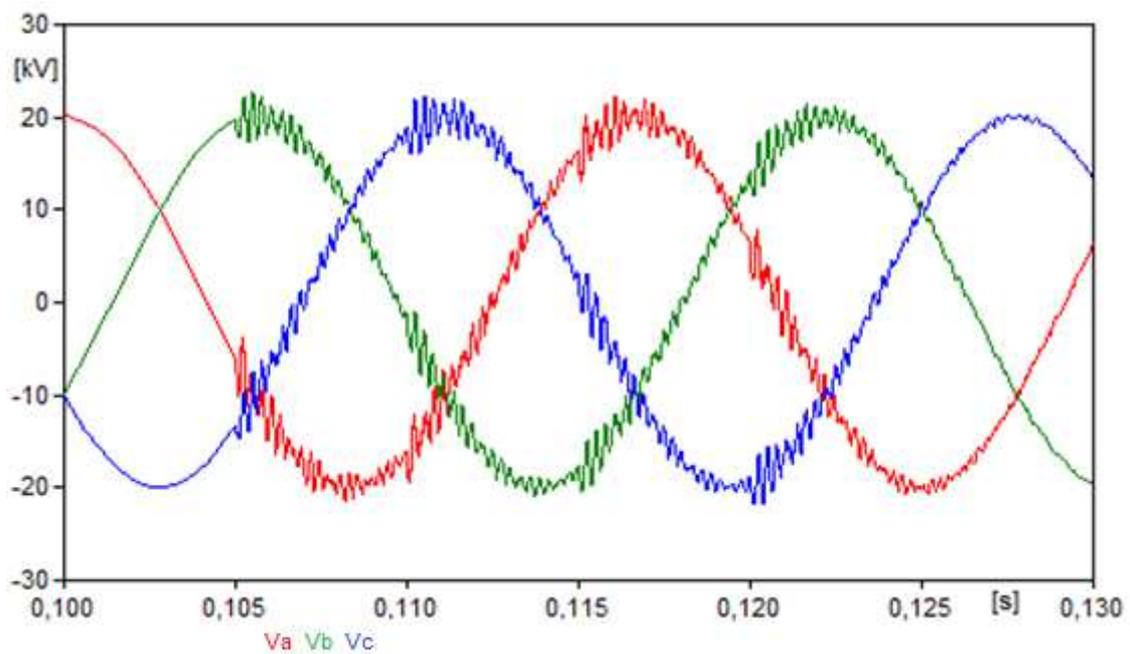


Figura 4.15 Tensão medida na origem em virtude da corrente dente de serra.

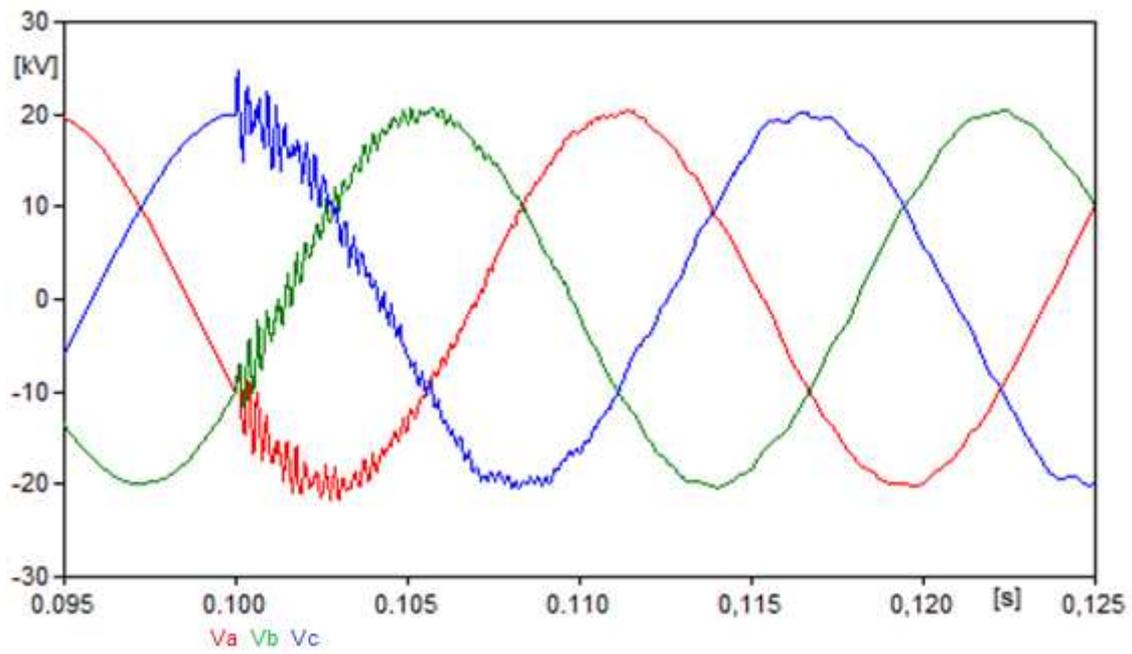


Figura 4.16 Tensão medida na origem em virtude da corrente harmônica

5 LOCALIZAÇÃO DE CURTOS-CIRCUITOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO UTILIZANDO A TRANSFORMADA *WAVELET* E REDES NEURAIS

Após ter havido sucesso na simulação da detecção e classificação dos diferentes tipos de curto circuito em todas as barras do sistema, decidiu-se detalhar melhor o circuito de modo a facultar uma maior precisão no cálculo da localização da falta. Em seguida, o programa de processamento *wavelet* é revisado de modo a propiciar dados mais adequados ao processamento por redes neurais, e o módulo de redes neurais artificiais é introduzido. Este módulo é que fará a correta identificação do local da falta. Todo este desenvolvimento ficará explícito nos demais tópicos deste capítulo 5.

Os conceitos apresentados por Borghetti (op. cit.) e Pourahmadi-Nakhli e Safavi (op. cit.) em seus trabalhos foram a maior inspiração para guiar o desenvolvimento deste trabalho nesta etapa. A metodologia aqui proposta, diferente do que foi executado alhures, é determinística, com resultados finais binários e um cálculo da região provável do local da falta circunscrito a parâmetros previamente definidos. Os circuitos avaliados são sempre redes trifásicas, e a conclusão da localização da falta é unívoco, sem erro por aproximação, pois o sistema identifica o local preciso da falta, dentro de uma margem fixa de cálculo da distância.

Duas redes neurais são empregadas, uma delas para computar de modo exato a distância do local de falta em relação à fonte, e a segunda rede neural para circunscrever a região da rede em que o curto-circuito está acontecendo. Quando a informação de distância é reunida à informação de região, o local do curto-circuito fica definido de modo preciso, dentro da margem de erro

previamente estabelecida pelo cômputo da distância. Evidentemente é preciso definir os diferentes agrupamentos de região para cada tipo de topologia a ser analisada, de modo que no interior de uma região, não haja dois locais equidistantes da fonte.

5.1 O Circuito Simulado – Caso Básico

Para permitir uma melhor análise da localização de falta, e considerando que a premissa básica do sistema proposto é efetuar uma detecção determinística, o circuito da figura 4.1 é redesenhado no ATPDraw com a configuração da figura 5.1, cada bloco de modelamento da linha de transmissão representando 1km de rede. Os dados deste circuito estão nos apêndices.

Como estão sendo introduzidos diversos nós, é interessante para fins de identificação renomear a todos, de forma que a maneira de representá-los seja unívoca. A escolha dos nomes é um tanto arbitrária, mas atende ao fim proposto de localizar o ponto em que aconteceu a falta. O nó em que está a fonte é denominado nó 000, e não tem curto-circuito simulado. Os nós de delimitação (que representam as barras originais) são os nós 004, 008, 012, 404 e 803. A derivação que sai do nó 004 é rebatizada série 40#, e a derivação que sai do nó 008 é rebatizada 80#, onde o símbolo # representa a distância em quilômetros do nó tronco em relação à derivação.

Para equiparar a problemas vistos em outros trabalhos, o circuito que era feito inteiramente com cabos similares foi modificado de modo que a derivação que sai do nó 008 tenha bitola menor que a do restante da rede. Da mesma forma, sem prejuízo da forma de processamento, foi alterada a tensão de simulação para 13,8kV, tensão mais usual nas redes brasileiras. Ademais, desta forma será mais fácil comparar os resultados desta topologia com o circuito adaptado de uma rede real, que será analisado em tópico posterior.

5.2 O Programa de Processamento Revisado

Um fluxograma geral do método de localização de falta proposto pode ser visto na figura 5.2.

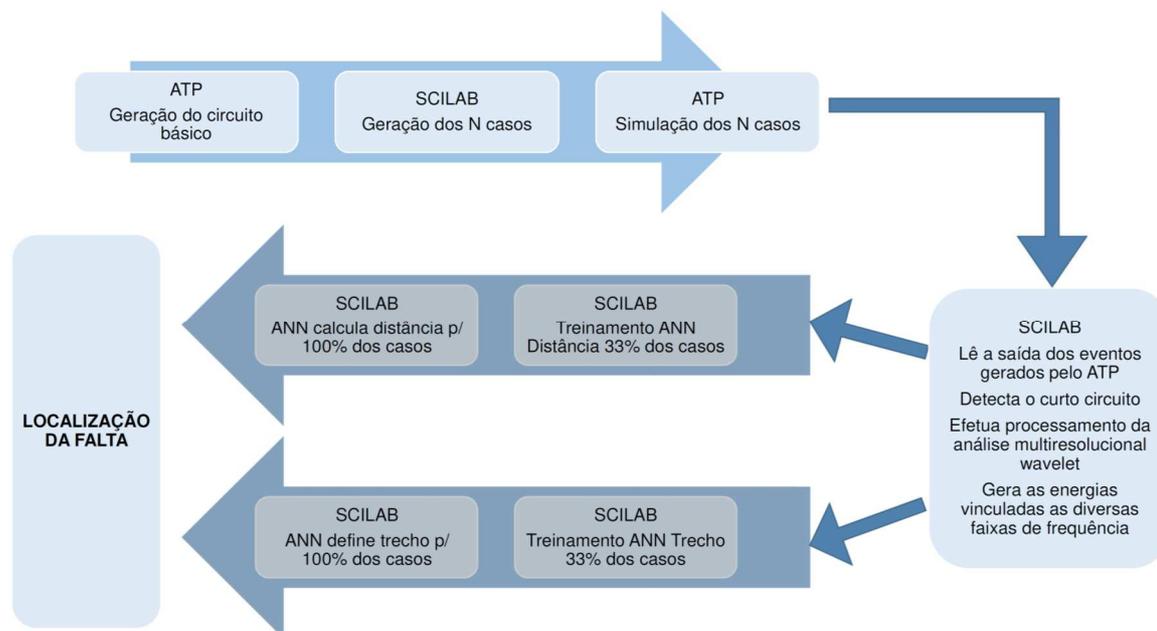


Figura 5.2 Fluxograma da metodologia proposta

Um circuito ATP básico serve de modelo, e uma rotina no Scilab gera o total de casos a serem simulados com base neste modelo. Em seguida o ATP roda sequencialmente a totalidade dos casos, e armazena para cada um a saída de dados, correntes e tensões medidos na fonte. O processo volta ao Scilab, desta vez lendo os dados de corrente gerados pelo ATP, detectando o evento de falta, efetuando a análise multiresolucional *wavelet* e gerando um vetor de energias. Duas outras rotinas Scilab efetuam o processamento do local da falta usando redes neurais, uma delas computando a distância, a outra identificando o trecho em falta.

A alteração no número de nós simulados no ATP não alterou os conceitos básicos do processamento, apenas a leitura inicial que indicava a quantidade de arquivos a serem lidos. Com as modificações explicitadas no item 5.1, um maior número de arquivos é gerado, já que a simulação em cada novo nó produz vários

arquivos correspondentes. Além disso, observando os problemas de detecção já apresentados no capítulo 4, foram eliminados testes de localização de faltas de alta impedância maiores que 10 ohms.

Assim, foi definido para esta topologia um total de 5700 simulações, sendo 19 nós (001, 002, 003, 004, 005, 006, 007, 008, 009, 010, 011, 012, 401, 402, 403, 404, 801, 802, 803), 6 ângulos de incidência (0° , 60° , 120° , 180° , 240° e 300°), 5 impedâncias ($10^{-3}\Omega$, $10^{-1}\Omega$, 1Ω , 5Ω e 10Ω) e 10 tipos de falta (AT, BT, CT, AB, BC, AC, ABT, BCT, ACT e ABC).

O que efetivamente foi alterado no sistema de processamento foi a definição das janelas de leitura. Como era necessária uma maior precisão do momento do curto circuito, foram estruturadas duas janelas de leitura. A primeira janela de leitura da corrente foi definida como $256\mu\text{s}$ para detectar o curto circuito. Assim que a falta é detectada nessa janela, o processo de leitura retorna para o princípio da detecção e gera uma outra janela, desta vez de $4096\mu\text{s}$, janela que permitirá às reflexões do curto-circuito viajarem pela rede e serem medidas no medidor posicionado na fonte.

5.2.1 Leitura e Detecção de Curtos-Circuitos

A leitura e detecção de curtos é muito similar ao processo definido no item 4.2.1, com um limiar rígido sendo implementado. A rotina Scilab vai lendo pequenos trechos dos sinais de corrente e processando a análise multiresolucional. A cada vez, os coeficientes *wavelet* são comparados a um limiar rígido que, quando ultrapassado, caracteriza que aconteceu o curto-circuito e paralisa esta etapa de análise.

Depois que é feita a detecção da falta, a leitura dos vetores de corrente se reinicia de modo a calcular de modo mais apropriado as energias correspondentes a cada faixa de frequência presente no sinal. As faixas de frequências empregadas para a análise *wavelet* estão definidas na tabela 5.1.

Como são 8 níveis de filtro *wavelet* (7 detalhes e uma média), e como são analisadas as 3 correntes de fase e também sua somatória (a corrente de neutro ou terra), gera-se ao todo 32 energias que caracterizam cada curto-circuito.

Tabela 5.1 Faixa de frequência de cada transformada *wavelet*

Faixa da transformada	Frequência inferior	Frequência superior
Detalhe D1	500kHz	1000kHz
Detalhe D2	250kHz	500kHz
Detalhe D3	125kHz	250kHz
Detalhe D4	62,5kHz	125kHz
Detalhe D5	31,25kHz	62,5kHz
Detalhe D6	15,625kHz	31,25kHz
Detalhe D7	7,8125kHz	15,625kHz
Média A7	0kHz	7,8125kHz

5.2.2 Simulação no SCILAB de Redes Neurais Artificiais

Como este não é um dos focos específicos do trabalho, e tão somente uma ferramenta para obter a finalidade de localização da falta, para fins de simplificação metodológica foi utilizado como método de implementação das redes neurais um banco de dados disponibilizado pela comunidade SCILAB¹⁹.

Apesar de não permitir o acompanhamento dos meandros do processamento da rede neural, já que não há um detalhamento do erro médio em cada etapa de treinamento, ainda mais que este processo que leva num computador intel i5 cerca de 6 horas ao todo (considerando 1900 dos 5700 casos sendo usados para treinamento), os módulos pré-definidos são bastante eficientes e alcançam resultados extremamente significativos na análise dos dados em questão, como será visto em seguida.

Ambas as redes neurais (uma para localizar o ramo em que o curto-circuito aconteceu, a outra para computar a distância do curto em relação à fonte) possuem 32 entradas (as energias das correntes das 3 fases mais a corrente de terra multiplicando pelas 8 faixas de frequência filtradas pela *wavelet*). Para fins meramente ilustrativos, apresentam-se aqui alguns gráficos com o conjunto de dados simulados cujas energias dos coeficientes *wavelet* foram extraídos para alguns nós específicos. Evidentemente não se pretende apresentar visualmente correlações explícitas das características de cada nó, apenas demonstrar que tipo de trabalho é realizado internamente pelas redes neurais, que enxergam nestes conjuntos de dados graficados certos padrões de relacionamento

¹⁹ ANN Toolbox 0.4.2.5 (web page). Disponível em: <https://atoms.scilab.org/toolboxes/ANN_Toolbox>. Acesso em: 26 de jun. de 2017.

unívocos, facultando a correta classificação dos diferentes grupos (neste caso, locais de curto).

Os dados apresentados nas figuras 5.3 a 5.5 mostram 240 casos de falta para cada nó indicado. Cada caso apresenta as 32 energias *wavelet* das 8 faixas de frequência, nominadas com a letra inicial A ou D indicando se é média A ou detalhe D, o segundo número indicando o ordinal da sequência *wavelets*, conforme tabela 5.1, e as 3 fases – fases A, B e C, representadas no gráfico pelos índices finais 1, 2 e 3 – mais a fase terra, representada pelo índice final g.

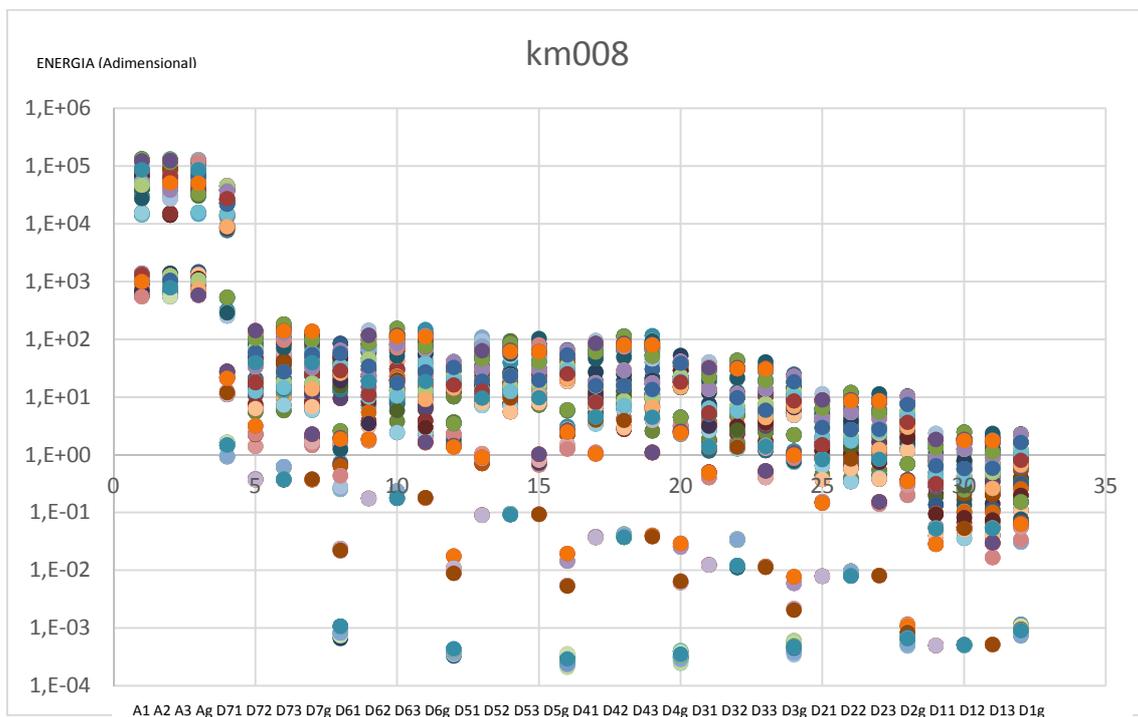


Figura 5.3 Energia dos coeficientes *wavelets* para 240 simulações no nó km008

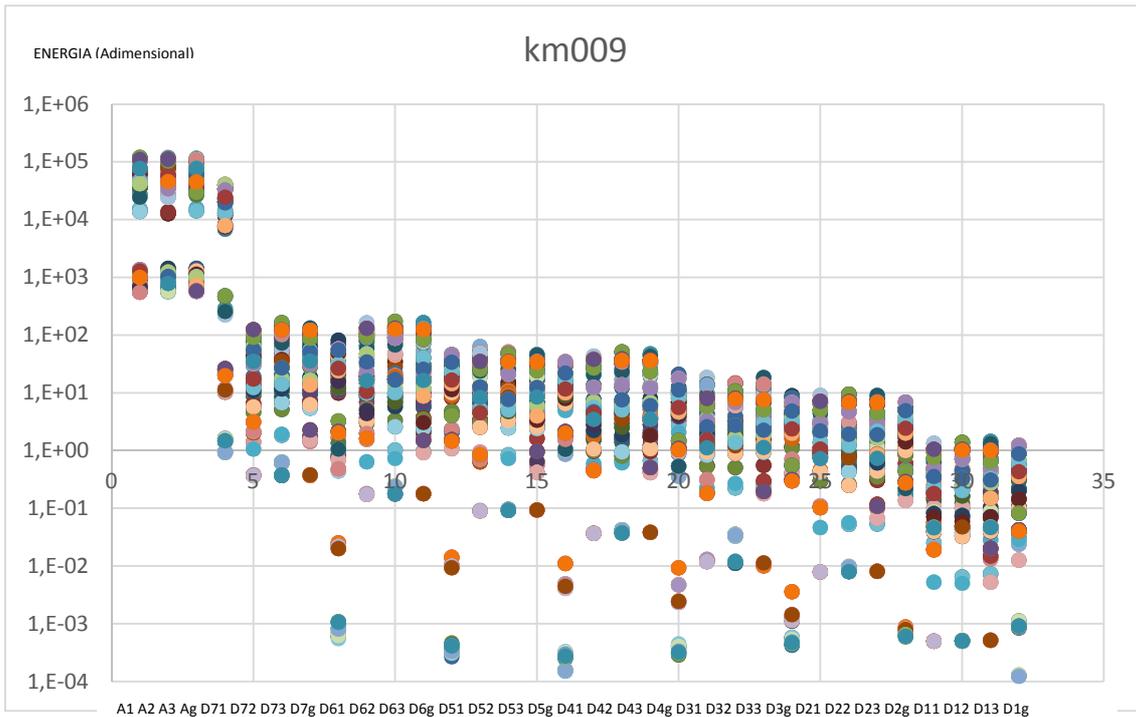


Figura 5.4 Energia dos coeficientes *wavelets* para 240 simulações no nó km009

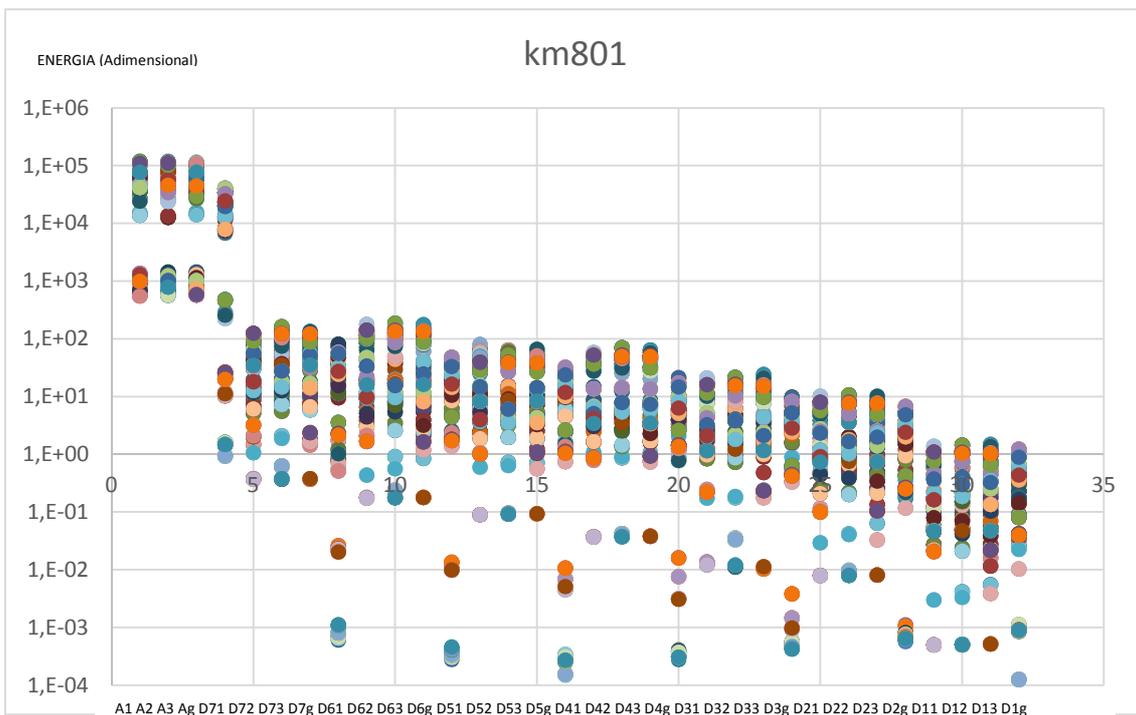


Figura 5.5 Energia dos coeficientes *wavelets* para 240 simulações no nó km801

Não existe teoria desenvolvida para definir ou otimizar a arquitetura de redes neurais (HAYKIN, op. Cit.), e o trabalho de definição da topologia da mesma acaba ocorrendo de modo empírico. Foram testadas algumas topologias

de rede neural nas camadas ocultas, já que todas as redes neurais implementadas neste tópico devem possuir o mesmo número de entradas – 32, o total de energias wavelet – e saídas – 12 para a rede neural de cômputo da distância, 6 para a rede neural de identificação de trecho em falta. Experimentou-se de modo empírico sistemas com uma única camada oculta entre 50 e 170 neurônios e sistemas com duas camadas ocultas variando de 10 a 50 neurônios em cada camada, mas a que mostrou maior nível de acerto com melhor velocidade de treinamento possuía duas camadas ocultas, a primeira com 25 neurônios, a segunda com 20 neurônios cujo resumo esquemático está apresentado na figura 5.6.

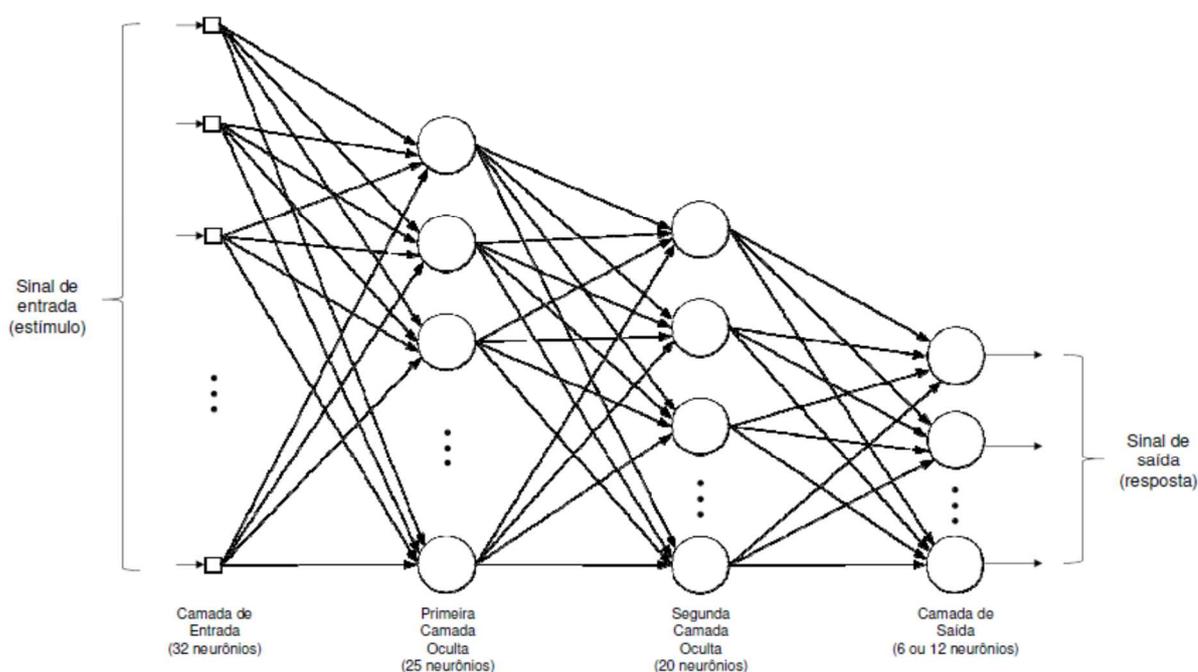


Figura 5.6 Arquitetura da rede neural

Ambas as redes neurais são treinadas de modo independente, mas com os mesmos parâmetros. Empregou-se uma taxa de aprendizado de 0,005, no modo de treinamento de propagação reversa em lote com 30 mil épocas. Como o universo de dados era de 5700 casos a serem analisados, com uma certa redundância entre estes casos, adotou-se 1900 casos, equivalente a 33% do universo de dados, para treinamento das redes neurais, e os 3800 casos restantes para validação e teste.

As energias dos coeficientes wavelets foram todas normalizadas uma linha por vez – ou seja, todos os coeficientes Ag entre si, todos os coeficientes D43 entre si e assim sucessivamente, como está explícito no eixo das abscissas das figuras 5.3 a 5.5 – para ficar na faixa de valores entre 0 e 1, de modo a evitar a saturação de alguns neurônios com valores de entrada mais elevados que outros.

Para a rede neural de detecção da região em falta, a saída particular deste circuito testado necessita de 6 neurônios, representando os nós 000, 004, 008, 012, 404 e 803. Uma falta acontecendo em quaisquer um destes nós citados deve ativar somente o nó em questão (curto-circuito no nó 008 deve ativar somente o neurônio correspondente ao nó 008, e assim por diante). Curtos-circuitos acontecendo em nós intermediários devem ativar simultaneamente os dois nós circundantes, ou seja, uma falta no nó 001 ou 002 ou 003 devem ativar simultaneamente os neurônios 000 e 004, faltas nos nós 801 e 802 devem ativar simultaneamente os nós 008 e 803, e assim por diante. A figura 5.7, revisitando a figura 5.1, é mais explícita em definir esses grupos similares de análise do cálculo de ramo em falta.

Para a rede neural de cálculo da distância em relação à fonte, como a máxima distância das redes em relação à fonte é de 12 km, e todos os trechos estão modelados para 1 km, maximiza-se a precisão usando 12 neurônios de saída, cada um representando sequencialmente a distância de 1 km, 2 km, 3 km e seguindo até 12 km de distância em relação à fonte. Neste caso, faltas acontecendo nos nós 005 e 401 devem ambos ativar o neurônio vinculado à distância de 5 km, faltas nos nós 803 e 011 devem ativar a distância de 11 km, e assim sucessivamente.

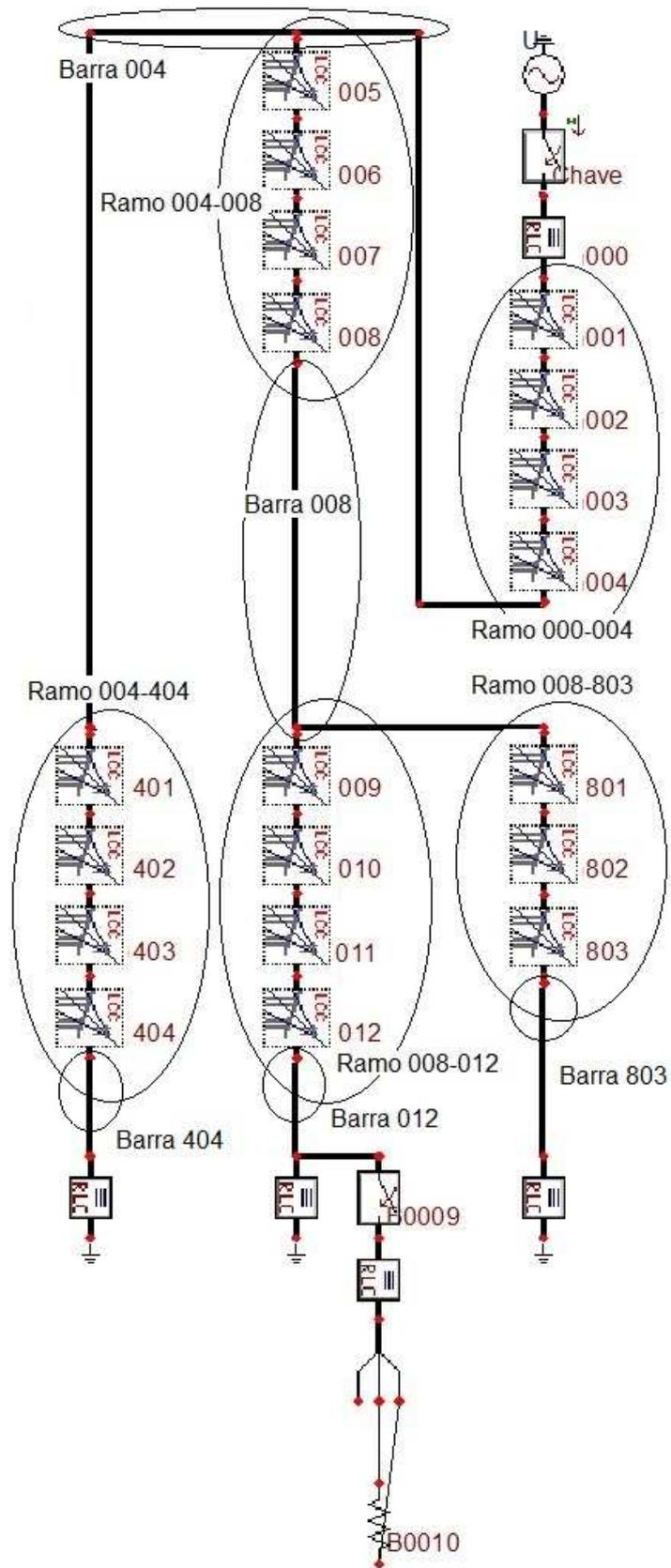


Figura 5.7 Grupos de nós para a análise da localização de ramos

5.3 Simulações e Resultados na Rede Fictícia

Ao efetuar as 5700 simulações de curto-circuito na rede fictícia proposta e extrair destas simulações as energias referentes às 8 faixas de frequência explicitadas na tabela 5.1 para as três fases e para a corrente de terra, produz-se uma matriz de energias com 5700 linhas e 32 colunas. Um terço desta matriz (1900 linhas) foi usada para treinar as duas redes neurais descritas no item anterior. Como os resultados de acerto entre casos treinados e casos não treinados foram consistentemente similares, em seguida avalia-se o total de 5700 casos pela rede neural, e os resultados que se obtém estão explicitados nas tabelas de número 5.2 a 5.6.

Os resultados não são perfeitos, mas de modo geral a metodologia proposta identificou corretamente o trecho faltoso em 91% dos casos testados (aproximadamente 500 erros de localização de trecho), enquanto que o sistema de cômputo da distância em relação à fonte foi ainda mais preciso, com 94% de acerto (aproximadamente 350 erros). Um aspecto interessante é que a base de dados (ou seja, as energias das frequências associadas a cada caso simulado) é exatamente o mesmo para ambas as classificações. O que muda no cômputo da distância em relação à identificação dos ramos em falta é simplesmente o agrupamento de dados de treinamento das redes neurais.

A tabela 5.2 analisa a influência do tipo da falta. Como são 10 tipos diferentes de falta, cada tipo de falta foi treinado 190 vezes, e foi verificado para 570 casos. Pode-se ver que curtos trifásicos e bifásicos à terra tem um resultado perfeito ou quase. Faltas fase-terra têm um resultado levemente pior, mas ainda acima de 90% para todos os tipos. Apenas as faltas bifásicas possuem uma taxa de acerto menor que 90%, com 81% de precisão para a identificação do ramo e 88% para o cálculo da distância. Isso gerou uma incógnita, já que não há motivos aparentes para esta consequência. A análise dos ângulos irá detalhar este pormenor, todavia.

O ângulo de incidência, como se pode ver na tabela 5.3, tem uma certa variância em relação ao percentual de acerto da localização, mas não nos permite apenas analisando esta tabela definir que um ângulo em especial tem

influência relevante nos resultados simulados da metodologia proposta neste circuito específico.

Devido ao método de seleção do universo de treinamento, os ângulos de 120° e 300° foram treinados 304 vezes nas duas redes neurais, enquanto que os demais ângulos foram treinados 323 vezes. Todos foram verificados para 950 casos cada. Como mostra a tabela 5.3, esta diferença para menos de treinamento para os dois ângulos citados não influenciou na qualidade da precisão.

Tabela 5.2 Influência do tipo de curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta

Tipo	Ramo	Distância
_AG	93%	90%
_BG	94%	94%
_CG	92%	95%
ABG	99%	98%
ACG	97%	99%
BCG	96%	100%
ABC	100%	100%
_AB	81%	88%
_AC	81%	88%
_BC	81%	87%

Tabela 5.3 Influência do ângulo de incidência na taxa de precisão da localização da falta

Ângulo	Ramo	Distância
0°	91%	95%
60°	92%	93%
120°	92%	94%
180°	90%	93%
240°	90%	92%
300°	93%	95%

Quando se procura investigar o motivo das faltas bifásicas terem um percentual de acerto significativamente menor que os demais casos, no entanto, percebe-se que existe uma correlação entre os erros de identificação das faltas bifásicas e o ângulo de incidência respectivo. A tabela 5.4 explicita esta constatação. Curtos-circuitos do tipo BC acabam gerando sinais de frequências

contraditórios ou sobrepostos nos ângulos de incidência zero e 180°. Da mesma forma, curtos bifásicos tipo AB tem problemas com os ângulos de 60° e 240°, enquanto que os ângulos de 120° e 300° produzem interferência nos curtos bifásicos tipo AC. Em média, cerca de dois terços das falhas de identificação dos ângulos foi decorrente de uma falta bifásica específica. Falhas trifásicas e bifásicas à terra praticamente não sofreram esta interferência angular, e por isso tiveram melhores resultados.

Tabela 5.4 Correlação entre erros de identificação dos ângulos e tipos de falta bifásica

Ang	Erros	Erros em curtos fase-fase	Tipo	%
0	86	56	_BC	65%
60	80	53	_AB	66%
120	75	45	_AC	60%
180	93	53	_BC	57%
240	98	53	_AB	54%
300	65	50	_AC	77%

Observando agora a tabela 5.5, fica patente que as pequenas impedâncias de curto testadas (em que pese algumas normas considerarem um sistema aterrado a 10 ohms como sistema de alta impedância) não influenciam de modo algum na metodologia proposta. Todas as impedâncias foram treinadas na rede neural para 380 casos, e a rede foi validada para 1140 casos de cada impedância.

Tabela 5.5 Influência da impedância de curto na taxa de precisão da localização da falta

Z(Ω)	Ramo	Distância
1,00E-03	91%	94%
1,00E-01	91%	94%
1	91%	94%
5	91%	94%
10	91%	94%

O parâmetro que mais influencia a correta localização do local da falta é, como se percebe na tabela 5.6, o nó em que o curto-circuito acontece. A frase

parece redundante, mas na verdade é uma das premissas de todo este trabalho, de que cada local em que o curto-circuito ocorre gera através da topologia da rede um conjunto unívoco de frequências. Estas frequências, quando lidas pela transformada *wavelet*, transformadas num vetor de energias características de cada evento e ensinadas a uma rede neural é que deveriam possibilitar o correto mapeamento do local do curto circuito.

Tabela 5.6 Influência do local em que acontece o curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta

Local do curto-circuito	Ramo	Distância
001	100%	100%
002	100%	100%
003	100%	100%
004	97%	100%
005	84%	98%
006	90%	97%
007	90%	95%
008	99%	90%
009	91%	85%
010	99%	82%
011	88%	93%
012	98%	88%
401	90%	100%
402	96%	100%
403	100%	95%
404	87%	88%
801	61%	82%
802	85%	90%
803	80%	100%

Se o nó em que acontece o curto circuito gera frequências que podem ser confundidas com as geradas por outros nós, a rede neural não vai conseguir localizar corretamente. De fato, percebe-se que a maior parte das falhas de classificação por parte da rede neural acontece em nós em distâncias similares, como os nós 005 e 401, ambos a 5 km da fonte, ou nós 009 e 801 a 9km da fonte ou 011 e 803 a 11km da fonte, barras cujos curtos-circuitos que de alguma forma podem gerar conteúdo harmônico similar.

A pior identificação apresentada na tabela 5.6 é justamente a identificação do ramo faltoso para o nó 801, com apenas 61% de precisão. Cada nó foi

treinado na rede neural 100 vezes, e verificado 300 casos ao final, o que significa que em praticamente 120 casos o sistema proposto não conseguiu identificar que o curto-circuito no nó 801 deveria ativar os neurônios vinculados aos nós 008 e 803. De fato, em alguns casos ele somente ativou o neurônio do nó 008, em outros somente o neurônio do nó 803, e em alguns casos mais graves, até o neurônio do nó 012.

Ainda assim, vendo que na média o método aqui implementado consegue acertar 91% dos ramos faltosos e 94% das distâncias, conclui-se que a técnica aqui sugerida traz informações positivas para o processo de identificação do local de um curto circuito em redes de distribuição. Os resultados obtidos foram redigidos como artigo técnico e submetidos para publicação (NERI JR. et al, 2018). Como este circuito era fictício, similar aos que foram modelados por Nakhli e Borghetti, a próxima etapa é verificar a aderência a um circuito de distribuição em 13,8kV real que alimenta poços de petróleo e estações numa área rural do estado da Bahia.

5.4 Simulações na Rede Elétrica Real Adaptada, Normalização Não-Linear nos Dados de Entrada da Rede Neural e Resultados

O circuito real a ser simulado tem diversos trechos curtos e cargas espalhadas que foram agrupados e resumidos de modo a obtermos o circuito com as características da figura 5.8.

Com base nos dados apresentados na figura 5.8, foi possível criar no ATP o circuito adaptado representado pela figura 5.9. Os parâmetros detalhados em linguagem ATP estão no apêndice C. Modelaram-se os trechos com cabos 4 AWG, cabos 1/0 AWG e 3/0 AWG em blocos de 1 quilômetro de comprimento, uma simplificação bastante razoável para este circuito.

Como já havia a experiência dos resultados do circuito fictício, explicitadas no item 5.3, desta feita alteraram-se alguns poucos parâmetros de simulação. Foram feitas simulações com 5 impedâncias, 1m Ω , 1 Ω , 2 Ω , 5 Ω e 10 Ω ; 6 ângulos de incidência diferentes do caso anterior, mantendo apenas o ângulo zero como referência, 0°, 30°, 45°, 90°, 135°, 150°; análise nos 10 diferentes tipos de curto possíveis (ABC, AT, ABT, BC, etc.) e, como o circuito possui topologia

específica, terminou-se por simular eventos em 14 barras. Assim, tem-se ao todo 4200 casos simulados.

Também foram refeitas as rotinas do Scilab que efetuam a geração dos casos ATP e o processamento *wavelet*. O sistema de geração de múltiplos arquivos ATP foi adaptado à nova configuração de 14 barras, e também ajustar o sistema de processamento *wavelet* para os novos limiares de corrente, já que este limiar interfere com a correta detecção do curto-circuito. As maiores mudanças, entretanto, acontecem no sistema de redes neurais.

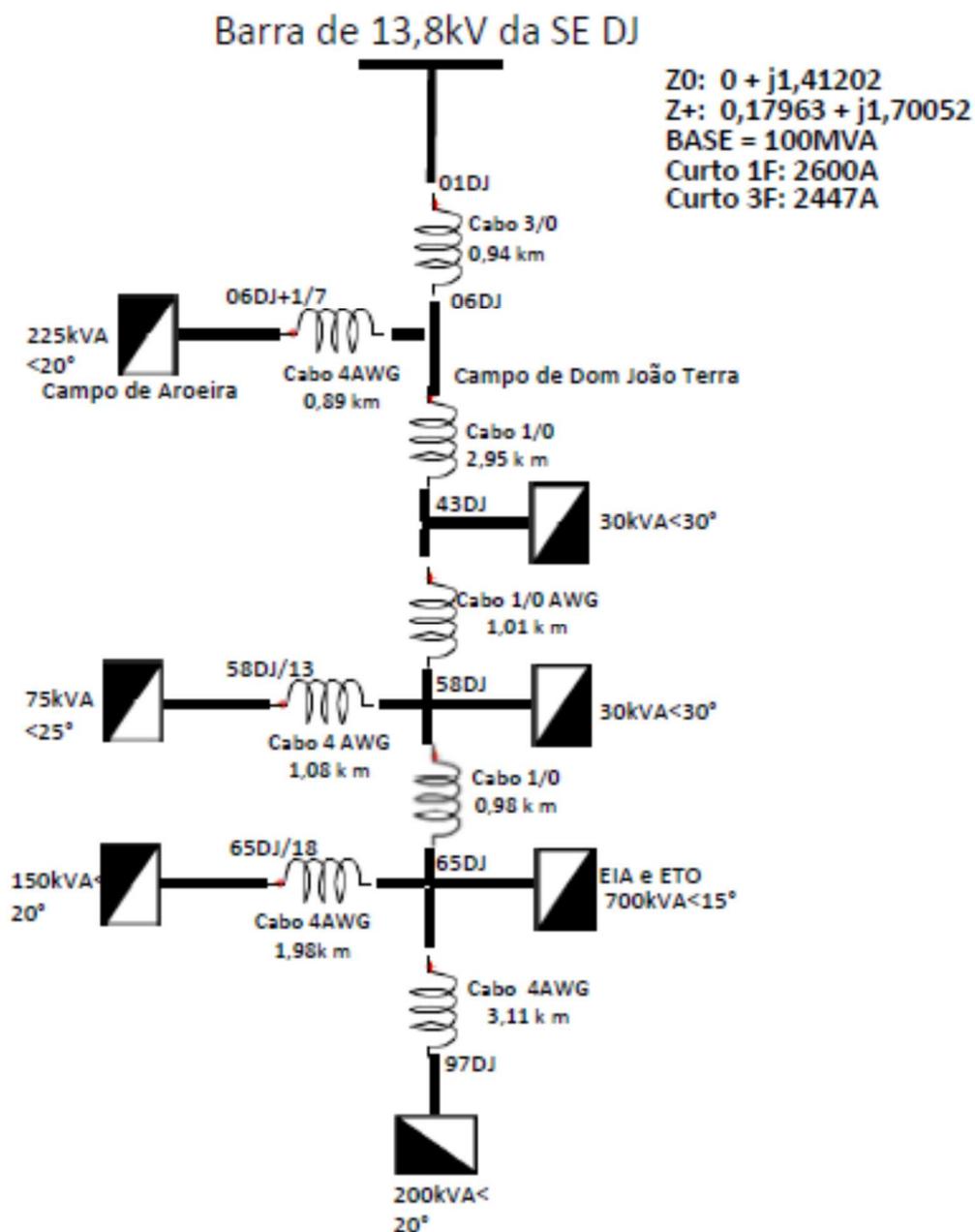


Figura 5.8 Topologia adaptada da rede elétrica real do campo de Dom João.

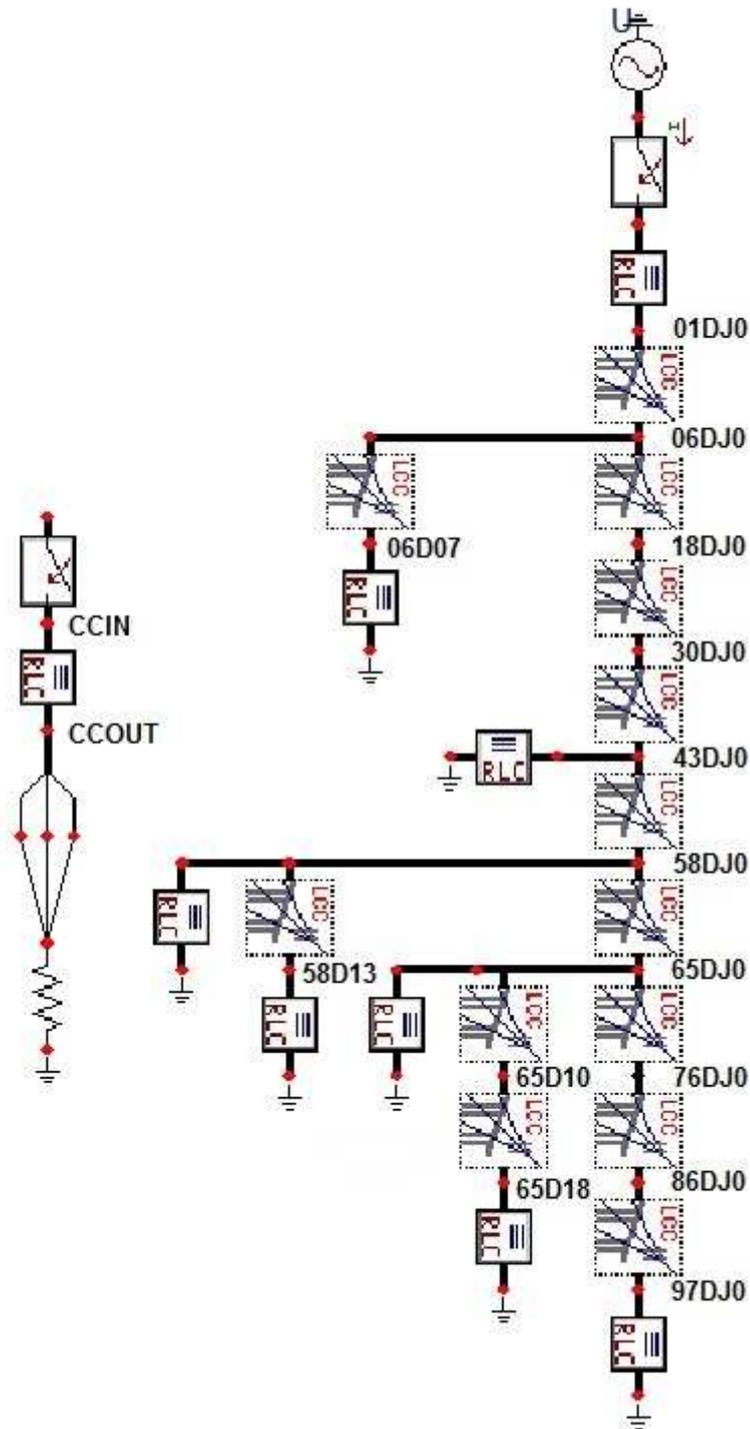


Figura 5.9 Modelamento da rede elétrica do campo de Dom João no programa ATP

A nova topologia da rede elétrica requer um tratamento específico para o sistema de treinamento das redes neurais, e portanto os sistema de classificação

de ramo em falta e de distância à fonte devem ser remodelados para considerar esta nova configuração. Da mesma forma que no circuito fictício, foram definidas 10 distâncias em relação à fonte, começando na distância zero (o primeiro nó de saída da Subestação) até a distância de 9km, que seria o nó 97DJ0. As distâncias aproximadamente similares foram agrupadas conforme figura 5.10.

Algumas barras possuem resultados unívocos e dependem somente de uma das redes neurais, como, por exemplo, o nó 30DJ0, que está sozinho a 3km de distância da fonte. Se o neurônio corresponde a 3 km de distância é ativado, isso significa que o curto é no nó 30DJ0.

Foram feitas diversas tentativas para agrupar os trechos, segregando em diversos grupos de nós da mesma forma que foi feita para o circuito fictício, mas todas essas tentativas tiveram resultados por demais insatisfatórios, com acerto global médio menor que 60%. Por fim, decidiu-se por agrupar todos os nós da linha tronco num único conjunto, e as 3 derivações, quais sejam os nós 06D07, 58D13 e a derivação com os nós 65D10 e 65D18, terem sinalização explícita.

Uma propriedade interessante que não foi aprofundada é que a lógica negativa teve resultados percentuais melhores que a lógica positiva. Assim, um evento no nó 06D07 deverá excitar negativamente o neurônio de saída 1, ou seja, saída (0 1 1), um curto no nó 58D13 deverá excitar negativamente o neurônio 2 (1 0 1) e eventos nos nós 65D10 e 65D18 devem excitar negativamente o neurônio de saída 3 (1 1 0). Eventos nos demais nós devem ter saída (1 1 1). Os grupos são mostrados na figura 5.11.

Tanto para o cômputo da distância quanto para a identificação do trecho em falta, manteve-se a topologia da rede neural já consagrada no caso da rede fictícia, com 32 neurônios de entrada vinculados ao total das 32 energias *wavelet*, duas camadas ocultas com 25 e 20 neurônios, nesta sequência, e uma camada de saída vinculada ao total de dados. Na análise de distância em relação à fonte, 10 neurônios, na análise de ramo, 3 neurônios de saída.

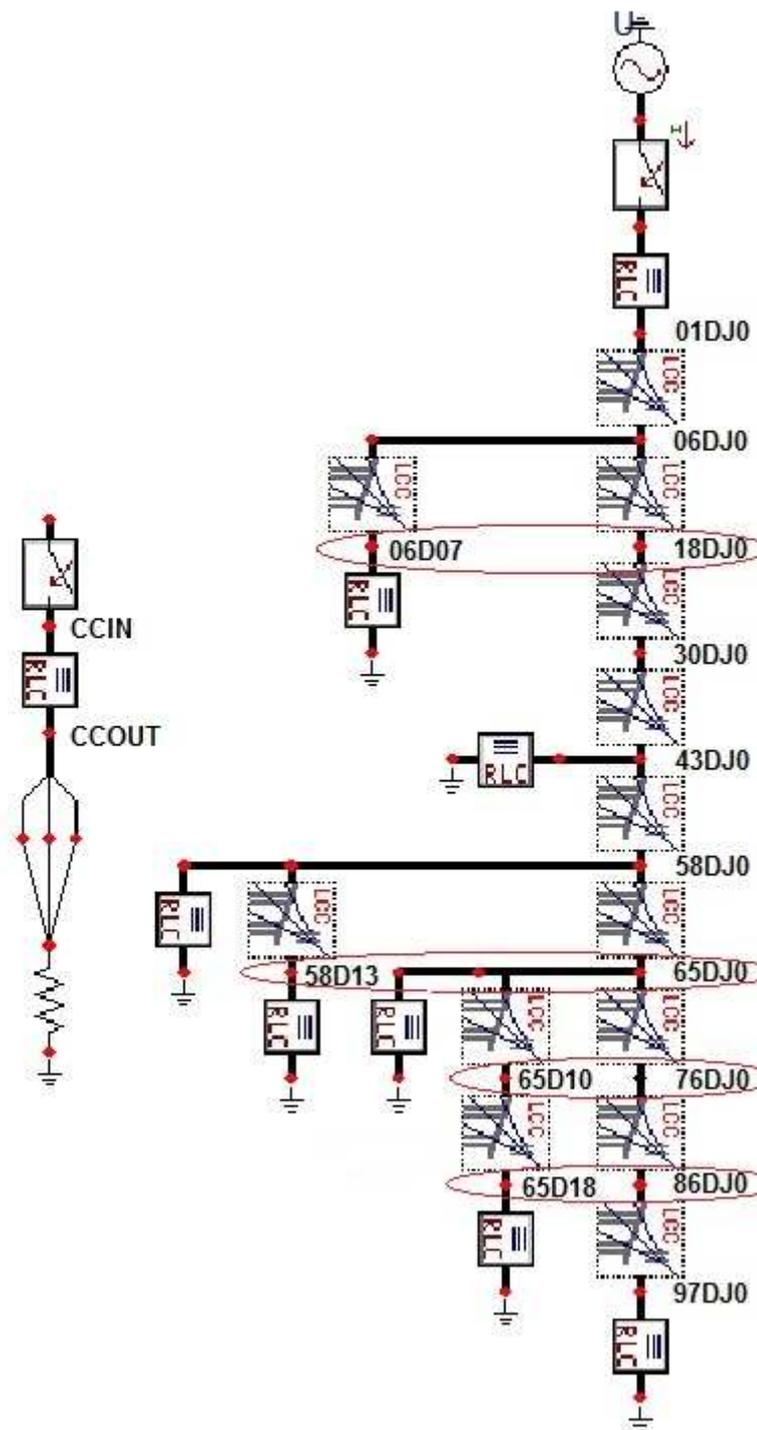


Figura 5.10 Definição dos grupos de cômputo da distância para a localização de falta

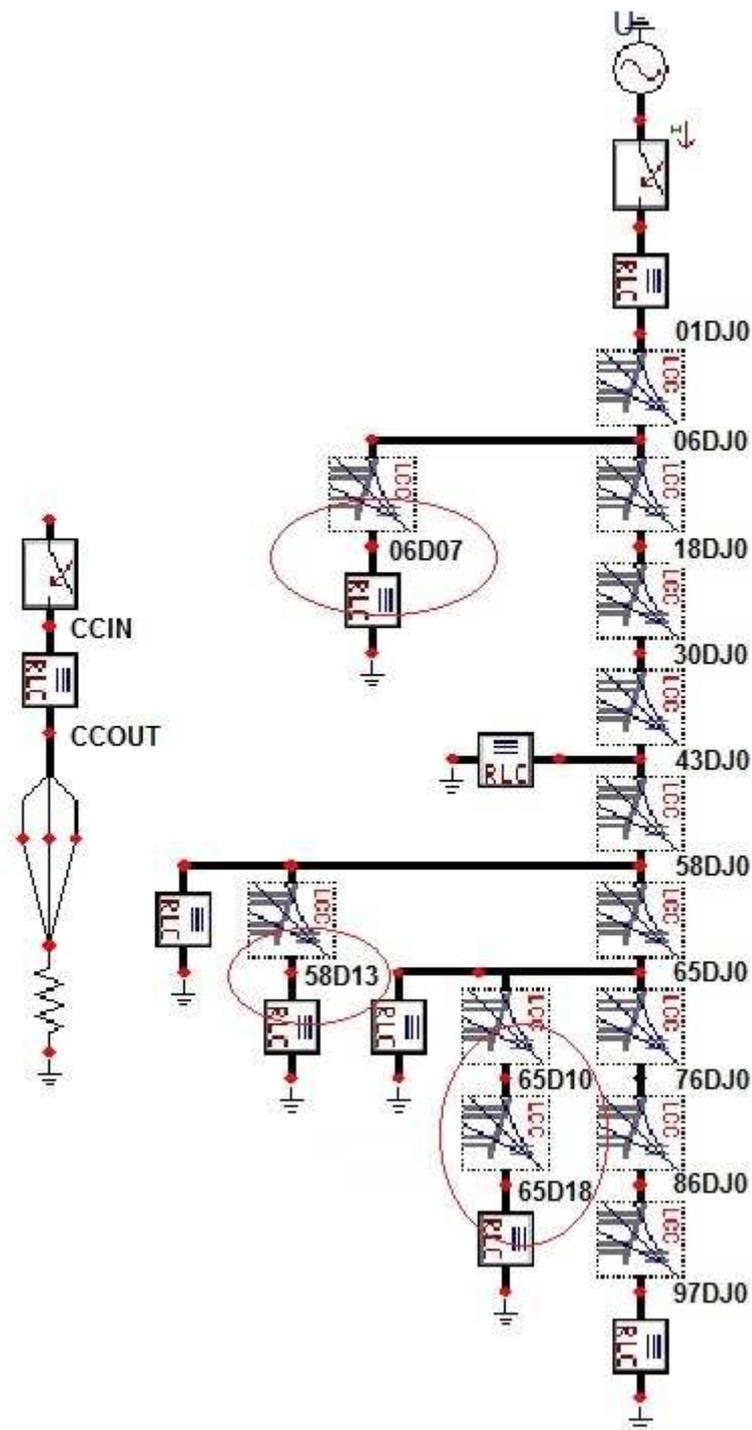


Figura 5.11 Definição dos trechos para a localização de falta

Desta forma, a junção dos conhecimentos obtidos por ambas as redes neurais permite mapear todos os locais de circuito que tiveram faltas. A opção por fazer duas redes neurais e não uma única pretende organizar uma metodologia flexível que seja independente do circuito a ser analisado, em que

pese a necessidade de adaptação para cada circuito, ao menos para a definição dos trechos em falta.

Como os resultados iniciais das simulações nas redes neurais trouxeram números surpreendentemente ruins, como se as redes neurais não estivessem conseguindo detectar nenhum padrão nos dados das energias, especialmente para a identificação do trecho em falha quando os curtos-circuitos aconteciam nas derivações, um tratamento numérico mais apurado foi investigado.

5.4.1 Normalização Não-Linear dos Dados de Entrada da Rede Neural

A energia extraída das *wavelets* é um parâmetro bastante válido para identificar particularidades de altas frequências nos sinais de curto, e havia apresentado características bem efetivas no circuito fictício. Ainda assim, foi possível perceber que, para os casos específicos de tamanho do circuito e de topologia, alguns sinais de alta frequência tinham energias bastante pequenas. Quando o sinal era normalizado para entrar nas redes neurais, alguns sinais de frequência mais baixa tinham variação entre 10^{-2} e 1, enquanto sinais de conteúdo harmônico mais elevado tinham uma variação de dados de entrada bem maior, às vezes até entre 10^{-6} e 1.

Como esta relação de pesos acaba alterando a importância relativa entre os diversos neurônios ocultos da rede neural, alguns nós muito próximos à fonte, cujo conteúdo de baixa frequência é mais significativo, tinham bons resultados, mas nós afastados não possuíam a mesma qualidade. Uma solução que foi aventada e que, ao final, se mostrou bastante proveitosa foi a de reduzir a discrepância entre os dados de baixa e alta frequências, aplicando uniformemente algum tipo de normalização nos dados de entrada da rede neural de modo a obter melhorias no desempenho das redes neurais.

A normalização dos dados de entrada é uma técnica conhecida de aprimoramento da qualidade do treinamento das redes neurais (HAYKYN, Op. Cit.), é já havia sido aplicada na rede elétrica fictícia em sua forma linear mais simples quando todas as energias dos 32 parâmetros de entrada foram normalizados pelo valor máximo, de modo que todos os dados de entrada fossem números positivos menores ou iguais à unidade.

Algumas referências (SOLA & SEVILLA, 1997; OGASAWARA et al, 2010; JIAN et al, 2015;) apontam diversos métodos lineares adicionais de normalização, seja através da redistribuição dos dados de entrada de modo a acompanhar uma distribuição normal (Id., Ibid.), seja através de fórmulas específicas para os dados em questão (SOLA & SEVILLA, Op. Cit.). Uma aplicação observada da normalização linear é aplicada a dados de uma série não-estacionária (OGASAWARA et al, Op. Cit.). A aplicação destas técnicas no problema de localização de curtos-circuitos conforme organizado neste trabalho, no entanto, manteria a proporção entre os dados para um mesmo parâmetro específico com a ordem de grandeza elevada, mantendo praticamente a mesma taxa de erro no resultado final das redes neurais.

Um artigo recente (KOVAL, 2018) apresenta um sumário de diversos tipos de pré-processamento de dados para a análise matemática usando redes neurais, mas limita a abordagem para os dados numéricos às operações de distinção, comparação, adição, subtração, multiplicação e divisão, transitando apenas no universo de normalizações lineares ou estatísticas dos dados.

Neste trabalho, foi testado uma outra operação matemática capaz de normalizar de modo não-linear os dados, a radiciação. Como foram avaliados diversos expoentes para definir qual o mais adequado, denominou-se aqui este processo como raiz enésima²⁰. Outras alternativas de normalização não-linear citadas por Campos (s/d) que não tem aplicação neste trabalho mas que podem servir para outros tipos de dados a serem processados por redes neurais são as funções hiperbólicas (inversas) ou logarítmicas.

De fato, apenas teoricamente, apresenta-se a tabela 5.7, que mostra a raiz enésima de diversos números entre 0 e 1. O que se apreende desta tabela é que, quanto maior o grau da raiz, mais o número original vai se aproximando de 1. Por exemplo a raiz quadrada de 0,5 é 0,707, a raiz vigésima de 0,5 é 0,9659. Para evitar problemas de cálculo dentro do Scilab, foram usadas somente expoente pares que geravam sequências numéricas finitas (como exemplo, a operação para efetuar a raiz sexta é implementada

²⁰ Campos, G. M., Estatística Prática para Docentes e Pós-Graduandos, capítulo 13, disponível em <http://blackstar.forp.usp.br/restauradora/gmc/gmc_livro/gmc_livro_cap13.html>. Acesso em 12 de dezembro de 2017

computacionalmente com a exponenciação ao número $1/6$, que dá uma dízima periódica de 0,166666, ou seja, uma sequência numérica infinita).

Tabela 5.7 Raiz enésima de números entre 0 e 1

Expoente da raiz	Números					
1	0,9	0,5	0,1	0,01	1,00E-06	1,00E-08
2	0,9487	0,7071	0,3162	0,1000	0,0010	0,0001
4	0,9740	0,8409	0,5623	0,3162	0,0316	0,0100
8	0,9869	0,9170	0,7499	0,5623	0,1778	0,1000
10	0,9895	0,9330	0,7943	0,6310	0,2512	0,1585
16	0,9934	0,9576	0,8660	0,7499	0,4217	0,3162
20	0,9947	0,9659	0,8913	0,7943	0,5012	0,3981

As consequências destas modificações numéricas foram avaliadas para o resultado de definição dos trechos em curto circuito das redes neurais. Como o sistema normal, empregando a energia, teve resultados praticamente nulos para a detecção dos diversos ramos, foi feita uma sequência de análise, como pode ser visto na tabela 5.8, em que os resultados da rede neural variam com base no tratamento dos dados de entrada com a operação de radiciação. Expoente 1 na raiz significa que o dado é tratado como se fosse a energia normal que sai do processo de leitura dos estudos de curto-circuito, e cada expoente diferente tem seus resultados da passagem pela rede neural analisados. Pode-se ver na tabela 5.8 que, para os nós críticos, a saber 06D07, 58D13 e o grupo 65D10 e 65D18, o melhor resultado é o que se apresenta quando se trata os dados de entrada da rede neural com a raiz oitava.

Um ponto de alerta na análise da tabela 5.8, ao menos nas colunas Raiz 1, Raiz 2 e Raiz 4, é que se o resultado de saída da rede neural é (1 1 1), como é esperado para todos os nós da linha tronco, isto necessariamente não significa que a rede neural aprendeu corretamente as características que segregam os nós de uma derivação e seus nós correspondentes na linha tronco, como por exemplo quando a rede neural precisa discernir entre os nós 65D10 e 76DJ0 ou entre os nós 65D18 e 86DJ0. Por este motivo, as raízes em que os nós 76DJ0 e 86DJ0 tem resultados de acerto 100% não significam que a rede os classificou corretamente, mas que a rede neural não conseguiu perceber as diferenças numéricas nos dados de entrada entre um nó de derivação e um nó da linha

tronco, e praticamente todas as saídas tiveram resultado final na rede neural de de classificação do trecho de (1 1 1).

Tabela 5.8 Percentual de acerto da rede neural para o cálculo dos trechos em falta variando somente a raiz enésima de tratamento das energias *wavelet*

Nó	Raiz 1	Raiz 2	Raiz 4	Raiz 8	Raiz 10	Raiz 16	Raiz 20
01DJ0	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
06DJ0	100%	100%	98%	100%	98%	95%	100%
06D07	0%	0%	73%	88%	84%	76%	36%
18DJ0	100%	100%	95%	100%	85%	96%	100%
30DJ0	100%	100%	89%	100%	93%	95%	100%
43DJ0	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
58DJ0	100%	100%	100%	98%	99%	99%	99%
58D13	0%	0%	0%	82%	56%	42%	27%
65DJ0	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99%
65D10	0%	2%	0%	83%	50%	12%	49%
65D18	0%	3%	2%	59%	36%	14%	40%
76DJ0	100%	98%	100%	73%	78%	100%	74%
86DJ0	100%	97%	100%	67%	80%	100%	68%
97DJ0	100%	93%	100%	100%	87%	93%	79%
Média	71%	71%	76%	89%	82%	80%	77%

5.4.2 Resultados da Rede Elétrica Real Adaptada

Definindo-se que a raiz oitava é a forma matemática mais relevante de tratar os dados das energias nas redes analisadas nesta etapa, pode-se ampliar o tratamento e mostrar as diversas variáveis que impactam na precisão desta análise, repetindo o local da falta, a impedância de curto-circuito, o ângulo de incidência e o tipo de curto-circuito. Foi feito o mesmo tratamento na rede neural que analisa a distância relativa à fonte. Os resultados podem ser vistos nas tabelas 5.9 a 5.12. De modo global, a precisão final no cômputo da distância em relação à fonte é de 92%, e a taxa de acerto em relação ao ramo defeituoso é de 89%.

Tabela 5.9 Influência do tipo de curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta

Tipo	Ramo	Distância
_AG	84%	83%
_BG	79%	67%
_CG	80%	70%
ABG	93%	100%
ACG	95%	100%
BCG	92%	100%
ABC	90%	100%
_AB	93%	100%
_AC	95%	100%
_BC	92%	99%

A tipologia da falta no circuito DJ, conforme tabela 5.9, mostra uma precisão significativamente menor para os curtos fase-terra que para os demais tipos. No cômputo da distância, praticamente só os curtos fase-terra apresentam erros de detecção. Na análise do ramo defeituoso existe uma distribuição mais homogênea de erros, mas ainda assim a média de acerto para os curtos fase-terra é de 81%, enquanto que os demais tipos de falta têm acerto médio de 93%. Este problema tem alguma relação com a mudança dos ângulos de incidência, mas também com a topologia do circuito. Alternativas serão melhor detalhadas no item 5.5.

Tabela 5.10 Influência do ângulo de incidência na taxa de precisão da localização da falta

Ângulo	Ramo	Distância
0°	88%	87%
30°	87%	93%
45°	91%	90%
90°	89%	94%
135°	90%	94%
150°	91%	94%

O ângulo zero, o único que se repetiu na análise do circuito fictício e nesta, como mostra a tabela 5.10, possui um resultado levemente pior que os demais, seguido pelos ângulos de 30° e de 45°. No caso do ângulo de incidência zero, a já conhecida interferência com o curto bifásico tipo BC influi para esta menor precisão (vide tabela 5.4), mas há também interferências explícitas com curtos

do tipo BT e CT. Para o ângulo de 45° , a interferência no cômputo da distância surge nos curtos tipo AT e BT. O ângulo de 30° tem resultado bom para o cômputo da distância, mas nos nós críticos 65D10 e 65D18 surgem vários de erros de classificação de trechos defeituosos nas faltas monofásicas, ao mesmo tempo em que apresenta falhas de classificação para os nós 76DJ0 e 86DJ0 em faltas bifásicas ou bifásicas à terra.

Tabela 5.11 Influência da impedância de curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta

Z(Ω)	Ramo	Distância
1,00E-03	89%	92%
1	89%	92%
2	89%	92%
5	89%	92%
10	89%	92%

Como anteriormente, a tabela 5.11 mostra que este nível pequeno de impedância resistiva não interfere no sistema de localização do curto-circuito.

Tabela 5.12 Influência do local em que acontece o curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta

Local do curto-circuito	Ramo	Distância
01DJ0	100%	98%
06DJ0	100%	100%
06D07	88%	100%
18DJ0	100%	100%
30DJ0	100%	90%
43DJ0	100%	90%
58DJ0	98%	87%
58D13	82%	87%
65DJ0	100%	88%
65D10	83%	85%
65D18	59%	93%
76DJ0	73%	85%
86DJ0	67%	93%
97DJ0	100%	90%

Analisando a tabela 5.12 e cotejando-a com a tabela 5.6, pode-se perceber aqui que a topologia analisada interfere bastante com a capacidade de precisão do sistema de análise. Os nós unívocos, que não possuem

sobreposição teórica com outros nós, geralmente apresentam melhor resultado tanto na análise de ramo em falta quanto no cômputo da distância, como por exemplo os nós 18JDJ0, 43DJ0 ou 97DJ0. Já os nós concorrentes, especialmente os mais distantes da subestação, como por exemplo 65D10 e 76DJ0 ou 65D18 e 86DJ0, têm um desempenho pior na identificação do ramo, com taxas de acerto da ordem de 70%. Como foi dito no comentário da tabela 5.10, isto decorre de interferências provocadas pelos ângulos de incidência 0° , 30° e 45° , que se concentram nestes nós. Algumas alternativas vão ser detalhadas no tópico 5.5.

5.5 Outras Simulações Complementares

Considerando os resultados apresentados no tópico 5.4, resolveu-se executar mais 3 tipos de análise usando as redes neurais artificiais, e uma análise teórica final. A primeira análise é utilizar a radiciação de ordem 8 para processar os dados do circuito fictício do tópico 5.3, e comparar os resultados de saída. Em seguida, faz-se um detalhamento da análise pelas duas redes neurais do circuito DJ, considerando apenas curtos-circuitos do tipo fase-terra. Depois, para deliberar sobre a influência das impedâncias de linha como limitantes desta metodologia proposta, efetua-se uma análise completa da rede adaptada DJ considerando que todos os trechos de rede possuem bitola 3/0AWG. Por último, já prescindindo da análise das redes neurais, sucintamente se comenta, com base na teoria das ondas viajantes, como a topologia de um circuito interfere na metodologia proposta.

5.5.1 Reprocessando o Circuito Fictício com a Radiciação de Oitava Ordem

O circuito fictício analisado pela metodologia proposta no tópico 5.3 cujos resultados foram apresentados nas tabelas 5.2 a 5.6 teve suas energias *wavelet* tratadas com a raiz oitava. Isso fez com que os resultados globais de detecção de trecho em falta saltassem de 91% para 95%, e de cômputo de distância de 94% para 97%. Da mesma forma, o problema que havia sido detectado no nó 801, que possuía desempenho significativamente pior que os demais na

detecção do ramo em falta, com apenas 61% de acerto usando a raiz unitária, foi aprimorado para uma taxa de 92% de acerto com a raiz oitava. A influência angular que provocava um maior índice de falhas nos curtos bifásicos, no entanto, permaneceu, mesmo que atenuada. Os valores podem ser vistos nas tabelas 5.13 a 5.16.

Tabela 5.13 Influência do tipo de curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta

Tipo	Ramo	Distância
_AG	100%	99%
_BG	97%	100%
_CG	97%	100%
ABG	100%	100%
ACG	99%	100%
BCG	100%	100%
ABC	100%	100%
_AB	87%	90%
_AC	84%	89%
_BC	87%	89%

Tabela 5.14 Influência do ângulo de incidência na taxa de precisão da localização da falta

Ângulo	Ramo	Distância
0°	95%	97%
60°	97%	97%
120°	95%	97%
180°	95%	96%
240°	94%	97%
300°	94%	96%

Tabela 5.15 Influência da impedância de curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta

Z(Ω)	Ramo	Distância
1,00E-03	95%	97%
1,00E-01	95%	96%
1	95%	97%
5	95%	97%
10	95%	96%

Tabela 5.16 Influência do local em que acontece o curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta

Local do curto-circuito	Ramo	Distância
001	100%	100%
002	100%	100%
003	100%	100%
004	98%	100%
005	94%	100%
006	92%	100%
007	92%	100%
008	100%	93%
009	98%	91%
010	95%	96%
011	98%	95%
012	100%	90%
401	92%	100%
402	93%	100%
403	93%	100%
404	90%	92%
801	92%	90%
802	91%	95%
803	90%	95%

5.5.2 Análise do Circuito DJ Exclusivamente para Curtos Fase-Terra

Observando os resultados do circuito DJ, é possível perceber que há uma maior taxa de falhas na capacidade da rede neural identificar corretamente a distância dos curtos monofásicos, conforme foi registrado na tabela 5.9. Como os curtos monofásicos são os eventos mais comuns em redes aéreas de distribuição, um resultado ponderado indicaria que a precisão global do sistema é menor que a propagada, posto que todos os tipos de curto estão sendo considerados como ocorrência equivalentes, o que não é verdade.

Assim, uma nova análise foi realizada no circuito DJ normal, focando exclusivamente nos curtos fase-terra, ou seja, nesta análise as redes neurais processam e aprendem somente curtos do tipo fase-terra. As redes neurais de cálculo de distância e de trecho em falta permanecem as mesmas, apenas os dados de entrada são selecionados de modo a contemplar somente curtos do tipo fase-terra, reduzindo o universo de casos avaliados para 1260.

Numa primeira avaliação, usando a raiz oitava, os resultados obtidos exclusivamente com o tratamento das energias *wavelet* para o curtos-crcuitos

fase-terra apresentaram uma discrepância muito significativa entre os diversos nós, de modo que foi decidido refazer a análise dos resultados da radiciação, de modo similar ao que foi feito na tabela 5.8. Assim, tem-se na tabela 5.17 uma análise do desempenho de diferentes raízes enésimas exclusivo para as faltas fase-terra. Nestes casos, analisou-se as raízes oitava, décima, décima sexta, vigésima até a trigésima segunda.

Tabela 5.17 Resposta de saída da rede neural para o cálculo dos ramos em faltas fase-terra variando somente a raiz enésima de tratamento das energias *wavelet*

Nó	Raiz 8	Raiz 10	Raiz 16	Raiz 20	Raiz 32
01DJ0	100%	100%	100%	100%	100%
06DJ0	100%	100%	100%	100%	100%
06D07	100%	100%	100%	94%	87%
18DJ0	100%	100%	100%	100%	100%
30DJ0	100%	100%	100%	100%	100%
43DJ0	100%	100%	100%	100%	100%
58DJ0	94%	91%	100%	100%	96%
58D13	33%	45%	50%	44%	18%
65DJ0	100%	96%	100%	100%	96%
65D10	39%	41%	39%	39%	23%
65D18	22%	26%	17%	17%	4%
76DJ0	100%	100%	100%	100%	100%
86DJ0	100%	100%	100%	100%	100%
97DJ0	94%	95%	94%	94%	95%
Média	84,5%	85,4%	85,7%	84,9%	80%

Após esta análise preliminar, neste caso particular vê-se que a raiz décima-sexta é a melhor opção. Mostram-se, então, os resultados gerais para curtos fase-terra, que se encontram nas tabelas 5.18 a 5.21. Pode-se ver que os resultados melhoram significativamente a precisão no cálculo de distância para as faltas monofásicas, mesmo que o tipo de curto fase B à terra permaneça com um percentual de precisão menor que os das outras fases. A identificação correta das derivações em falta, como se pode observa na tabela 5.21, no entanto, permanece pior que os resultados da tabela 5.12, comparando os nós críticos 58D13, 65D10 e 65D18.

O que se pode concluir nesta segunda análise é que, em algumas topologias, como a deste circuito DJ, a metodologia pode ter seu desempenho

aprimorado quando se segregam as redes neurais que analisam os curtos do tipo fase-terra dos demais tipos de curto. A interferência provocada pelos ângulos de incidência em determinados tipos de curto permanece, mas o resultado global é significativamente melhorado. Ainda assim, as características de geração de frequências por parte de nós concorrentes em certas topologias não permitem uma classificação do ramo em curto plenamente precisa. Isto acaba sendo acentuado nos curtos fase-terra.

Tabela 5.18 Influência do tipo de curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta

Tipo	Ramo	Distância
_AG	88%	100%
_BG	87%	85%
_CG	82%	98%

Tabela 5.19 Influência do ângulo de incidência na taxa de precisão da localização da falta

Ângulo	Ramo	Distância
0°	83%	93%
30°	81%	88%
45°	86%	93%
90°	88%	93%
135°	88%	100%
150°	88%	98%

Tabela 5.20 Influência da impedância de curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta

Z(Ω)	Ramo	Distância
1,00E-03	86%	94%
1	86%	94%
2	86%	94%
5	86%	94%
10	86%	94%

Tabela 5.21 Influência do local em que acontece o curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta

Local do curto-circuito	Ramo	Distância
01DJ0	100%	100%
06DJ0	100%	100%
06D07	100%	100%
18DJ0	100%	100%
30DJ0	100%	100%
43DJ0	100%	94%
58DJ0	100%	89%
58D13	50%	100%
65DJ0	100%	94%
65D10	39%	89%
65D18	17%	83%
76DJ0	100%	89%
86DJ0	100%	89%
97DJ0	94%	89%

Numa implementação efetiva para uma rede neural avaliando curtos fase-terra e outra avaliando os demais curtos, o sistema precisaria fazer a segregação entre os eventos de falta, direcionando os curtos fase-terra para sua rede neural apropriada. Como é relativamente simples, mesmo com regras de limiar rígido, segregar curtos que são fase-terra e os que não são, prescindir-se-á de apresentar um classificador de faltas nos arquivos apresentados no apêndice.

5.5.3 Análise do Circuito DJ com cabos 3/0 AWG

O terceiro ponto relevante que une as duas análises é que, comparando os resultados globais do circuito fictício e da rede DJ, vê-se que o primeiro tem um resultado melhor que o segundo. Duas explicações essenciais surgem para identificar qual acaba tendo mais relevância: ou o circuito DJ possui um topologia com maiores redundâncias que contribui para um pior desempenho do sistema localizador de falta, já que os sinais de nós distintos poderia ser similares a ponto de serem indiscerníveis, ou o fato da rede DJ contar com cabos de maior resistência prejudicaria a obtenção dos sinais de frequência mais alta, piorando, portanto, a capacidade de identificação de padrões das redes neurais. Um teste simples que pode comprovar ou derrubar a segunda hipótese é simular novamente o circuito DJ nos mesmos 4200 casos já testados, mas mudando a

os cabos 1/0 AWG e 4 AWG para cabos 3/0 AWG. Seus resultados podem ser vistos nas tabelas 5.22 a 5.25.

Tabela 5.22 Influência do tipo de curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta

Tipo	Ramo	Distância
_AG	83%	82%
_BG	81%	69%
_CG	83%	75%
ABG	92%	100%
ACG	95%	100%
BCG	93%	100%
ABC	87%	99%
_AB	92%	100%
_AC	95%	100%
_BC	93%	99%

Tabela 5.23 Influência do ângulo de incidência na taxa de precisão da localização da falta

Ângulo	Ramo	Distância
0°	83%	87%
30°	90%	95%
45°	88%	90%
90°	95%	94%
135°	89%	95%
150°	92%	94%

Tabela 5.24 Influência da impedância de curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta

Z(Ω)	Ramo	Distância
1,00E-03	90%	92%
1	90%	92%
2	89%	92%
5	89%	92%
10	89%	92%

Tabela 5.25 Influência do local em que acontece o curto-circuito na taxa de precisão da localização da falta

Local do curto-circuito	Ramo	Distância
01DJ0	100%	98%
06DJ0	100%	92%
06D07	88%	98%
18DJ0	100%	100%
30DJ0	100%	90%
43DJ0	100%	90%
58DJ0	100%	85%
58D13	68%	93%
65DJ0	100%	92%
65D10	75%	87%
65D18	65%	93%
76DJ0	83%	88%
86DJ0	88%	93%
97DJ0	85%	93%

Ao contrário do que era esperado, os resultados globais ficaram praticamente idênticos aos obtidos com impedâncias normais, de 89% para a identificação do ramo em falta e 92% para o cálculo da distância. A análise também foi feita com a raiz oitava, e em que pese uma distribuição diferente entre os dados, observa-se que os comentários realizados para o circuito normal, correspondentes aos valores apresentados nas tabelas 5.9 a 5.12, podem ser mantidos. De fato, a conclusão aparente aqui é que as impedâncias podem interferir com a intensidade das energias que chegam ao medidor de corrente na fonte, mas não alteram o conteúdo harmônico gerado, e, portanto a topologia da rede acaba sendo o fator mais importante para balizar o desempenho da metodologia proposta. Redes com ramificações longas e não similares geram resultados melhores que redes com ramificações similares demais.

5.5.4 Comentários ao Problema do Método Relativo a Topologias com Ramos Similares

Para ilustrar a conclusão do item 5.5.3, apresentam-se as figuras 5.12 e 5.13, que demonstram alguns sinais refletidos e refratos para curtos-circuitos que acontecem em locais distintos com características similares.

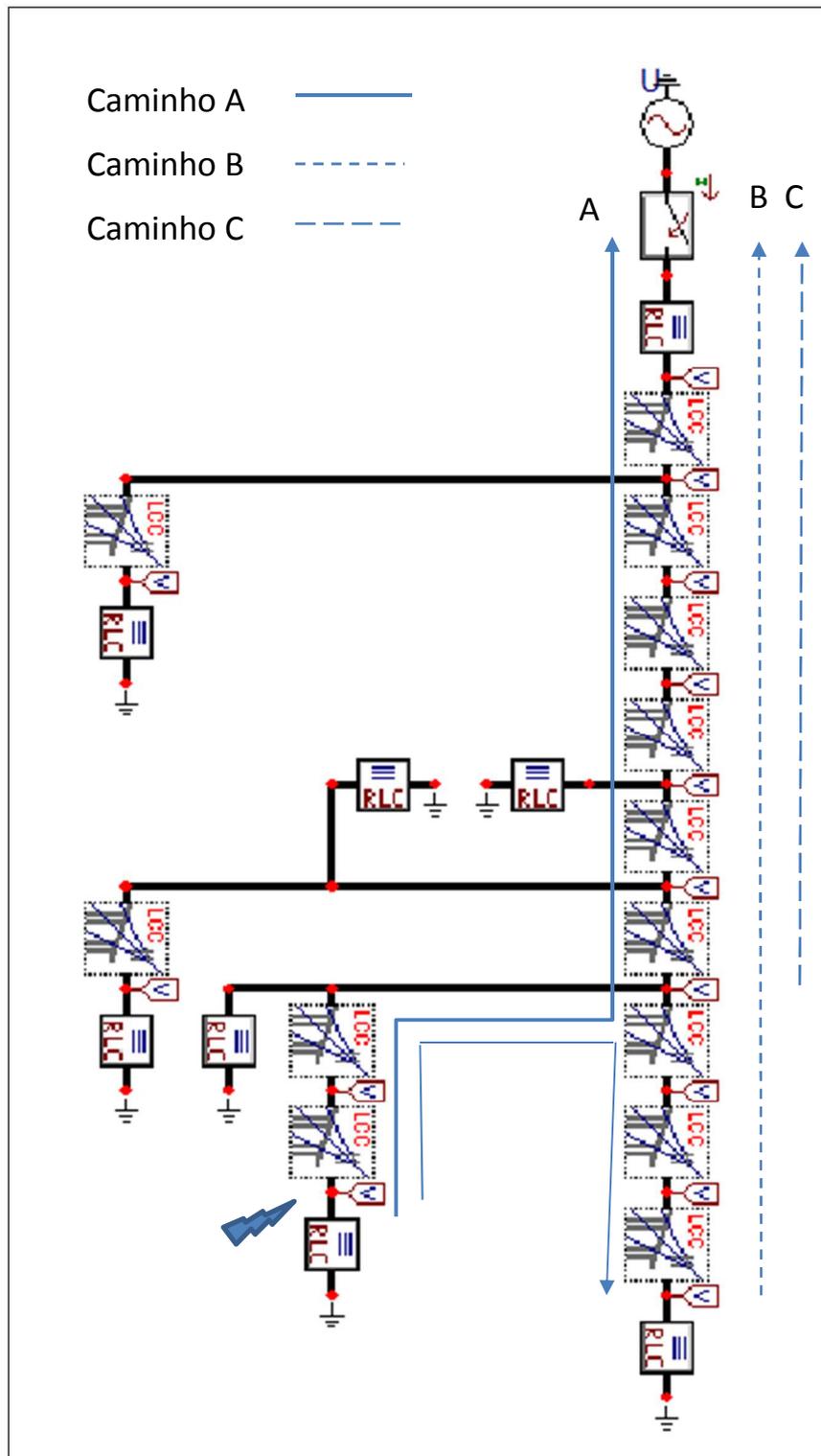


Figura 5.12 Caminho de 3 ondas viajantes decorrentes de curto-circuito na barra 65D18

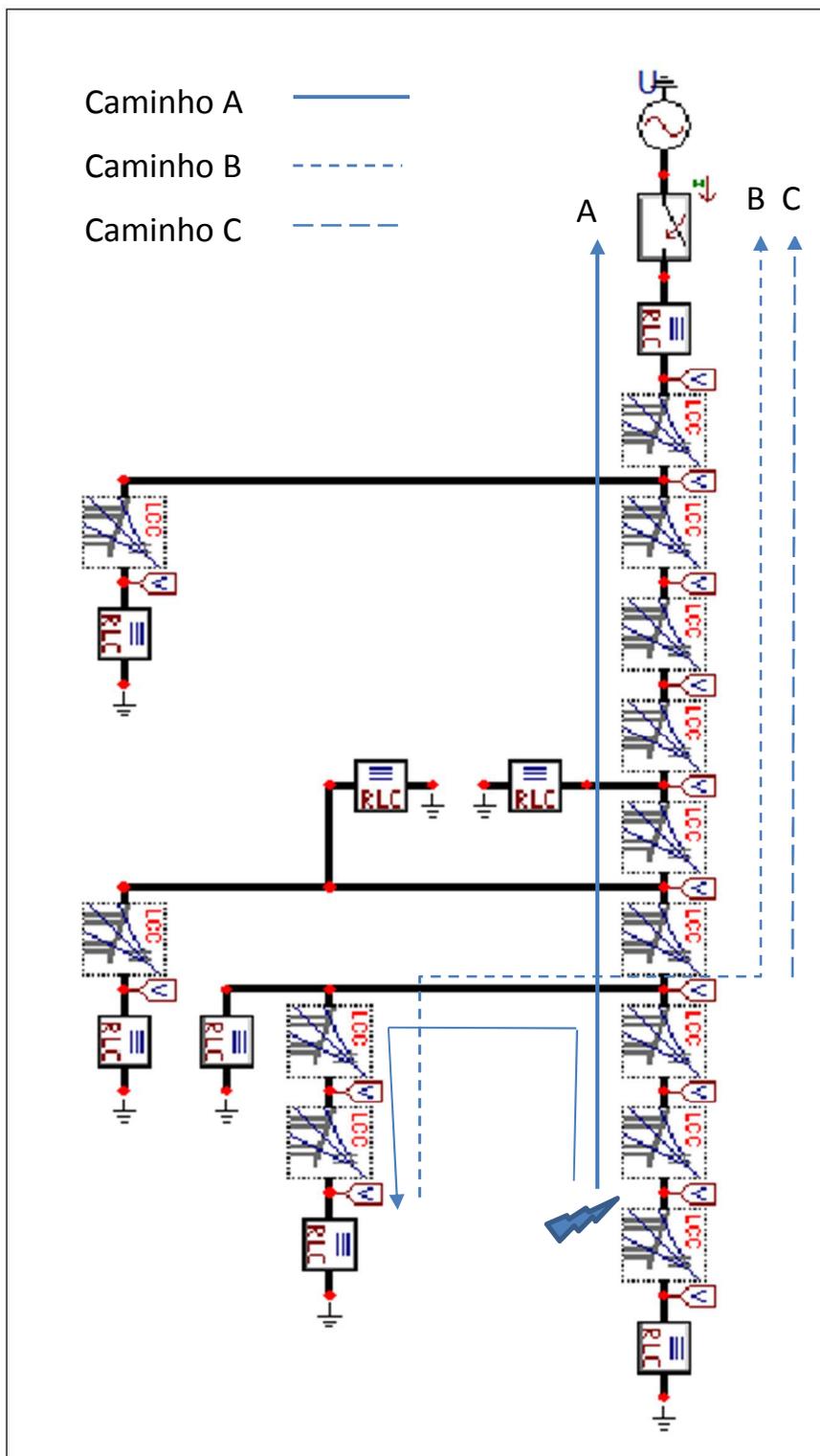


Figura 5.13 Caminho de 3 ondas viajantes decorrentes de curto-circuito na barra 86DJ0

Não se vai detalhar a miríade de sinais gerados por cada curto, já que, num circuito complexo como este, as reflexões e refrações são múltiplas, mas

se pretende mostrar algumas frequências características que mais erros podem gerar no processamento das redes neurais.

Com base nas duas figuras, e sabendo-se que cada bloco LCC do ATP representa uma distância de 1 quilômetro, será empregada simplificada a metodologia apresentada por Borghetti (CLARKE 1943 *apud* BORGHETTI 2007) no segundo tópico do seu artigo de 2007 e calcular as frequências teóricas esperadas para estes caminhos das ondas viajantes.

Usando a velocidade da luz como 299.800 km/s, levemente maior que as prováveis velocidades modais deste circuito, mas cujos resultados não impactam a computação aqui realizada, cujo intuito é somente ilustrativo, pode-se verificar que os 3 caminhos apontados nas figuras 5.12 e 5.13, com base na equação 5.1, geram as frequências apontadas nas tabelas 5.26 e 5.27.

$$f_{teórica} = \frac{c}{\lambda} \quad (5.1)$$

Tabela 5.26 Influência da taxa de precisão da localização de falta provocada pelo local do curto-circuito

Curto na barra 65D18	Comprimento de onda	Frequência teórica
Caminho A = 8km	2 x 8km	18,74kHz
Caminho B = 9km	4 x 9km	8,33kHz
Caminho C = 6km	4 x 6km	12,49kHz

Tabela 5.27 Influência da taxa de precisão da localização de falta provocada pelo local do curto-circuito

Curto na barra 86DJ0	Comprimento de onda	Frequência teórica
Caminho A = 8km	2 x 8km	18,74kHz
Caminho B = 8km	4 x 8km	9,37kHz
Caminho C = 6km	4 x 6km	12,49kHz

As demais reflexões e refrações nos ramos e nós do circuito que acabam aparecendo no medidor na fonte para ambos os curtos-circuitos apresentados acabam sendo, em teoria, semelhantes. Como as faixas de frequências delimitadas pelas *wavelets* neste caso específico, como já explicitado na tabela

5.1, reúnem numa única energia o conteúdo de frequências entre 7,8kHz e 15,6kHz, é possível em alguns casos, e observado nestas simulações especificamente para os casos fase-terra, que as energias para um evento no nó 86DJ0 e outro no nó 65D18 sejam muito semelhantes a ponto de serem indiscerníveis para a rede neural. Ainda assim, esta característica pode ser tratada como uma exceção, já que a taxa de precisão global do sistema para identificar os trechos em falta é superior a 86% dos eventos testados, uma contribuição significativa para a identificação do local em que a falta acontece.

Reitera-se que o objetivo desta explanação não é ser completa, já que existe uma miríade de reflexões e refrações que são geradas pelo evento do curto-circuito e caminha por toda a rede elétrica. Ademais, haja vista que o trabalho de classificação continua sendo executado de modo opaco pelas redes neurais, busca-se aqui neste tópico 5.5.4 tão somente uma explicação lógica para demonstrar as limitações do método proposto nesta rede.

6 CONCLUSÕES

A localização de faltas em redes de distribuição de energia elétrica é um problema atual que ainda não possui um conjunto de resoluções tão amplo quanto à localização de faltas em redes de transmissão. Os problemas inerentes a uma topologia muito ramificada e ao fato de que os pacotes de energia movimentados são menores que os da transmissão contribuem para que este estudo seja menos abordado. Ainda assim, é um tema que gera perdas financeiras e prejudica o desempenho do fornecimento de energia elétrica, e possui bastante importância para todas as unidades consumidoras de menor porte e para as distribuidoras de energia elétrica do Brasil.

Desta forma, um sistema de localização de faltas baseado na teoria das ondas viajantes, na transformada *wavelet* e nas redes neurais artificiais foi proposto na tese aqui apresentada. O sistema implementado é baseado em simulações computacionais de redes elétricas de distribuição no *software* ATP, e executa no *software* Scilab o processamento matemático dos dados com a análise multiresolucional *wavelet* e os algoritmos para a análise por redes neurais artificiais. Como a taxa de amostragem das simulações realizadas no ATP foi de 1MHz, definiu-se modelar o circuito com blocos de 1km de distância, mas teoricamente nada impede que taxas de amostragem maiores e, portanto, distâncias menores sejam testadas.

Para fins de flexibilidade operacional, foi decidido empregar nesta metodologia um par de redes neurais, uma delas com foco em definir a derivação ou trecho em que aconteceu o evento de falta, e a outra para computar de modo discreto a distância do local da falta em relação ao medidor na origem do

alimentador elétrico. A associação das saídas das duas redes neurais é que define de modo unívoco o nó em que o evento de curto-circuito aconteceu. Entende-se que esta escolha em usar duas redes neurais de modo a cruzar seus resultados de saída ampliam a abrangência da metodologia, já que o cálculo da distância pode ser tão preciso quanto for possível, pois este cálculo é independente do cálculo do trecho em falta. Isto por si só já agrega informações relevantes ao processo de identificação do local da falta para envio das equipes de manutenção, ao passo em que a definição do trecho da falta precisaria continuar garantindo que, no interior de uma região definida, não houvesse mais de um ponto com distâncias iguais, chegando a uma resposta única.

O método para definir como agrupar os nós comuns que deverão fazer parte de cada trecho ou ramo a ser analisado por uma das redes neurais, no entanto, não ficou definido neste trabalho e será incluído nas sugestões de trabalhos posteriores. Em um dos circuitos analisados foi feito de uma forma, com nós delimitadores de ramos servindo como as saídas da rede neural, e no outro, todos os nós do tronco do alimentador foram agrupados. Um outro problema que não foi abarcado, mas que é correlato a este método seria uma derivação proveniente de uma primeira derivação da linha tronco. Entende-se que o método permanece válido, mas a definição dos trechos a serem agrupados deve se tornar mais difícil de modo a garantir precisão.

Dois sistemas de distribuição de energia elétrica foram simulados computacionalmente, um primeiro fictício e similar a algumas referências bibliográficas consultadas, e outro adaptado de uma rede rural que alimenta poços de petróleo na área terrestre da Bahia. A metodologia proposta, baseada na leitura dos sinais de corrente em um medidor único localizado na fonte de tensão, obteve, na sua melhor configuração, resultados médios de acerto na ordem de 95% para o circuito fictício e de 90% para o circuito adaptado.

Um resultado positivo verificado ao longo do desenvolvimento do trabalho que pode agregar conhecimento a outras análises que utilizem redes neurais é o tratamento matemático de normalização numérica não linear utilizando a raiz enésima, ação que foi empregada para os dados de entrada da rede neural. Esta ação computacional processa todos os dados de energia gerados pela transformada *wavelet* através de uma radiciação uniforme que reduz de modo substancial as diferenças entre os valores de energia que servem de dados de

entrada para a rede neural, o que gerou melhorias de identificação e segregação dos dados bastante significativas em alguns casos.

Foram feitos testes variando a tipologia do curto-circuito (fase-terra, trifásico, etc.), ângulos de incidência diversos e impedâncias até o limite de 10Ω , e foi detectada uma perceptível influência de alguns ângulos de incidência nos resultados apresentados. No estudo do circuito fictício no tópico 5.3, percebeu-se que os ângulos 0° e 180° , 60° e 240° e 120° e 300° , respectivamente, tiveram interferências com os curtos bifásicos BC, AB e AC, reduzindo seu desempenho em cerca de 10% em relação aos demais métodos. Já no circuito adaptado, resolveu-se mudar os ângulos analisados para não repetir esse problema bifásico, e foi percebida uma interferência entre os ângulos de 0° , 30° e 90° com curtos fase-terra, em especial curtos BT.

O problema do método em relação a topologias com ramos semelhantes já havia aparecido no estudo do circuito fictício, no item 5.3, quando um dos nós teve resultado significativamente pior que os demais, mas ficou mais evidente quando se passou a avaliar o circuito adaptado. Os nós concorrentes no final do circuito tiveram um desempenho muito inferior aos demais nós no circuito, especialmente para curtos monofásicos. Este problema aparece primeiro no tópico 5.4, e é detalhado nos itens 5.5.2 e 5.5.3. No item 5.5.4, uma explicação teórica baseada no conceito de ondas viajantes explica esta limitação do método, o que, não obstante, não o inviabiliza para aplicações em topologias que não apresentem as características em que ele possui problemas.

6.1 Propostas para trabalhos futuros

Desenvolvimento posteriores podem ser efetuados para analisar se o método proposto teria aplicação válida em sistemas computacionais que empreguem frequências de amostragem menores, e qual seria um limite razoável desta taxa de amostragem menor nos resultados do método aqui proposto, visando a aplicações práticas futuras. Implementações práticas com o método sugerido não são viáveis através das tecnologias atuais, já que sistemas comerciais de medição utilizam taxas de amostragem na casa das dezenas de quilohertz, e todo o sistema foi testado em 1MHz.

Pode-se testar também o método proposto com taxas de amostragem maiores visando a reduzir o modelo de simulação para distâncias menores que 1 quilômetro, aumentando a precisão da localização de distância. Pode-se até mesmo alterar as redes neurais discretas aqui usadas para redes neurais de saída contínua, como fazem outros autores.

Ainda na linha das redes neurais, pode-se substituir o modo de treinamento da rede neural por lote pelo modo sequencial de treinamento, de modo a verificar se existem alterações de desempenho no sistema proposto, já que algumas referências (WILSON & MARTINEZ, 2003; MCCAFREY, s/d) indicam que o treinamento sequencial pode ser mais rápido e eficaz que o treinamento por lote.

Como as cargas vinculadas à experiência do autor são industriais e, portanto, tem comportamento constante ao longo do dia, não foi aventado testar a robustez do método frente à diferentes carregamentos de carga nas redes de distribuição, e tampouco foram avaliados sistemas que possuem geração distribuída. Ambos os casos podem ser mote para trabalhos posteriores.

Uma outra alternativa seria avaliar os resultados deste método usando outros tipos de transformada de tempo-frequência no lugar das *wavelets*, como a transformada Fourier de tempo curto ou a transformada Hilbert-Huang, ou mesmo manter o uso das *wavelets* mas aplicando a formulação em *frames*, de modo a obter outras faixas de frequência.

Sistematizar os parâmetros de topologia que mais interferem na qualidade da identificação do local da falta podem auxiliar na delimitação da validade do método proposto, e mesmo indicar caminhos para que este método possa ser utilizado mais amplamente. Um problema correlato seria estabelecer as melhores lógicas para definir quais nós da rede devem ser agrupados juntos, para que o processamento da rede neural possa efetuar a definição do trecho faltoso.

Por fim, um aspecto mais matemático que de engenharia que pode ser trabalhado é o fato de que, numa das redes neurais analisadas, a lógica negativa – ou seja, a saída neutra é 1, e quando o neurônio deve ser ativado, cai para 0 – ter tido resultados significativamente melhores que a situação oposta, ou seja, o valor padrão é 0 e quando deve ser ativado, passa para 1. Não foi encontrada na bibliografia explicação para este tipo de comportamento matemático, e apesar

de não trazer contribuições para o problema de localização de curtos-circuitos em redes de distribuição, a discrepância inesperada nos resultados suscita dúvidas que podem merecer a atenção de outros pesquisadores.

REFERÊNCIAS

ABUR, A.; MAGNAGO, F. H. **Use of Time Delays between Modal Components in Wavelet Based Fault Location**. International Journal of Electrical Power and Energy Systems 2000; 22: 397-403.

ALLIPILLI, Y.; NARASHIMA RAO, G. **Detection and Classification of Faults in Transmission Lines Based on Wavelets**. International Conference on Electrical, Electronics, Signal, Communication and Optimization - EESCO, 2015.

ANDRADE, L. de; LEÃO, T. P. de. **Fault Location for Transmission Lines Using Wavelet**. IEEE Latin America Transactions, 2014; 12(6):1043-48.

ANN Toolbox 0.4.2.5 (web page). Disponível em: <https://atoms.scilab.org/toolboxes/ANN_Toolbox>. Acesso em: 26 de jun. de 2017.

AR360. Indicador de Falta AutoRANGER AR360. Disponível em: <<https://selinc.com/pt/products/AR360/>>. Acesso em: 01 de set. de 2017.

ARAÚJO, A. E. de; NEVES, W. L. A. **Cálculo de Transitórios Eletromagnéticos em Sistemas de Energia**. Editora UFMG, 2005.

ARAÚJO, M. S.; BARREIROS, J. A. L.; SILVA, O. F. **Influência de Wavelets-Mães e da Ordem delas no Desempenho de um Localizador de Falhas**. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), 2011.

ARGYROPOULOS, P. E.; LEV-ARI, H. **Customized Wavelets for Fault Location in Power Systems**. North America Power Symposium (NAPS) 2011.

BAQUI, I.; ZAMORA, I.; MAZÓN, J.; BUIGUES, G. **High Impedance Fault Detection Methodology Using Wavelet Transform and Artificial Neural Networks**. Electric Power Systems Research 2011; 81: 1325-33.

BARRETO, J. M. **Inteligência Artificial no Limiar do século XXI**. 3ª Edições, 1997.

BERNADIC, A.; LEONOWICZ, Z. **Fault Location in Power Networks with Mixed Feeders using the Complex Space-Phasor and Hilbert-Huang Transform**. International Journal of Electrical Power and Energy Systems 2012; 42: 208-19.

BHOWMIK, P. S.; PURKAIT, P.; BHATTACHARYA, K. **A Novel Wavelet Transform Aided Neural Network Based Transmission Line Fault Analysis Method**. International Journal of Electrical Power and Energy Systems 2009; 31: 13-19.

BÍSCARO, A. A. P.; PEREIRA, R. A. F.; KEZUNOVIC, M.; MANTOVANI, J. R. S. **Integrated Fault Location and Power Quality Analysis in Electric Power**

Distribution Systems. IEEE Transactions on Power Delivery 2016; 31(2): 428-36.

BJERKAN, E.; VENSETH, T. **Locating Earth-Faults in Compensated Distribution Networks by means of Fault Indicators.** International conference on Power Systems Transients - IPST 2005, Montreal, Canada, paper 107.

BO, Z. Q.; WELLER, G.; REDFERN, M. A. **Accurate Fault Location Technique for Distribution System using Fault-Generated High-Frequency Transient Voltage Signals.** IEE Proceedings in Generation Transmission and Distribution 1999; 146(1): 73-79.

BORGHETTI, A.; BOSETTI, M.; DI SILVESTRO, M.; NUCCI, C. A.; PAOLONE, M. **Continuous-Wavelet Transform for Fault Location in Distribution Power Networks: Definition of Mother Wavelets Inferred from Fault Originated Transients.** International conference on Power Systems Transients - IPST 2007, Lyon, França, paper 271.

_____; BOSETTI, M.; PAOLONE, M.; ABUR, A. **Integrated Use of Time-Frequency Wavelet Decompositions for Fault Location in Distribution Networks: Theory and Experimental Validation,** International conference on Power Systems Transients - IPST 2009, Kyoto, Japão, paper 313.

_____; CORSI, S.; NUCCI, C. A.; PAOLONE, M.; PERETTO, L., TINARELLI, R. **On the Use of Continuous-Wavelet Transform for Fault Location in Distribution Power Systems.** International Journal of Electrical Power and Energy Systems 2006; 28: 608-17.

BURKE, B. **The Mathematical Microscope: Waves, Wavelets and Beyond, A positron named Priscilla,** 1994, 196-235.

CAMPOS, G. M., **Estatística Prática para Docentes e Pós-Graduandos, capítulo 13,** disponível em http://blackstar.forp.usp.br/restauradora/gmc/gmc_livro/gmc_livro_cap13.html . Acesso em 12 de dezembro de 2017

CHAARI, O.; MEUNIER, M.; BROUAYE, F. **Wavelets: A New Tool for the Resonant Grounded Power Distribution Systems Relaying,** IEEE Transactions on Power Delivery 1996; 11(3): 1301-8.

CHANDA, D.; KISHORE, N. K.; SINHA, A. K. **A Wavelet Multiresolution Analysis for Location of Fault on Transmission Lines.** International Journal of Electrical Power and Energy Systems 2003; 25: 59-69.

_____. **Identification and Classification of Faults on Transmission Lines Using Wavelet Multiresolution Analysis.** Electric Power Components and Systems 2004; 32(4): 391-405.

CHUNJU, F.; LI, K. K.; CHAN, W. L.; WEIYONG, Y.; ZHAONING, Z. **Application of Wavelet Fuzzy Neural Network in Locating Single Line to Ground Fault**

(SLG) in Distribution Lines. International Journal of Electrical Power and Energy Systems 2007; 29: 497-503.

CIPOLI, J. A. **Engenharia de Distribuição.** Qualitymark Editora, Rio de Janeiro, 1993.

COSTA, F. B. **Deteção e Classificação de Falhas em Linhas de Transmissão Baseadas na Transformada Wavelet.** Tese de mestrado na UFCG, Universidade Federal de Campina Grande, 2006.

_____. **Um Algoritmo Baseado na Transformada Wavelet para Deteção e Classificação de Múltiplos Distúrbios em Linhas de Transmissão.** Tese de doutorado da UFCG, Universidade Federal de Campina Grande, 2010.

DAG, O.; UCAK, C. **Fault Classification for Power Distribution Systems via a Combined Wavelet-Neural Approach.** International Conference on Power Systems Technology - POWERCON 2004; 2: 1309-14.

DASGUPTAA, A.; NATHB, S.; DASC, A. **Transmission Line Fault Classification and Location Using Wavelet Entropy and Neural Network.** Electric Power Components and Systems 2012; 40(15): 1676-89.

DAUBECHIES, I. **Ten Lectures on Wavelets.** SIAM, 1992.

DECANINI, J. G. M. S. **Deteção, Classificação e Localização de Curto-Circuito em sistemas de Distribuição de Energia Elétrica usando Sistemas Inteligentes.** Tese de doutorado em Engenharia Elétrica, UNESP Ilha Solteira, 2012.

_____; MINUSSI, C. R. **Diagnóstico do Estado Operativo de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica.** XVIII Congresso Brasileiro de Automática – CBA, 2010; 1483-1489.

DELMAR. Chave Fusível Religadora “DCH-R”. Disponível em: <<http://www.delmar.com.br/PDF/DHC-R.PDF>>. Acesso em: 01 de set. de 2017.

DONG, Y.; KEZUNOVIC, M. **Fault Location Algorithm for Radial Distribution Systems Capable of Handling Insufficient and Inaccurate field Data.** North American Power Symposium, 2009.

DWIVEDI, U. D.; SINGH, S. N.; SRIVASTAVA, S. C. **A Wavelet Based Approach for Classification and Location of Faults in Distribution Systems.** IEEE Indian Conference - INDICON 2008; 2: 488-93.

EATON. Religadores e Chaves. Disponível em: <<http://www.eaton.com.br/EatonBR/ProductsSolutions/Electrical/ProdutoseServicos/SistemasdePotencia/ReligadoreseChaves/index.htm>>. Acesso em: 01 de set. de 2017.

ELHAFFAR, A. M. **Power Transmission Line Fault Location Based on Current Travelling Waves**. Dissertação de Doutorado da Helsinki University of Technology, 2008.

ELKALAHASHY, N. I.; LEHTONEN, M.; DARWISH, H. A. TALAAB, A. M. I.; IZZULARAB, M. A. **DWT-Based Detection and Transient Power Direction-Based Location of High Impedance Faults Due to Leaning Trees in Unearthed MV Networks**. International conference on Power Systems Transients - IPST 2007, Lyon, França, paper 31.

EL-SHARKAWI, M. A.; NIEBER, D. **A Tutorial Course on Artificial Neural Networks with Applications to Power Systems**, IEEE, 1996.

EMTP (web page). Disponível em: <<http://www.emtp.org/about.html>>. Acesso em: 06 de abr. de 2013.

ESPAÑA, G. A. M.; FLÓREZ, J. J. M.; CAICEDO, G. C. **Evaluación Comparativa de Tres Métodos de Clasificación Aplicados al Problema de la Localización de Fallas de Cortocircuito en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica**. Sciencia et Technica ano XIII, no. 35, 2007.

FACELI, K.; LORENA, A. C.; GAMA, J.; CARVALHO, A. C. P. L. F. de. **Inteligência Artificial: uma abordagem de aprendizado de máquina**. Ed. LTC, 2011.

FERNANDEZ, R. M. de C.; ROJAS, H. N. D. **An Overview of Wavelet Transforms Application in Power Systems**. 14th Power System Computation Conference - PSCC 2002.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **Lições de Física**. Vol. 1, 2008.

FUCHS, R. D. **Transmissão de Energia Elétrica – Linhas Aéreas**. Livros Técnicos e Científicos Editora, 1979.

FULCZYK, M.; BALCEREK, P.; IZYKOWSKI, J.; ROSOLOWSKI, E.; SAHA, M. M. **ATP-EMTP Investigation of a New Fault Location Method for Multi-Terminal Power Lines**. International conference on Power Systems Transients - IPST 2007, Lyon, França, paper 121.

GABOR, D. **Theory of Communication**. Proceedings IEE 93, 430-457.

GABOR Transform. Wikipedia, the free encyclopedia. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Gabor_transform>. Acesso em: em 16 de jun. de 2015.

GAFOOR, S. A.; RAO, P. V. R. **Wavelet Based Fault Detection, Classification and Location in Transmission Lines**. 1st International Power and Energy Conference - PECon 2006: 114-8.

GALLI, A. W.; HEYDT, G. T.; RIBEIRO, P. F. **Exploring the Power of Wavelet Analysis**. IEEE Computer Application in Power Systems 1996; 9(4): 37-41.

GARGOUR, C.; GABREA, M.; RAMCHANDRAN, J.; LINA, M. **A Short Introduction to Wavelets and their Applications**. IEEE Circuits and Systems Magazine, 2009; 9(2): 57-68.

GONG, Y.; GUZMAN, A. **Distribution Feeder Fault Location Using IED and FCI Information**. Griditech 2013, India.

GOUDARZI, M.; VAHDI, B.; NAGHIZADEH, R. A.; HOSSEINIAN, S. H. **Improved Fault Location Algorithm for Radial Distribution Systems with Discrete and Continuous Wavelet Analysis**. International Journal of Electrical Power and Energy Systems 2015; 67:423-30.

GRAPS, A. **An Introduction to Wavelets**. IEEE Computational Science & Engineering. v.2 n.2, June 1995, 50-61.

HAYKIN, S. **Redes Neurais: Princípios e Prática**. 2^a ed. Brasileira, Bookman Companhia Editora, 2001.

HEIKELL, Johnny. **SCILAB for Real Dummies**. Disponível em: <<http://www.heikell.fi/downloads/scilab.ppt>>. Acesso em: 15 de set. de 2012.

HONG, C.; ELANGO VAN, S. **A B-Spline Wavelet Based Fault Classification Scheme for High Speed Protection Relaying**. Electric Machines & Power Systems 2000; 28(4): 313-24.

HOSSEINI, K; TAYYEBI, S. A.; AHMADIAN, M. B. **Double Circuit Transmission Lines Short Circuit Fault Location Using Wavelet Transform and MLP**, 25th Iranian Conference on Electrical Engineering ICEE 2017, 1336-42.

HUANG, W.; KACZMARK, R. **Symmetrical Components for Transient Regime Applications in MV Systems**. International conference on Power Systems Transients - IPST 2007, Lyon, França, paper 118.

HUANG, Y.; CHEN, M.; ZHAI, J. **High Impedance Fault Identification Method of the Distribution Network Based on Discrete Wavelet Transformation**. International Conference on Electrical and Control Engineering - ICECE 2011: 2262-5.

INSTITUTE FOR ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERS. **C37.114-2014 - IEEE Guide for Determining Fault Location on AC Transmission and Distribution Lines**. New York, 2004.

JAHROMI, A. T.; WOLFS, P.; ISLAM, S. **Travelling Wave Fault Location in Rural Radial Distribution Networks to Reduce Wild Fire Risk**. Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), 2015, 1-6.

JALALI, D.; MOSLEMI, N. **Fault Location for Radial Distribution Systems using Fault-Generated High-Frequency Transients and Wavelet Analysis.** International Conference and Exhibition on Electricity Distribution CIRED 2005.

JAMALI, S.; GHAFARZADEHY, N. **A New Method for Arcing Fault Location Using Discrete Wavelet Transform and Wavelet Networks.** European Transactions on Electrical Power 2012; 22(5): 601-15.

JIANG, J.; CHUANG, C.; WANG, Y.; HUNG, C.; WANG, J.; LEE, C.; HSIAO, Y. **A Hybrid Framework for Fault Detection, Classification and Location - Part I: Concept, Structure and Methodology.** IEEE Transactions on Power Delivery 2011; 26(3): 1988-98.

_____. **A Hybrid Framework for Fault Detection, Classification and Location - Part II: Implementation and Test Results.** IEEE Transactions on Power Delivery 2011; 26(3): 1999-2008.

JIAN J., MING L., LONG J. **Data Normalization to Accelerate Training for Linear Neural Net to Predict Tropical Cyclone Tracks,** Mathematical Problems in Engineering 2015, article ID 931629

JUNG, C. K.; LEE, J. B.; WANG, X. W. **A Validated Accurate Fault Location Approach by Applying Noise Cancellation Technique.** International Journal of Electrical Power and Energy Systems 2012; 37: 1-12.

KHORRAMDEL, B.; MARZOOGHI, H.; SAMET, H.; PURAHMADI-NAKHILI, M.; RAOOFAT, M. **Fault Locating in Large Distribution Systems by Empirical Mode Decomposition and Core Vector Regression.** International Journal of Electrical Power and Energy Systems, June 2014.

KORDESTANI, M.; SAVAFI, A. A.; SADRZADEH, A. **A New Method to Diagnose the Type and Location of Disturbances in Fars Power Distributions System.** 24th Iranian Conference on Electrical Engineering – ICEE, 2016.

KORKALI, M.; LEV-ARI, H.; ABUR, A. **Travelling-Wave-Based Fault Location Technique for Transmission Grids via Wide-Area Synchronized Voltage Measurements.** IEEE Transactions on Power Systems 2012; 27(2):1003-11.

KOVAL, S. I. **Data Preparation for Neural Network Data Analysis,** 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus) 2018; 898-901

KOZAKEVICH, Daniel Norberto. **Introdução ao SCILAB.** Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Matemática. Disponível em: <<http://mtm.ufsc.br/~daniel/amcom/scilab/IntroaoScilab.html>>. Acesso em: 06 de abr. de 2013.

KUMAR, R.; KOLEY, E.; YADAV, A.; THOKE, A. S. **Fault Classification of Phase to Phase Fault in Six Phase Transmission Line Using Haar Wavelet**

and ANN. 2014 International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), 2014.

LAI, T. M.; SNIDER, L. A.; LO, E. **Wavelet Transform Based Relay Algorithm for the Detection of Stochastic High Impedance Faults**. Electric Power Systems Research 2006; 76: 626-33.

LAZKANO, A.; RUIZ, J.; ARAMENDI, E.; LETURIONDO, L. A. **Evaluation of a New Proposal for an Arcing Fault Detection Method Based on Wavelet Packet Analysis**. European Transactions on Electrical Power 2004; 14:161-74.

LEE, S. J.; CHOI, M. S.; KANG, S. H.; JIN, B. G.; LEE, D. S.; AHN, B. S.; YOON, N. S.; KIM, H. Y.; WEE, S. B. **An Intelligent and Efficient Fault Location and Diagnosis Scheme for Radial Distribution Systems**. IEEE Transactions on Power Delivery, 2004; 19(2): 524-32.

LEUVEN EMTP CENTER. **Alternative Transients Program Rule Book**, RB-03F, (s. I): EMTP, 1996.

LIANG, J.; ELANGOVA, S.; DEVOTTA, J. B. X. **A Wavelet Multiresolution Analysis Approach to Fault Detection and Classification in Transmission Lines**. Electric Power Systems Research 1998; 20 (5): 327-32.

LIAO, Y.; ELANGOVA, S. **Data Smoothing by B-Spline Wavelets for Digital Distance Protection**. International Journal of Electrical Power and Energy Systems 1998; 20: 281-6.

MAGNAGO, F. H.; ABUR, A. **A New Fault Location Technique for Radial Distribution System based on High Frequency Signals**. IEEE power engineering society summer meeting 1999; 1: 426-31.

_____. **Fault Location Using Wavelets**. IEEE Transactions on Power Delivery 1998; 13(4): 1475-80.

MAHANTY, R. N.; GUPTA, P. B. D. **Comparison of Fault Classification Methods Based on Wavelet Analysis and ANN**. Electric Power Components and Systems 2006; 34(1): 47-60.

MAIDANA, N. A. **Algumas Aplicações das Ondas Viajantes a Fenômenos Biológicos**. Tese de doutorado em Matemática da Unicamp, 2004.

MARTI, J. **Accurate Modelling of Frequency-Dependent Transmission Lines in Electromagnetic Transient Simulations**, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems 1982; PAS-101(1), 147-57.

MARVIK, J. I.; HOIDALEN, H. K.; PETTERTEIG, A. **Localization of Phase-to-Phase Faults on a Medium Voltage Feeder with Distributed Generation**. International conference on Power Systems Transients - IPST 2009, Kyoto, Japão, paper 40.

MARX, S.; JOHNSON, B. K.; GUZMAN, A.; SKENDIC, V.; MYNAM, M. V. **Localização de Falhas em Relé de Proteção Baseada no Princípio das Ondas Viajantes: Projeto, Testes e Resultados.** Disponível em: <<https://selinc.com/literature/technical-papers/>>. Acesso em: 17 de jan. de 2017.

MATLAB (web page). Disponível em: <<http://www.mathworks.com/products/matlab/>>. Acesso em: 06 de abr. de 2013.

MCCAFREY, J. **Understanding Neural Network Batch Training: A Tutorial.** Disponível em: <<https://visualstudiomagazine.com/articles/2014/08/01/batch-training.aspx>>. Acesso em 15 de abril de 2018

MEYUR, R.; PAL, D.; SUNDARAVADAN, N. A.; RAJARAMAN, P.; SRINIVAS, K. V. V. S.; REDDY, M. J. B.; MOHANTA, D. K. **A Wavelet-Adaptive Network Based Fuzzy Inference System for Location of Faults in Parallel Transmission Lines,** IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES) 2016

MIRZAEI, M.; AB KADIR, M. Z. A.; MOAZAMI, E.; HIZAM, H. **Review of Fault Location Methods for Distribution Power System.** Australian Journal of Basic and Applied Sciences 2009; 3(3): 2670-2676.

NASCIMENTO JR., C. L.; YONEYAMA, T. **Inteligência Artificial em Controle e Automação.** Editora Edgard Blucher, 2000.

NENGLING, T.; JIAJIA, C. **Wavelet-Based Approach for High Impedance Fault Detection of High Voltage Transmission Line.** European Transactions on Electrical Power 2008; 18:79-92.

NERI JR., A. L., MOREIRA, F. M., SOUZA, B. A. **Uma Revisão da Transformada Wavelet Aplicada à Localização de Falhas de Energia em Redes Elétricas de Transmissão e Distribuição,** Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE, 2016, Natal, artigo 0358

_____. **Detecção e Classificação de Falhas de Energia Usando a Transformada Wavelet e Métodos de Inferência,** Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE, 2016, Natal, artigo 0357

_____. **Fault Location on Radial Distribution Systems using one Measurement Point, Wavelet Transform, and Artificial Neural Networks,** submetido para publicação na revista Electric Power Components and Systems, 2018

NGU, E. E.; RAMAR, K. **A Combined Impedance and Traveling Wave Based Fault Location Method for Multi-Terminal Transmission Lines.** International Journal of Electrical Power and Energy Systems 2011; 33: 1767-75.

NOURI, H.; WANG, C.; DAVIES, T. **An Accurate Fault Location Technique for Distribution Lines wit Tapped Load using Wavelet Transform**. IEEE Porto Power Tech Conference 2001; 3.

OGASAWARA, E.; MARTINEZ, L. C.; OLIVEIRA, D.; ZIMBRÃO, G.; PAPPA, G. L.; MATTOSO, M. **Adaptive Normalization: A Novel Data Normalization Approach for Non-Stationary Time Series**, The 2010 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2010)

OIRSOW, P. M. Van; PROVOOST, F. **Fault Localization in an MV Distribution Network**. CIRED 17th International Conference on Electricity Distribution, 2003, paper 64.

OLIVEIRA, K. R. C.; SALIM, R. H.; SHUCK JR., A.; BRETAS, A. S. **Faulted Branch Identification on Power Distribution Systems under Noisy Environment**. International conference on Power Systems Transients - IPST 2009, Kyoto, Japão, paper 105.

PEREIRA, C. E. de M.; ZANETTA JR., L. C. **Simulation of Fault Location Algorithms in ATP Program using “C” Link**. International conference on Power Systems Transients - IPST 2003, New Orleans, EUA, paper 03IPST05a-02.

PEREIRA, E. T. **Localizador de Defeitos por Ondas Viajantes: um projeto nacional**. Disponível em: <<http://www.tec.abinee.org.br/2006/arquivos/a32.pdf>>. Acesso em: 01 de set. de 2017.

_____; ULIANA, P. B.; CABRAL, S. H. L.; WENDHAUSEN, M.; CARVALHO, R. J. O.; PASSOS, L. F.; BACHMANN, J.; SILVA, C. C.; EBLE, A. C.; SILVA, R. E. **SILDOV – Localizador de Defeitos para sistemas de Distribuição de Energia**. Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica – CITENEL, 2007.

PEREIRA, P. S.; ROSA, M. C. V.; LOURENÇO, G. E.; PEREIRA JR., P. S.; MARTINS, C. M.; ROSA, R. R.; AZEREDO, E. **Estudo, Projeto e Desenvolvimento de um Sistema para Localizar Falhas em Redes de Distribuição**. XVII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica - SENDI, 2008.

PEREIRA, R. A. F. **Localização de Falhas em Alimentadores de Distribuição de Energia Elétrica Usando medições Esparsas de Tensões**. Tese de doutorado em Engenharia Elétrica, UNESP Ilha Solteira, 2007.

PERETTO, L.; SASDELLI, R.; SCALA, E.; TINARELLI, R. **Fault Location Method Integrating a Distributed Measurement System and Wavelet Analysis**. Instrumentation and Measurement Conference - IMCT 2007.

PÉREZ, F. E.; AGUILAR, R.; ORDUÑA, E.; JÄGER, J.; GUIDI, G.. **High-Speed non-unit Transmission Line Protection using Single-Phase Measurements**

and an Adaptive Wavelet: Zone Detections and Fault Classification, IET Generation, Transmission & Distribution 2012; 6(7): 593-604.

POURAHMADI-NAKHLI M.; SAFAVI, A. A. **Path Characteristic Frequency-Based Fault Locating in radial Distribution Systems Using Wavelets and Neural Networks.** IEEE Transactions on Power Delivery 2011; 26(2): 772-81.

PROCEDIMENTOS de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Módulo 8. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-8>>. Acesso em: 11 de set. de 2017.

RADOJEVIC, Z. M.; KIM, C. H.; POPOV, M.; PRESTON, G.; TERZIJA, V. **New Approach for Fault Location on Transmission Lines not Requiring Line Parameters.** International conference on Power Systems Transients - IPST 2009, Kyoto, Japão, paper 43.

RAOOFAT, M.; MAHMOODIAN, A.; ABUNASRI, A. **Fault Location in Transmission Lines using Neural Network and Wavelet Transform,** International Congress on Electric Industry Automation (ICEIA) 2015

REASON RPV 311: Registrador Digital de Perturbações com Localizador de Falta e PMU. Disponível em: <http://www.gegridsolutions.com/alstomenergy/grid/Global/Grid/Resources/Documents/Automation/Reason%20products/Grid-GA-L3-Reason_RPV311_RAs-1039-2016_07-PT_lo.pdf>. Acesso em: 29 de ago. de 2017.

REDDY, M. J.; MOHANTA, D. K. **A Wavelet-Fuzzy Combined Approach for Classification and Location of Transmission Line Faults.** International Journal of Electrical Power and Energy Systems 2007; 29: 669-78.

_____. **Adaptive-Neuro-Fuzzy Inference System Approach for Transmission Line Fault Classification and Location Incorporating Effects of Power Swings.** IET Generation, Transmission & Distribution 2008; 2(2): 235-244.

RIOUL, O. R.; VETTERLI, M. **Wavelet and Signal Processing.** IEEE Signal Processing, October 1991, 14-38.

SAFTY, S.; EL-ZONKOLY, A. **Applying Wavelet Entropy Principle in Fault Classification.** International Journal of Electrical Power and Energy Systems 2009; 31: 604-7.

SAHA, M. M.; DAS, R.; VERHO, P.; NOVOSEL, D. **Review of Fault Location Techniques for Distribution Systems.** Power Systems and Communication Infrastructures for the Future, 2002.

_____; ROSOLOWSKI, E.; IZYKOWSKI, J. **ATP-EMTP Investigation for Fault Location in Medium Voltage Networks.** International conference on Power Systems Transients - IPST 2005, Montreal, Canadá, paper 220.

SALIM, R. H.; OLIVEIRA, K. R. C.; BRETÃS, A. S. et al. **Fault Detection in Primary Distribution Systems using Wavelets**. International conference on Power Systems Transients - IPST 2007, Lyon, França, paper 125.

_____; RESENER, M.; FILOMENA, A. D.; OLIVEIRA, K. R. C. de; BRETAS, A. S. **Extended Fault-Location Formulation for Power Distribution Systems**. IEEE Transactions on Power Delivery 2009, 24 (2); 508-516.

_____; SALIM, K. C. O.; BRETAS, A. S. **Further Improvements on impedance-based Fault-Location for Power Distribution Systems**. IET Generation, Transmission & distribution 2011, 5 (4); 467-478.

SANTOS, W.C., LOPES, F. V., BRITO, N. S. D., SOUZA, B. A., FERNANDES JR., D., NEVES, W. L. A., **High Impedance Fault Detection and Location Based on Electromagnetic Transient Analysis**, International conference on Power Systems Transients - IPST 2013, Vancouver, Canadá, paper 135.

_____; BRITO, N. S. D., SOUZA, B. A., PEREIRA, F.A. **High Impedance Fault Modelling Based on Statistical Data**, International conference on Power Systems Transients - IPST 2015, Cavtat, Croácia, paper 109.

_____; LOPES, F. V., BRITO, N. S. D., SOUZA, B. A. **High-Impedance Fault Identification on Distribution Networks**, IEEE Transactions on Power Delivery 2017; 32(1): 23-32

SARKAR, T. K.; SU, C. **A Tutorial on Wavelets from na Electrical Engineering Perspective, Part 2: The Continuous Case**, IEEE Antennas and Propagation Magazine 1998 ; 40(6): 36-49.

_____; ADVE, R. **A Tutorial on Wavelets from an Electrical Engineering Perspective, Part 1: Discrete Wavelet Techniques**, IEEE Antennas and Propagation Magazine 1998; 40(5): 49-68.

SCILAB (web page). Disponível em: <<http://www.scilab.org/>>. Acesso em: 06 de abr. de 2013.

SCHLAG, A. **La lecture des ondes de coup de belier sur le tracé de Bergeron**, La Houille Blanche 1957, N° Spécial A, 296-302.

SCHWEITZER III, E. O. **A Review of Impedance-based Fault Location Experience**. 14th annual Iowa-Nebraska system protection seminar, 1990.

SILVA, A. P. A. da; LIMA, A. C. S.; SOUZA, S. M. **Fault Location on Transmission Lines using Complex-Domain Neural Networks**. Electrical Power and Energy Systems 2012; 43:720-7.

SILVA, K. M.; DANTAS, K. M. C.; SOUZA, B. A.; BRITO, N. S. D.; COSTA, F. B.; SILVA, J. A. C. B. **Haar Wavelet-Based Method for Fast Fault Classification in Transmission Lines**. Transmission & Distribution Conference and Exposition - TDC, 2006: 1-5.

_____; NEVES, W. L. A.; SOUZA, B. A. **Distance Protection using a Novel Phasor Estimation Algorithm Based on Wavelet Transform**. Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century 2008.

_____; SOUZA, B. A.; BRITO, N. S. D. **Fault Detection and Classification in Transmission Lines Based on Wavelet Transform and ANN**. IEEE Transactions on Power Delivery 2006; 21(4): 2058-63.

SILVA, M.; OLESKOVICZB, M.; COURRY, D. V. **A Hybrid Fault Locator for Three-Terminal Lines Based on Wavelet Transforms**,. Electric Power Systems Research 2008; 78: 1980-8.

SILVA, P. R. N. da; NEGRÃO, M. M. L. C.; VIEIRA JR., P.; SANZ-BOBI, M. A. **A New Methodology of Fault Location for Predictive Maintenance of Transmission Lines**. International Journal of Electrical Power and Energy Systems 2012; 42: 568-574.

SIMÕES, E. M. **Modelo Multicritério de Apoio à Decisão para Identificação de Pontos Candidatos à Instalação de Dispositivos Sinalizadores de Falhas no Sistema de Distribuição de Energia Elétrica**. Tese de Mestrado em Engenharia Elétrica, UFPE, 2012.

SOLA, J., SEVILLA, J. **Importance of Input Data Normalization for the Application of Neural Networks to Complex Industrial Problems**, IEEE Transactions on Nuclear Science 1997; 44(3): 1464-68

SOUZA, B. A.; BRITO, N. S. D.; NEVES, W.; DANTAS, K. M.; FONTES, A. V. **Construção Automática de Bases de Dados – Uma Experiência de P&D entre CHESF e a UFCG**. XVIII SNPTEE, Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Outubro de 2005, Curitiba, Brasil.

_____; SILVA, K. M.; BRAZ, H. D. M.; SILVA, J. A. C. B.; FONTES, A. V. **Fault Location for Distribution Systems Based on Decision Rules and Wavelet Transform**. International Conference and Exhibition on Electricity Distribution CIRED 2005.

STRINGFIELD, T. W.; MARIHART, T. J.; STEVENS, D. F. **Fault Location Methods for Overhead Lines**. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers 1957; 76: 518 – 529.

SUÁREZ, I. D. S.; CAICEDO, G. C.; TORRES, H. R. V. **Review of Stable and Transient State Fault Location Techniques for Distribution Systems. Part II: Steady State Knowledge Based and Transient Analysis Techniques**. International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ), 2010.

SUDHA, G.; BASAVARAJU, T. **A Comparison Between Different Approaches for Fault Classification in Transmission Lines**. International Conference on

Information and Communication Technology in Electrical Sciences - ICTES 2007: 398-403.

THOMAS, D. W. P.; CARVALHO, R. J. O.; PEREIRA, E. T. **Fault Location in Distribution Systems based on Travelling Waves**. IEEE Bologna PowerTech Conference, 2003.

_____; CHRISTOPOULOS, C.; TANG, Y.; GALE, P.; STOKOE, J. **Single Ended Travelling Wave Fault Location Scheme Based on Wavelet Analysis**. 8th IEE International Conference on Developments in Power System Protection 2004.

TORRES, V.; RUIZ, H. **High Impedance Fault Detection Using Discrete Wavelet Transform**. Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference 2011: 325-9.

TYSON, J. J.; KEENER, J. P. **Singular Perturbation Theory of Travelling Waves in Excitable Media (A Review)**, Physica, D32, 1988, 327-361.

UPENDAR, J.; GUPTA, C. P.; SINGH, G. K. **Statistical Decision-Tree Based Fault Classification Scheme for Protection of Power Transmission Lines**. International Journal of Electrical Power and Energy Systems 2012; 36: 1 – 12.

_____; RAMAKRISHNA, G. **PSO and ANN-based Fault Classification for Protective Relaying**. IET Generation, Transmission & Distribution 2010; 4 (10): 1197-1212.

VALSAN, S. P.; SWARUP, K. S. **Fault Detection and Classification Logic for Transmission Lines Using Multi-resolution Wavelet Analysis**. Electric Power Components and Systems 2008; 36(4): 321-44.

_____. **Wavelet Transform Based Digital Protection for Transmission Lines**. International Journal of Electrical Power and Energy Systems 2009; 31: 379-88.

VILLELA, A. G.; RODRIGUES, C.; BRANDÃO, R. O.; MORAES, R. M. **Aplicação Prática de Indicadores de Falha em Redes Subterrâneas da AES Eletropaulo**. XIX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica - SENDI, 2010.

WALKER, J. S. **A Primer on Wavelets and their Scientific Applications**. CRC Press, 1999.

WANG, J.; SUMNER, M.; THOMAS, D. W. P.; GEERTSMAT, R. D. **Active Fault Protection for an AC Zonal Marine Power System**. IET Electrical Systems in Transportation 2011; 1(4):156-166.

WANG, J.; THOMAS, D. W. P.; SUMNER, M.; GEERTSMAT, R. D. **Fast Fault Detection and Location of a Zonal Marine Power System Using Active**

Impedance Estimation. The 9th Institution of Engineering and Technology Conference on Developments in Power System Protection -DPSP 2008: 490-4.

WANG, S.; DONG, X.; SHI, S. **A Novel Busbar Protection Scheme Based on Wavelet Multi-resolution Signal Decomposition.** The 10th Institution of Engineering and Technology Conference on Developments in Power System Protection 2010.

WANG, X. H; SONG, Y. H. **Sheath Fault Detection and Classification Based on Wavelet Analysis.** European Transactions on Electrical Power 2006; 16:327-344.

WELLCOME to the Web Page of ATPDraw. Disponível em: <<http://www.atpdraw.net/>>. Acesso em: 06 de abr. de 2013.

WILSON, D. R.; MARTINEZ, T. R. **The General Inefficiency of Batch Training for Gradient Descent Learning,** Neural Networks 2003; 16: 1429-51

XIAOLI, Z.; XIANGJUN, Z.; LI, L.; CHOI, S. S.; YUANYUAN, W. **Fault Location Using Wavelet Energy Spectrum Analysis of Traveling Waves.** 8th International Power Engineering Conference - IPEC 2007: 1126-30.

YAN, F.; CHEN, Z.; LIANG, Z.; KONG, Y.; LI, P. **Fault Location using Wavelet Packets.** International Conference on Power Systems Technology - PowerCon 2002; 4: 2575-9.

YOUSSEF, O. A. S. **A Modified Wavelet-Based Fault Classification Technique.** Electric Power Systems Research 2003; 64: 165-72.

_____. **Combined Fuzzy-Logic Wavelet-Based Fault Classification Technique for Power System Relaying.** IEEE Transactions on Power Delivery 2004; 19(2): 582-9.

_____. **Fault Classification Based on Wavelet Transforms.** Proceedings of 2001 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2001.

YU, K. K. C.; WATSON, N. R. **Identification of Fault Locations using Transient State Estimation.** International conference on Power Systems Transients - IPST 2005, Montreal, Canadá, paper 64.

YUSUF, A. A.; JIMOH, A. A.; MUNDA, J. L. **Fault Location in Transmission Lines Based on Stationary Wavelet Transform, Determinant Function Feature and Support Vector Regression.** Electric Power System Research, 2014; 110: 73-83.

ZAMBONI, L. **Detecção e Localização de Faltas em Sistemas Elétricos de Distribuição Usando Abordagem Inteligente Baseada em Análise Espectral de Sinais.** Tese de doutorado em Engenharia Elétrica, UFSCar, 2013.

ZANETTA JR., L. C. **Transitórios Eletromagnéticos em Sistemas de Potência**. EDUSP, 2003.

GLOSSÁRIO

Algoritmo Floyd-Warshall: este algoritmo pretende oferecer o caminho mais curto entre todos os pares de vértices em um grafo orientado com pesos ponderados, aplicado em sistemas de otimização.

Janela tipo Hamming: É uma função do tipo janela, ou seja, uma função cujo valor é nulo fora dos limites definidos, com características de filtro de frequência que maximiza a frequência central.

Rede Neural ARTMAP-Fuzzy, ou Fuzzy-ARTMAP: É uma arquitetura de redes neurais artificiais que associa a teoria da ressonância adaptativa (ART, *adaptive resonance theory*) a um mapa multidimensional *fuzzy*.

Scilab: Não foi encontrado referência explícita à sigla ou se é de fato uma abreviatura, motivo pelo qual é citado aqui, mas provavelmente seja a sigla de *SCientific LABoratory*, é um software de simulação matemática computacional similar ao bem mais famoso Matlab.

Teoria da evidência de Dempster-Shafer: esta teoria busca tratar de forma matemática dados ou conhecimentos incertos de modo a obter um grau de confiança em determinada informação com base em todas as evidências disponíveis.

Transformada Hilbert-Huang: É uma transformada matemática que decompõe um sinal em componentes denominados funções de modo intrínseco, e estas funções tem características que carregam informações sobre a frequência instantânea.

TT Transform: Transformada tempo-tempo, mecanismo de transformação matemática de frequências no tempo que correlaciona evento no domínio do tempo. Deriva de tratamento matemáticos da transformada S, que por sua vez é uma generalização da STFT, *short-time Fourier transform*, explicada no texto.

APÊNDICES

Sabendo-se que este material é proprietário da Petrobras e da UFBA, ainda assim considera-se interessante para divulgar conhecimentos e permitir o avanço de pesquisas correlatas reproduzimos aqui os códigos de linguagem ATP e Scilab que foram utilizados em toda a tese. O entendimento dos códigos é prescindível para compreender o que foi proposto e executado, mas pode facultar aprofundamentos não explicitados ou permitir caminhos diferentes dos que aqui foram realizados. Iremos apresentar os arquivos texto originais para simulação no ATP, bem como os arquivos com os eventuais modelos de linha de transmissão usados.

Em seguida, reproduz-se os arquivos Scilab de escrita para o conjunto completo de simulações (600 para detecção e classificação, 5700 para o caso fictício e 4200 para o caso adaptado), aquele que gera o total de arquivos ATP que serão executados através de uma rotina do windows *.bat. Após rodar o arquivo *.bat gerado pela escrita Scilab (procedimento que leva entre 2 e 8 horas, a depender da velocidade e capacidade do computador e do total de casos executados), é preciso rodar no Scilab um algoritmo de leitura, que faz a detecção do curto-circuito e o processamento *wavelet*, gerando o arquivo de entrada da rede neural. No caso da simulação de detecção e classificação, o arquivo de leitura é que faz essa classificação.

Por fim, o arquivo Scilab que executa a análise de rede neural é apresentado. Este arquivo gera seis arquivos de saída que encetam a comparação entre os resultados treinados ou esperados, e os resultados efetivos da saída da rede neural. A saída da rede neural passa por um limiar rígido e termina por ser comparado aos valores treinados/esperados. Esta comparação foi efetuada em arquivos do *software excel* que não estão aqui explicitados.

Apêndice A-Dados do circuito ATP simulado para detecção e classificação de falta

```
BEGIN NEW DATA CASE
C
C Generated by ATPDRAW novembro, segunda-feira 11, 2013
C A Bonneville Power Administration program
C Programmed by H. K. Høidalen at SEFAS - NORWAY 1994-2003
C -----
$DUMMY, XYZ000
C dT >< Tmax >< Xopt >< Copt >
1.E-6 .1
```

```

    500  1  1  1  1  0  0  1  0
C  1  2  3  4  5  6  7  8
C 3456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C -----
C Fazendo uso da MODELS.
C -----
MODELS
INPUT
  atp_t { ATP(t) }
  V_REC_A { V(B0001A) }
  V_REC_B { V(B0001B) }
  V_REC_C { V(B0001C) }
  I_REC_A { I(B0001A) }
  I_REC_B { I(B0001B) }
  I_REC_C { I(B0001C) }
MODEL comtrade
VAR
  CONT
  STEP
  V0
  IO
INPUT
  time {dflt: 0}
  V_A {dflt: 0}
  V_B {dflt: 0}
  V_C {dflt: 0}
  I_A {dflt: 0}
  I_B {dflt: 0}
  I_C {dflt: 0}
INIT
  CONT:=1
  STEP:=1
ENDINIT
EXEC
  IF CONT=1 THEN
C
C esta rotina escreve o arquivo de saída dos resultados
C
    WRITE1(STEP,' ',time,' ',V_A,' ',V_B,' ',V_C,' ',
           I_A,' ',I_B,' ',I_C,)
  ENDIF
  IF CONT=2 THEN
    STEP:=(STEP+1)
    WRITE1(STEP,' ',time,' ',V_A,' ',V_B,' ',V_C,' ',
           I_A,' ',I_B,' ',I_C)
    CONT:=1
  ENDIF
  CONT:=(CONT+1)
ENDEXEC
ENDMODEL
USE comtrade AS comtrade
INPUT
  time:= atp_t
  V_A:= V_REC_A
  V_B:= V_REC_B
  V_C:= V_REC_C
  I_A:= I_REC_A

```

```

I_B:= I_REC_B
I_C:= I_REC_C
ENDUSE
ENDMODELS
C
/BRANCH
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< L >< C >
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< A >< B ><Leng><><>0
C
C a impedância da fonte
C
B0002AB0003A      .0001                0
B0002BB0003B      .0001                0
B0002CB0003C      .0001                0
C
C a impedância da falta está definida nas grandezas abaixo, nó B0009
C
B0009A      .0001                0
B0009B      .0001                0
B0009C      .0001                0
B0010AB0010B      .0001                0
C a impedância das cargas estão definidas abaixo
C
B0007A      500.                0
B0007B      500.                0
B0007C      500.                0
B0006A      500.                0
B0006B      500.                0
B0006C      500.                0
B0008A      500.                0
B0008B      500.                0
B0008C      500.                0
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3.lib, B0003A, B0003B, B0003C, B0004A $$
, B0004B, B0004C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3.lib, B0004A, B0004B, B0004C, B0005A $$
, B0005B, B0005C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3.lib, B0005A, B0005B, B0005C, B0006A $$
, B0006B, B0006C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3.lib, B0004A, B0004B, B0004C, B0008A $$
, B0008B, B0008C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_2.lib, B0005A, B0005B, B0005C, B0007A $$
, B0007B, B0007C
C
C a leitura da corrente do sinal precisa ser feita em uma chave.
C o local do curto-circuito também é definido pelo nó inicial da chave.
C o tempo (e o ângulo de incidência) também são definidos pela chave.
C
C
/ SWITCH
C < n 1>< n 2>< Tclose >< Top/Tde >< le >< Vf/CLOP >< type >
B0006AB0009A      .0542      10.                0
B0006BB0009B      .0542      10.                0
B0006CB0009C      .0542      10.                0
B0001AB0002A      -1.        10.                1
B0001BB0002B      -1.        10.                1
B0001CB0002C      -1.        10.                1
/SOURCE

```

```

C < n 1><>< Ampl. >< Freq. ><Phase/T0>< A1 >< T1 >< TSTART >< TSTOP >
14B0001A 0 2.E4 60. -1. 10.
14B0001B 0 2.E4 60. -120. -1. 10.
14B0001C 0 2.E4 60. 120. -1. 10.
C /OUTPUT
C B0003AB0003BB0003CB0008AB0008BB0008CB0006AB0006BB0006C
BLANK BRANCH
BLANK SWITCH
BLANK SOURCE
BLANK OUTPUT
BLANK PLOT
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK

```

Apêndice B-Dados do circuito ATP simulado para o circuito fictício de 19 barras

```

BEGIN NEW DATA CASE
C -----
C Generated by ATPDRAW junho, segunda-feira 15, 2015
C A Bonneville Power Administration program
C Programmed by H. K. Høidalen at SEFAS - NORWAY 1994-2003
C -----
$DUMMY, XYZ000
C dT >> Tmax >> Xopt >> Copt >
1.E-6 .060
500 1 1 1 1 0 0 1 0
C 1 2 3 4 5 6 7 8
C 3456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C -----
C Fazendo uso da MODELS.
C -----
MODELS
INPUT
atp_t { ATP(t) }
V_REC_A { V(ChaveA) }
V_REC_B { V(ChaveB) }
V_REC_C { V(ChaveC) }
I_REC_A { I(ChaveA) }
I_REC_B { I(ChaveB) }
I_REC_C { I(ChaveC) }
MODEL comtrade
VAR
CONT
STEP
VO
IO
INPUT
time {dflt: 0}
V_A {dflt: 0}
V_B {dflt: 0}
V_C {dflt: 0}
I_A {dflt: 0}
I_B {dflt: 0}
I_C {dflt: 0}

```

```

INIT
  CONT:=1
  STEP:=1
ENDINIT
EXEC
  IF CONT=1 THEN
C
C esta rotina escreve o arquivo de saída dos resultados
C
  WRITE1(STEP,' ',time,' ',V_A,' ',V_B,' ',V_C,' ',
    I_A,' ',I_B,' ',I_C,)
  ENDIF
  IF CONT=2 THEN
    STEP:=(STEP+1)
    WRITE1(STEP,' ',time,' ',V_A,' ',V_B,' ',V_C,' ',
      I_A,' ',I_B,' ',I_C)
    CONT:=1
  ENDIF
  CONT:=(CONT+1)
ENDEXEC
ENDMODEL
USE comtrade AS comtrade
INPUT
  time:= atp_t
  V_A:= V_REC_A
  V_B:= V_REC_B
  V_C:= V_REC_C
  I_A:= I_REC_A
  I_B:= I_REC_B
  I_C:= I_REC_C
ENDUSE
ENDMODELS
C
/BRANCH
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< L >< C >
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< A >< B ><Leng><><>0
C
C a impedância da fonte
C
ChaveAkm000A      .0001          0
ChaveBkm000B      .0001          0
ChaveCkm000C      .0001          0
C
C a impedância da falta está definida nas grandezas abaixo, nó B0009
C
B0009AB0010A      .001           0
B0009BB0010B      .001           0
B0009CB0010C      .001           0
C
C a impedância das cargas estão definidas abaixo
C
km803A            2.E3           0
km803B            2.E3           0
km803C            2.E3           0
km012A            2.E3           0
km012B            2.E3           0
km012C            2.E3           0

```

km404A	2.E3	0
km404B	2.E3	0
km404C	2.E3	0

C

C Aqui são as impedâncias do curto circuito. Este valor é fixo e desprezível

C

B0010BB0010A	1.E-5	0
B0010CB0010A	1.E-5	0
B0010BB0010C	1.E-5	0
B0010A	1.E-5	0
B0010B	1.E-5	0
B0010C	1.E-5	0

\$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3.lib, km000A, km000B, km000C, km001A \$\$
, km001B, km001C

\$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3.lib, km004A, km004B, km004C, km005A \$\$
, km005B, km005C

\$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3.lib, km008A, km008B, km008C, km009A \$\$
, km009B, km009C

\$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3.lib, km009A, km009B, km009C, km010A \$\$
, km010B, km010C

\$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_2.lib, km008A, km008B, km008C, km801A \$\$
, km801B, km801C

\$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_2.lib, km801A, km801B, km801C, km802A \$\$
, km802B, km802C

\$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3.lib, km010A, km010B, km010C, km011A \$\$
, km011B, km011C

\$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3.lib, km011A, km011B, km011C, km012A \$\$
, km012B, km012C

\$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3.lib, km004A, km004B, km004C, km401A \$\$
, km401B, km401C

\$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3.lib, km401A, km401B, km401C, km402A \$\$
, km402B, km402C

\$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3.lib, km402A, km402B, km402C, km403A \$\$
, km403B, km403C

\$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3.lib, km403A, km403B, km403C, km404A \$\$
, km404B, km404C

\$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_2.lib, km802A, km802B, km802C, km803A \$\$
, km803B, km803C

\$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3.lib, km005A, km005B, km005C, km006A \$\$
, km006B, km006C

\$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3.lib, km006A, km006B, km006C, km007A \$\$
, km007B, km007C

\$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3.lib, km007A, km007B, km007C, km008A \$\$
, km008B, km008C

\$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3.lib, km001A, km001B, km001C, km002A \$\$
, km002B, km002C

\$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3.lib, km002A, km002B, km002C, km003A \$\$
, km003B, km003C

\$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3.lib, km003A, km003B, km003C, km004A \$\$
, km004B, km004C

/SWITCH

C

C o local do curto-circuito é definido pelo nó inicial da chave.

C Nete arquivo modelANy.atp, é o nó km012.

C o tempo (e assim o ângulo de incidência) também são definidos pela chave.

C Neste modelo, t=0.05 segundos. Se a chave não deve operar, Tclose > 9.999s---

C

```

C < n 1>< n 2>< Tclose ><Top/Tde >< le ><Vf/CLOP >< type >
km012AB0009A .0166 10. 0
km012BB0009B .0166 10. 0
km012CB0009C .0166 10. 0
X0015AChaveA -1. 10. 1
X0015BChaveB -1. 10. 1
X0015CChaveC -1. 10. 1
/SOURCE
C < n 1><>< Ampl. >< Freq. ><Phase/T0>< A1 >< T1 >< TSTART >< TSTOP >
14X0015A 0 11267 60. -1. 10.
14X0015B 0 11267 60. -120. -1. 10.
14X0015C 0 11267 60. 120. -1. 10.
C/OUTPUT
C
C A saída das tensões pode ser opcional. Vamos deixar apenas o nó inicial
C Caso desejemos pegar as tensões intermediárias, é só remover o C
C
C
km000Akm000Bkm000Ckm009Akm009Bkm009Ckm010Akm010Bkm010Ckm011Akm011Bkm011Ckm01
2A
C
km012Bkm012Ckm401Akm401Bkm401Ckm402Akm402Bkm402Ckm403Akm403Bkm403Ckm404Akm40
4B
C
km404Ckm801Akm801Bkm801Ckm802Akm802Bkm802Ckm803Akm803Bkm803Ckm005Akm005Bkm00
5C
C
km006Akm006Bkm006Ckm007Akm007Bkm007Ckm008Akm008Bkm008Ckm001Akm001Bkm001Ckm00
2A
C km002Bkm002Ckm003Akm003Bkm003Ckm004Akm004Bkm004C
BLANK BRANCH
BLANK SWITCH
BLANK SOURCE
BLANK OUTPUT
BLANK PLOT
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK

```

Apêndice C-Dados do circuito ATP simulado para estudo da rede adaptada DJ

```

BEGIN NEW DATA CASE
C -----
C Generated by ATPDRAW junho, segunda-feira 15, 2015
C A Bonneville Power Administration program
C Programmed by H. K. Høidalen at SEfAS - NORWAY 1994-2003
C -----
$DUMMY, XYZ000
C dT >< Tmax >< Xopt >< Copt >
1.E-6 .060
500 1 1 1 1 0 0 1 0
C 1 2 3 4 5 6 7 8
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C -----
C Fazendo uso da MODELS.
C -----
MODELS

```

```

INPUT
  atp_t { ATP(t) }
  V_REC_A { V(ChaveA) }
  V_REC_B { V(ChaveB) }
  V_REC_C { V(ChaveC) }
  I_REC_A { I(ChaveA) }
  I_REC_B { I(ChaveB) }
  I_REC_C { I(ChaveC) }
MODEL comtrade
VAR
  CONT
  STEP
  V0
  IO
INPUT
  time {dflt: 0}
  V_A {dflt: 0}
  V_B {dflt: 0}
  V_C {dflt: 0}
  I_A {dflt: 0}
  I_B {dflt: 0}
  I_C {dflt: 0}
INIT
  CONT:=1
  STEP:=1
ENDINIT
EXEC
  IF CONT=1 THEN
C
C esta rotina escreve o arquivo de saída dos resultados
C
    WRITE1(STEP,' ',time,' ',V_A,' ',V_B,' ',V_C,' ',
      I_A,' ',I_B,' ',I_C)
  ENDIF
  IF CONT=2 THEN
    STEP:=(STEP+1)
    WRITE1(STEP,' ',time,' ',V_A,' ',V_B,' ',V_C,' ',
      I_A,' ',I_B,' ',I_C)
    CONT:=1
  ENDIF
  CONT:=(CONT+1)
ENDEXEC
ENDMODEL
USE comtrade AS comtrade
INPUT
  time:= atp_t
  V_A:= V_REC_A
  V_B:= V_REC_B
  V_C:= V_REC_C
  I_A:= I_REC_A
  I_B:= I_REC_B
  I_C:= I_REC_C
ENDUSE
ENDMODELS
C
/BRANCH
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< L >< C >

```

```

C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< A >< B ><Leng><><>0
ChaveA01DJ0A      .279.00845          0
ChaveB01DJ0B      .279.00845          0
ChaveC01DJ0C      .279.00845          0
CCINA CCOUTA      .0001                0
CCINB CCOUTB      .0001                0
CCINC CCOUTC      .0001                0
C 700kVA<15
65DJ0A           262. .186           0
65DJ0B           262. .186           0
65DJ0C           262. .186           0
C 30kVA<30graus
43DJ0A           5500. 8.41          0
43DJ0B           5500. 8.41          0
43DJ0C           5500. 8.41          0
CCOUTA           1e-5                0
C CCOUTB         1e-5                0
C CCOUTC         1e-5                0
CCOUTACCOUTB    1e-5                0
CCOUTACCOUTC    1e-5                0
CCOUTBCCOUTC    1e-5                0
C 225kVA<20graus
06D07A           795. .77            0
06D07B           795. .77            0
06D07C           795. .77            0
C 75kVA<25graus
58D13A           2300. .284          0
58D13B           2300. .284          0
58D13C           2300. .284          0
C 150kVA<20
65D18A           1193. 1.154         0
65D18B           1193. 1.154         0
65D18C           1193. 1.154         0
C 30kVA<30graus
58DJ0A           5500. 8.41          0
58DJ0B           5500. 8.41          0
58DJ0C           5500. 8.41          0
C 200kVA<20
97DJ0A           895. .862           0
97DJ0B           895. .862           0
97DJ0C           895. .862           0
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3_0.lib, 01DJ0A, 01DJ0B, 01DJ0C, 06DJ0A $$
, 06DJ0B, 06DJ0C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_1_0.lib, 43DJ0A, 43DJ0B, 43DJ0C, 58DJ0A $$
, 58DJ0B, 58DJ0C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_4awh.lib, 65DJ0A, 65DJ0B, 65DJ0C, 65D10A $$
, 65D10B, 65D10C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_1_0.lib, 58DJ0A, 58DJ0B, 58DJ0C, 65DJ0A $$
, 65DJ0B, 65DJ0C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_4awg.lib, 06DJ0A, 06DJ0B, 06DJ0C, 06D07A $$
, 06D07B, 06D07C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_4awg.lib, 58DJ0A, 58DJ0B, 58DJ0C, 58D13A $$
, 58D13B, 58D13C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_4awh.lib, 65D10A, 65D10B, 65D10C, 65D18A $$
, 65D18B, 65D18C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_1_0.lib, 06DJ0A, 06DJ0B, 06DJ0C, 18DJ0A $$
, 18DJ0B, 18DJ0C

```

```

$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_1_0.lib, 18DJ0A, 18DJ0B, 18DJ0C, 30DJ0A $$
, 30DJ0B, 30DJ0C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_1_0.lib, 30DJ0A, 30DJ0B, 30DJ0C, 43DJ0A $$
, 43DJ0B, 43DJ0C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_4awg.lib, 76DJ0A, 76DJ0B, 76DJ0C, 86DJ0A $$
, 86DJ0B, 86DJ0C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_4awg.lib, 86DJ0A, 86DJ0B, 86DJ0C, 97DJ0A $$
, 97DJ0B, 97DJ0C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_4awg.lib, 65DJ0A, 65DJ0B, 65DJ0C, 76DJ0A $$
, 76DJ0B, 76DJ0C
/SWITCH
C < n 1>< n 2>< Tclose >< Top/Tde >< le >< Vf/CLOP >< type >
65D18ACCINA .0500 10. 0
65D18BCCINB .0500 10. 0
65D18CCCINC .0500 10. 0
FONTEAChaveA -1. 10. 1
FONTEBChaveB -1. 10. 1
FONTECChaveC -1. 10. 1
/SOURCE
C < n 1><< Ampl. >< Freq. >< Phase/T0>< A1 >< T1 >< TSTART >< TSTOP >
14FONTEA 0 11260. 60. -1. 10.
14FONTEB 0 11260. 60. -120. -1. 10.
14FONTEC 0 11260. 60. 120. -1. 10.
/OUTPUT
c 01DJ0A01DJ0B01DJ0C50DJ0A50DJ0B50DJ0C65D08A65D08B65D08C58DJ0A58DJ0B58DJ0C65DJ0A
c 65DJ0B65DJ0C06D07A06D07B06D07C58D04A58D04B58D04C58D08A58D08B58D08C58D13A58D13B
c 58D13C65D13A65D13B65D13C65D18A65D18B65D18C65D04A65D04B65D04C12DJ0A12DJ0B12DJ0C
c 18DJ0A18DJ0B18DJ0C24DJ0A24DJ0B24DJ0C06DJ0A06DJ0B06DJ0C30DJ0A30DJ0B30DJ0C36DJ0A
c 36DJ0B36DJ0C43DJ0A43DJ0B43DJ0C81DJ0A81DJ0B81DJ0C86DJ0A86DJ0B86DJ0C97DJ0A97DJ0B
c 97DJ0C75DJ0A75DJ0B75DJ0C70DJ0A70DJ0B70DJ0C91DJ0A91DJ0B91DJ0C
BLANK BRANCH
BLANK SWITCH
BLANK SOURCE
BLANK OUTPUT
BLANK PLOT
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK

```

Apêndice D-Dados do circuito ATP simulado para estudo da rede adaptada DJ apenas com cabos 3/0AWG

```

BEGIN NEW DATA CASE
C -----
C Generated by ATPDRAW junho, segunda-feira 15, 2015
C A Bonneville Power Administration program
C Programmed by H. K. Høidalen at SEFAS - NORWAY 1994-2003
C -----
$DUMMY, XYZ000
C dT >< Tmax >< Xopt >< Copt >
1.E-6 .060
500 1 1 1 1 0 0 1 0
C 1 2 3 4 5 6 7 8
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C -----
C Fazendo uso da MODELS.
C -----

```

```

MODELS
INPUT
  atp_t { ATP(t) }
  V_REC_A { V(ChaveA) }
  V_REC_B { V(ChaveB) }
  V_REC_C { V(ChaveC) }
  I_REC_A { I(ChaveA) }
  I_REC_B { I(ChaveB) }
  I_REC_C { I(ChaveC) }
MODEL comtrade
VAR
  CONT
  STEP
  V0
  IO
INPUT
  time {dflt: 0}
  V_A {dflt: 0}
  V_B {dflt: 0}
  V_C {dflt: 0}
  I_A {dflt: 0}
  I_B {dflt: 0}
  I_C {dflt: 0}
INIT
  CONT:=1
  STEP:=1
ENDINIT
EXEC
  IF CONT=1 THEN
C
C esta rotina escreve o arquivo de saída dos resultados
C
    WRITE1(STEP,' ',time,' ',V_A,' ',V_B,' ',V_C,' ',
      I_A,' ',I_B,' ',I_C,)
  ENDIF
  IF CONT=2 THEN
    STEP:=(STEP+1)
    WRITE1(STEP,' ',time,' ',V_A,' ',V_B,' ',V_C,' ',
      I_A,' ',I_B,' ',I_C)
    CONT:=1
  ENDIF
  CONT:=(CONT+1)
ENDEXEC
ENDMODEL
USE comtrade AS comtrade
INPUT
  time:= atp_t
  V_A:= V_REC_A
  V_B:= V_REC_B
  V_C:= V_REC_C
  I_A:= I_REC_A
  I_B:= I_REC_B
  I_C:= I_REC_C
ENDUSE
ENDMODELS
C
/BRANCH

```

```

C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< L >< C >
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< A >< B ><Leng><><>0
ChaveA01DJ0A      .279.00845      0
ChaveB01DJ0B      .279.00845      0
ChaveC01DJ0C      .279.00845      0
CCINA CCOUTA      .0001            0
CCINB CCOUTB      .0001            0
CCINC CCOUTC      .0001            0
C 700kVA<15
65DJ0A           262. .186        0
65DJ0B           262. .186        0
65DJ0C           262. .186        0
C 30kVA<30graus
43DJ0A           5500. 8.41       0
43DJ0B           5500. 8.41       0
43DJ0C           5500. 8.41       0
CCOUTA           1e-5             0
C CCOUTB          1e-5             0
C CCOUTC          1e-5             0
CCOUTACCOUTB     1e-5             0
CCOUTACCOUTC     1e-5             0
CCOUTBCCOUTC     1e-5             0
C 225kVA<20graus
06D07A           795. .77         0
06D07B           795. .77         0
06D07C           795. .77         0
C 75kVA<25graus
58D13A           2300. .284       0
58D13B           2300. .284       0
58D13C           2300. .284       0
C 150kVA<20
65D18A           1193. 1.154      0
65D18B           1193. 1.154      0
65D18C           1193. 1.154      0
C 30kVA<30graus
58DJ0A           5500. 8.41       0
58DJ0B           5500. 8.41       0
58DJ0C           5500. 8.41       0
C 200kVA<20
97DJ0A           895. .862        0
97DJ0B           895. .862        0
97DJ0C           895. .862        0
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3_0.lib, 01DJ0A, 01DJ0B, 01DJ0C, 06DJ0A $$
, 06DJ0B, 06DJ0C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3_0.lib, 43DJ0A, 43DJ0B, 43DJ0C, 58DJ0A $$
, 58DJ0B, 58DJ0C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3_0.lib, 65DJ0A, 65DJ0B, 65DJ0C, 65D10A $$
, 65D10B, 65D10C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3_0.lib, 58DJ0A, 58DJ0B, 58DJ0C, 65DJ0A $$
, 65DJ0B, 65DJ0C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3_0.lib, 06DJ0A, 06DJ0B, 06DJ0C, 06D07A $$
, 06D07B, 06D07C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3_0.lib, 58DJ0A, 58DJ0B, 58DJ0C, 58D13A $$
, 58D13B, 58D13C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3_0.lib, 65D10A, 65D10B, 65D10C, 65D18A $$
, 65D18B, 65D18C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3_0.lib, 06DJ0A, 06DJ0B, 06DJ0C, 18DJ0A $$

```

```

, 18DJ0B, 18DJ0C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3_0.lib, 18DJ0A, 18DJ0B, 18DJ0C, 30DJ0A $$
, 30DJ0B, 30DJ0C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3_0.lib, 30DJ0A, 30DJ0B, 30DJ0C, 43DJ0A $$
, 43DJ0B, 43DJ0C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3_0.lib, 76DJ0A, 76DJ0B, 76DJ0C, 86DJ0A $$
, 86DJ0B, 86DJ0C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3_0.lib, 86DJ0A, 86DJ0B, 86DJ0C, 97DJ0A $$
, 97DJ0B, 97DJ0C
$INCLUDE, C:\ATP\project\lcc\LCC_3_0.lib, 65DJ0A, 65DJ0B, 65DJ0C, 76DJ0A $$
, 76DJ0B, 76DJ0C
/SWITCH
C < n 1>< n 2>< Tclose ><Top/Tde >< le ><Vf/CLOP >< type >
65D18ACCINA .0500 10. 0
65D18BCCINB .0500 10. 0
65D18CCCINC .0500 10. 0
FONTEAChaveA -1. 10. 1
FONTEBChaveB -1. 10. 1
FONTECChaveC -1. 10. 1
/SOURCE
C < n 1><< Ampl. >< Freq. ><Phase/T0>< A1 >< T1 >< TSTART >< TSTOP >
14FONTEA 0 11260. 60. -1. 10.
14FONTEB 0 11260. 60. -120. -1. 10.
14FONTEC 0 11260. 60. 120. -1. 10.
/OUTPUT
c 01DJ0A01DJ0B01DJ0C50DJ0A50DJ0B50DJ0C65D08A65D08B65D08C58DJ0A58DJ0B58DJ0C65DJ0A
c 65DJ0B65DJ0C06D07A06D07B06D07C58D04A58D04B58D04C58D08A58D08B58D08C58D13A58D13B
c 58D13C65D13A65D13B65D13C65D18A65D18B65D18C65D04A65D04B65D04C12DJ0A12DJ0B12DJ0C
c 18DJ0A18DJ0B18DJ0C24DJ0A24DJ0B24DJ0C06DJ0A06DJ0B06DJ0C30DJ0A30DJ0B30DJ0C36DJ0A
c 36DJ0B36DJ0C43DJ0A43DJ0B43DJ0C81DJ0A81DJ0B81DJ0C86DJ0A86DJ0B86DJ0C97DJ0A97DJ0B
c 97DJ0C75DJ0A75DJ0B75DJ0C70DJ0A70DJ0B70DJ0C91DJ0A91DJ0B91DJ0C
BLANK BRANCH
BLANK SWITCH
BLANK SOURCE
BLANK OUTPUT
BLANK PLOT
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK

```

Apêndice E- Arquivo das linha de transmissão de 4km usadas pelo ATP para o circuito de detecção e classificação

```

BEGIN NEW DATA CASE
LINE CONSTANTS
$ERASE
BRANCH IN__AOUT__AIN__BOUT__BIN__COUT__C
METRIC
10.336 0.197 4 1.154 -0.65 10. 7.
20.336 0.197 4 1.154 0.1 10. 7.
30.336 0.197 4 1.154 0.65 10. 7.
BLANK CARD ENDING CONDUCTOR CARDS
100. 1.E3 4.0 1-9
BLANK CARD ENDING FREQUENCY CARDS
$PUNCH
BLANK CARD ENDING LINE CONSTANT
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK CARD

```

Apêndice F- Arquivo das linha de transmissão de 1km cabo 3/0AWG usadas pelo ATP

```

BEGIN NEW DATA CASE
LINE CONSTANTS
$ERASE
BRANCH IN__AOUT__AIN__BOUT__BIN__COUT__C
METRIC
 10.336 0.197 4      1.154 -0.65  10.  7.
 20.336 0.197 4      1.154  0.1  10.  7.
 30.336 0.197 4      1.154  0.65  10.  7.
BLANK CARD ENDING CONDUCTOR CARDS
 100.  1.E3          1.0      1-9
BLANK CARD ENDING FREQUENCY CARDS
$PUNCH
BLANK CARD ENDING LINE CONSTANT
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK CARD

```

Apêndice G- Arquivo das linha de transmissão de 1km cabo 2AWG usadas pelo ATP

```

BEGIN NEW DATA CASE
LINE CONSTANTS
$ERASE
BRANCH IN__AOUT__AIN__BOUT__BIN__COUT__C
METRIC
 10.347 0.5 4      0.6544 -0.65  10.  7.
 20.347 0.5 4      0.6544  0.1  10.  7.
 30.347 0.5 4      0.6544  0.65  10.  7.
BLANK CARD ENDING CONDUCTOR CARDS
 100.  1.E3          1.0      1-9
BLANK CARD ENDING FREQUENCY CARDS
$PUNCH
BLANK CARD ENDING LINE CONSTANT
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK CARD

```

Apêndice H- Arquivo das linha de transmissão de 1km cabo 1/0AWG usadas pelo ATP

```

BEGIN NEW DATA CASE
LINE CONSTANTS
$ERASE
BRANCH IN__AOUT__AIN__BOUT__BIN__COUT__C
METRIC
 10.324 0.317 4      0.8252 -0.65  10.  7.
 20.324 0.317 4      0.8252 -0.1  10.  7.
 30.324 0.317 4      0.8252  0.65  10.  7.
BLANK CARD ENDING CONDUCTOR CARDS
 100.  1.E3          1.      1-9
BLANK CARD ENDING FREQUENCY CARDS
$PUNCH
BLANK CARD ENDING LINE CONSTANT

```

```
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK CARD
```

Apêndice I- Arquivo das linha de transmissão de 1km cabo 4AWG usadas pelo ATP

```
BEGIN NEW DATA CASE
LINE CONSTANTS
$ERASE
BRANCH IN__AOUT__AIN__BOUT__BIN__COUT__C
METRIC
 10.332  0.8 4      0.5186 -0.65  10.  7.
 20.332  0.8 4      0.5186  0.1  10.  7.
 30.332  0.8 4      0.5186  0.65  10.  7.
BLANK CARD ENDING CONDUCTOR CARDS
 100.  1.E3          1.          1-9
BLANK CARD ENDING FREQUENCY CARDS
$PUNCH
BLANK CARD ENDING LINE CONSTANT
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK CARD
```

Apêndice J- Arquivo de escrita para os 600 casos de detecção e classificação

```
clear;mclearerr;
b=chdir("c:\atp\dout\modeloAlmir");
realpath=cd("c:\atp\dout\modeloAlmir");
locais=5; angulos=4; impedancias = 3; tipos = 10; //sistema escolhido
//locais=5; angulos=1; impedancias = 1; tipos = 1; //dados para teste
loc=['B0004','B0005','B0006','B0007','B0008'];
ang=['090';'180';'270';'000'];
imp=['1e-4';'0010';'1000'];
tip=['_AT','_BT','_CT','_ABT','_ACT','_BCT','_ABC','_AB','_AC','_BC']
modelo_ATP = sprintf('modelo.atp');
//Montando o arquivo com extensão .bat
fd3 = mopen('Registros\simular_arquivos_atp.bat', 'w');
mfprintf(fd3, 'ECHO OFF\n');
mfprintf(fd3, 'REM\n');
for i=1:locais
    for j=1:angulos
        for k=1:impedancias
            for l=1:tipos
                arquivo_ATP = sprintf('%s\\%s%s%s%s%s.atp', 'Registros',loc(i),'ang',ang(j),'Z',imp(k),tip(l) );
                arquivo_1 = sprintf('%s%s%s%s%s.s.1', loc(i),'ang',ang(j),'Z',imp(k),tip(l) );
                //Armazenanando na .bat
                mfprintf(fd3, 'tpbig disk %s%s%s%s%s.s.atp s -r\n', loc(i),'ang',ang(j),'Z',imp(k),tip(l));
                mfprintf(fd3, 'RENAME MODELS.1 %s\n', arquivo_1);
                mfprintf(fd3, '@if exist *.dbg del *.dbg\n');
                mfprintf(fd3, 'REM\n');
                fd1 = mopen(modelo_ATP,'r');
                fd2 = mopen(arquivo_ATP,'w');
                nL = 1;
                linha = mgetstr(80,fd1);
                mfprintf(fd2, linha);
```

```

while meof(fd1)==0
    nL = nL + 1;
    linha = mgetstr(80,fd1);
    mfprintf(fd2, '%s', linha);
end
//aqui altera a parametrização do ângulo
x=[53 48 48];
for z=1:angulos
    defineang(1,z)=ang(z)=ang(j)
end
select defineang
case [%t %f %f %f] then x=[53 48 48] //código ascii para o número, vai de 48 =0 até 57 = 9. São 3
valores porque o tempo tem 3 algarismos
case [%f %t %f %f] then x=[53 52 50]
case [%f %f %t %f] then x=[53 56 51]
case [%f %f %f %t] then x=[54 50 53]
end
mseek(4129,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
mseek(4211,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
mseek(4293,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
//aqui altera a parametrização de tipo
x=[57 46 57 57 57]
for z=1:tipos
    definetip(1,z)=tip(z)=tip(l)
end
select definetip
case [%t %f %f %f %f %f %f %f %f %f] then //AT
// Na definição do tipo, a ação mseek/mput substitui o tempo de abertura da chave para as fases
que não queremos que operem para o tempo de 9.999 segundos
mseek(4209,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
mseek(4291,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
case [%f %t %f %f %f %f %f %f %f %f] then //BT
mseek(4127,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
mseek(4291,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
case [%f %f %t %f %f %f %f %f %f %f] then //CT
mseek(4127,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
mseek(4209,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
case [%f %f %f %t %f %f %f %f %f %f] then //ABT
mseek(4291,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %t %f %f %f %f %f] then //ACT
mseek(4209,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %f %t %f %f %f %f] then //BCT
mseek(4127,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %f %f %t %f %f %f] then //ABC
// não faz nada

```

```

case [%f %f %f %f %f %f %f %f %t %f %f] then //AB
// 4291 é a posição da fase C, a chave que não queremos que opere.
mseek(4291,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
// aqui eu vou conectar a impedância Z a um novo terminal B0010, e este terminal ficará curto-
circuitado por um Z infimo
y=[66 48 48 49 48 65]
mseek(2227,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
y=[66 48 48 49 48 66]
mseek(2309,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
y=[66 48 48 49 48 67]
mseek(2391,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
// aqui eu seleciono a letra do terminal 10 que estará em curto bifásico. 65 = A, 66 = B e 67 = C
mseek(2472,fd2,'set')
mput(65,'c',fd2)
mseek(2478,fd2,'set')
mput(66,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %f %f %f %f %t %f %f] then //AC
// 4209 é a posição da fase B, a chave que não queremos que opere.
mseek(4209,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
y=[66 48 48 49 48 65]
mseek(2227,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
y=[66 48 48 49 48 66]
mseek(2309,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
y=[66 48 48 49 48 67]
mseek(2391,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
// aqui eu seleciono a letra do terminal 10 que estará em curto bifásico. 65 = A, 66 = B e 67 = C
mseek(2472,fd2,'set')
mput(65,'c',fd2)
mseek(2478,fd2,'set')
mput(67,'c',fd2)

case [%f %f %f %f %f %f %f %f %t %f %f] then //BC
// 4127 é a posição da fase A, a chave que não queremos que opere.
mseek(4127,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
// aqui eu vou conectar a impedância Z a um novo terminal B0010, e este terminal ficará curto-
circuitado por um Z infimo
y=[66 48 48 49 48 65]
mseek(2227,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
y=[66 48 48 49 48 66]
mseek(2309,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
y=[66 48 48 49 48 67]
mseek(2391,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
// aqui eu seleciono a letra do terminal 10 que estará em curto bifásico. 65 = A, 66 = B e 67 = C
mseek(2472,fd2,'set')

```

```

mput(66,'c',fd2)
mseek(2478,fd2,'set')
mput(67,'c',fd2)
end
//aqui altera a parametrização de Z
x=[46 48 48 48 49]
for z=1:impedancias
    defineimp(1,z)=imp(z)=imp(k)
end
select defineimp
case [%t %f %f] then x=[46 48 48 48 49] //código ascii para o número, vai de 48 =0 até 57 = 9. São
3 valores porque o tempo tem 3 algarismos
case [%f %t %f] then x=[48 48 48 49 48]
case [%f %f %t] then x=[48 49 48 48 48]
end
mseek(2246,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
mseek(2328,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
mseek(2410,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
//aqui altera a parametrização dos locais
x=52
for z=1:locais
    defineloc(1,z)=loc(z)=loc(i)
end
select defineloc
case [%t %f %f %f %f] then x=[52] //código ascii para o número, vai de 48 =0 até 57 = 9
case [%f %t %f %f %f] then x=[53]
case [%f %f %t %f %f] then x=[54]
case [%f %f %f %t %f] then x=[55]
case [%f %f %f %f %t] then x=[56]
end
//os valores numéricos do mseek indicam as posições dos dados que precisam ser alterados.
4035, 4117 e 4199 são as 3 fases do local do curto-circuito, onde a chave de curto se prende
mseek(4114,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
mseek(4196,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
mseek(4278,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)

mclose(fd1)
mclose(fd2)
end
end
end
end
mfprintf(fd3, '@if exist Models.1 del Models.1\n');
//mfprintf(fd3, '@if exist Graphics del Graphics\n');
mfprintf(fd3, '@if exist *.aux del *.aux\n');
mfprintf(fd3, '@if exist *.bin del *.bin\n');
mfprintf(fd3, '@if exist *.tmp del *.tmp\n');
mfprintf(fd3, '@if exist *.dbg del *.dbg\n');
mfprintf(fd3, '@if exist *.lis del *.lis\n');
mfprintf(fd3, '@if exist *.pch del *.pch\n');
// fprintf(fd3, '@if exist *.atp del *.atp\n');

```

```

mfprintf(fd3, '@if exist *.bak del *.bak\n');
// fprintf(fd3, '@if exist *.pl4 del *.pl4\n');
mfprintf(fd3, '@if exist *.mdl del *.mdl\n');
mfprintf(fd3, '@if exist *.pl4 del *.pl4\n');
mfprintf(fd3, '@if exist *.atp del *.atp\n');
mclose(fd3)

```

Apêndice K-Arquivo de escrita para os 5700 casos do circuito fictício de 19 barras

```

clear;mclearerr;
b=chdir("c:\atp\dout\modeloAlmir");
realpath=cd("c:\atp\dout\modeloAlmir");
locais=19; angulos=6; impedancias = 5; tipos = 10; //sistema escolhido
//locais=19; angulos=6; impedancias=1; tipos=3; //dados para teste
loc=['km001','km002','km003','km004','km005','km006','km007','km008','km009','km010','km011','km012','km401','km402','km403','km404','km801','km802','km803'];
ang=['000';'060';'120';'180';'240';'300'];
imp=['1e-3';'1e-1';'0001';'0005';'0010'];
tip=['_AT','_BT','_CT','ABT','ACT','BCT','ABC','_AB','_AC','_BC']
modelo_ATP = sprintf('mode2017.atp');
//Montando o arquivo com extensão .bat
fd3 = mopen('Registros\simular_atp_ANN.bat', 'w');
mfprintf(fd3, 'ECHO OFF\n');
mfprintf(fd3, 'REM\n');
for i=1:locais
    for j=1:angulos
        for k=1:impedancias
            for l=1:tipos
                arquivo_ATP = sprintf('%s\%s%s%s%s%s.s.atp', 'Registros',loc(i),'ang',ang(j),'Z',imp(k),tip(l) );
                arquivo_1 = sprintf('%s%s%s%s%s.s.1', loc(i),'ang',ang(j),'Z',imp(k),tip(l) );

                //Armacenando na .bat
mfprintf(fd3, 'tpbig disk %s%s%s%s.s.atp s -r\n', loc(i),'ang',ang(j),'Z',imp(k),tip(l));
mfprintf(fd3, 'RENAME MODELS.1 %s\n', arquivo_1);
mfprintf(fd3, '@if exist *.dbg del *.dbg\n');
mfprintf(fd3, 'REM\n');
fd1 = mopen(modelo_ATP,'r');
fd2 = mopen(arquivo_ATP,'w');
nL = 1;
linha = mgetstr(80,fd1);
mfprintf(fd2, linha);
while meof(fd1)==0
    nL = nL + 1;
    linha = mgetstr(80,fd1);
    mfprintf(fd2, '%s', linha);
end
//aqui altera a parametrização do ângulo
x=[49 54 54];
for z=1:angulos
    defineang(1,z)=ang(z)=ang(j)
end
// defineang faz uma comparação entre o ângulo do arquivo atual para verificar qual o instante do curto
(e consequentemente o ângulo) que deve ser armazenado no arquivo
select defineang
case [%t %f %f %f %f %f] then x=[49 54 54] // 000o

```

```

//código ascii para o número, vai de 48 =0 até 57 = 9. São 3 valores porque o tempo tem 3 algarismos
//49 54 54 = 0.0166s, 49 57 53 = 0.195s, e assim sucessivamente
  case [%f %t %f %f %f %f] then x=[49 57 53] //195 060o
  case [%f %f %t %f %f %f] then x=[50 50 51] //223 120o
  case [%f %f %f %t %f %f] then x=[50 53 48] //250 180o
  case [%f %f %f %f %t %f] then x=[50 55 56] //278 240o
  case [%f %f %f %f %f %t] then x=[51 48 55] //307 300o
  end
  mseek(6062,fd2,'set')
  mput(x,'c',fd2)
  mseek(6144,fd2,'set')
  mput(x,'c',fd2)
  mseek(6226,fd2,'set')
  mput(x,'c',fd2)
  //aqui altera a parametrização de tipo
  x=[57 46 57 57 57]
  //código ascii para o número, vai de 48 =0 até 57 = 9. São 5 valores porque o tipo tem 5
  caracteres
  for z=1:tipos
    definetip(1,z)=tip(z)=tip(l)
  end
  select definetip
// Na definição do tipo, a ação mseek/mput substitui o tempo de abertura da chave para as fases que
  não queremos que operem para o tempo de 9.999 segundos
  case [%t %f %f %f %f %f %f %f %f %f] then //AT
  mseek(6224,fd2,'set')
  mput(x,'c',fd2)
  mseek(6142,fd2,'set')
  mput(x,'c',fd2)
  case [%f %t %f %f %f %f %f %f %f %f] then //BT
  mseek(6060,fd2,'set')
  mput(x,'c',fd2)
  mseek(6224,fd2,'set')
  mput(x,'c',fd2)
  case [%f %f %t %f %f %f %f %f %f %f] then //CT
  mseek(6060,fd2,'set')
  mput(x,'c',fd2)
  mseek(6142,fd2,'set')
  mput(x,'c',fd2)
  case [%f %f %f %t %f %f %f %f %f %f] then //ABT
  mseek(6224,fd2,'set')
  mput(x,'c',fd2)
  case [%f %f %f %f %t %f %f %f %f %f] then //ACT
  mseek(6142,fd2,'set')
  mput(x,'c',fd2)
  case [%f %f %f %f %f %t %f %f %f %f] then //BCT
  mseek(6060,fd2,'set')
  mput(x,'c',fd2)
  case [%f %f %f %f %f %f %t %f %f %f] then //ABC
  // não faz nada
  case [%f %f %f %f %f %f %f %t %f %f] then //AB
// 5980 é a posição da fase C, a chave que não queremos que opere.
  mseek(6224,fd2,'set')
  mput(x,'c',fd2)
// Nos curtos sem a terra, é preciso desconectar a chave da terra, colocando uma letra C (67) no arquivo
ATP
  mseek(3641,fd2,'set')

```

```

mput([67], 'c', fd2)
mseek(3723, fd2, 'set')
mput([67], 'c', fd2)
mseek(3805, fd2, 'set')
mput([67], 'c', fd2)
case [%f %f %f %f %f %f %f %f %t %f] then //AC
mseek(6142, fd2, 'set')
mput(x, 'c', fd2)
// Nos curtos sem a terra, é preciso desconectar a chave da terra, colocando uma letra C (67) no arquivo
ATP
mseek(3641, fd2, 'set')
mput([67], 'c', fd2)
mseek(3723, fd2, 'set')
mput([67], 'c', fd2)
mseek(3805, fd2, 'set')
mput([67], 'c', fd2)
case [%f %f %f %f %f %f %f %f %t] then //BC
mseek(6060, fd2, 'set')
mput(x, 'c', fd2)
// Nos curtos sem a terra, é preciso desconectar a chave da terra, colocando uma letra C (67) no arquivo
ATP
mseek(3641, fd2, 'set')
mput([67], 'c', fd2)
mseek(3723, fd2, 'set')
mput([67], 'c', fd2)
mseek(3805, fd2, 'set')
mput([67], 'c', fd2)
end

//aqui altera a parametrização de Z
x=[48 46 49 48]
for z=1:impedancias
defineimp(1,z)=imp(z)=imp(k)
end
// defineang faz uma comparação entre o angulo do arquivo atual para verificar qual o instante
do curto (e consequentemente o ângulo) que deve ser armazenado no arquivo

select defineimp
case [%t %f %f %f %f] then x=[46 48 48 49] //código ascii para o número, vai de 48 =0 até 57 = 9.
São 4 valores porque o tempo de curto tem no máximo 4 algarismos. Este é 1e-3 ohms
case [%f %t %f %f %f] then x=[46 49 48 48]//1e-1 ohms
case [%f %f %t %f %f] then x=[48 48 48 49]//1 ohms
case [%f %f %f %t %f] then x=[48 48 48 53]//5 ohms
case [%f %f %f %f %t] then x=[48 48 49 48]//10 ohms
end
mseek(2300, fd2, 'set')
mput(x, 'c', fd2)
mseek(2382, fd2, 'set')
mput(x, 'c', fd2)
mseek(2464, fd2, 'set')
mput(x, 'c', fd2)

//aqui altera a parametrização dos locais
y=[107 109 109 109 109]

for z=1:locais
definoloc(1,z)=loc(z)=loc(i)

```

```

end

select defineloc
case [%t %f %f] then y=[107 109 48 48 49]
//km001
  mseek(6043,fd2,'set')
  mput(y,'c',fd2)
  mseek(6125,fd2,'set')
  mput(y,'c',fd2)
  mseek(6207,fd2,'set')
  mput(y,'c',fd2)
case [%f %t %f %f] then y=[107 109 48 48 50]
//km002
  mseek(6043,fd2,'set')
  mput(y,'c',fd2)
  mseek(6125,fd2,'set')
  mput(y,'c',fd2)
  mseek(6207,fd2,'set')
  mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %t %f %f] then y=[107 109 48 48 51]
//km003
  mseek(6043,fd2,'set')
  mput(y,'c',fd2)
  mseek(6125,fd2,'set')
  mput(y,'c',fd2)
  mseek(6207,fd2,'set')
  mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %f %t %f %f] then y=[107 109 48 48 52]
//km004
  mseek(6043,fd2,'set')
  mput(y,'c',fd2)
  mseek(6125,fd2,'set')
  mput(y,'c',fd2)
  mseek(6207,fd2,'set')
  mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %t %f %f] then y=[107 109 48 48 53]
//km005
  mseek(6043,fd2,'set')
  mput(y,'c',fd2)
  mseek(6125,fd2,'set')
  mput(y,'c',fd2)
  mseek(6207,fd2,'set')
  mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %f %t %f %f %f %f %f %f %f %f %f %f] then y=[107 109 48 48 54]
//km006
  mseek(6043,fd2,'set')
  mput(y,'c',fd2)
  mseek(6125,fd2,'set')
  mput(y,'c',fd2)
  mseek(6207,fd2,'set')
  mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %f %f %t %f %f %f %f %f %f %f %f %f %f] then y=[107 109 48 48 55]
//km007
  mseek(6043,fd2,'set')
  mput(y,'c',fd2)
  mseek(6125,fd2,'set')
  mput(y,'c',fd2)

```



```
// fprintf(fd3, '@if exist *.atp del *.atp\n');
mfprintf(fd3, '@if exist *.bak del *.bak\n');
// fprintf(fd3, '@if exist *.pl4 del *.pl4\n');
mfprintf(fd3, '@if exist *.mdl del *.mdl\n');
mfprintf(fd3, '@if exist *.pl4 del *.pl4\n');
mfprintf(fd3, '@if exist *.atp del *.atp\n');
mclose(fd3)
```

Apêndice L- Arquivo de escrita para os 4200 casos do circuito DJ de 14 barras

```
clear;mclearerr;
b=chdir("c:\atp\dout\modeloAlmir");
realpath=cd("c:\atp\dout\modeloAlmir");
locais=14; angulos=6; impedancias = 5; tipos = 10; //sistema escolhido
//locais=14; angulos=6; impedancias=5; tipos=10; //dados máximos
loc=['01DJ0','06DJ0','06D07','18DJ0','30DJ0','43DJ0','58DJ0','58D13','65DJ0','65D10','65D18','76DJ0','86DJ0','97DJ0'];
ang=['000','030','045','090','135','150'];
imp=['1e-3','0001','0002','0005','0010'];
tip=['_AT','_BT','_CT','ABT','ACT','BCT','ABC','_AB','_AC','_BC']
modelo_ATP = sprintf('DJ-2017.atp');
//Montando o arquivo com extensão .bat
fd3 = mopen('Registros\simular_atp_ANN.bat', 'w');
mfprintf(fd3, 'ECHO OFF\n');
mfprintf(fd3, 'REM\n');
for i=1:locais
    for j=1:angulos
        for k=1:impedancias
            for l=1:tipos
                arquivo_ATP = sprintf('%s\%s%s%s%s%s.s.atp', 'Registros',loc(i),'ang',ang(j),'Z',imp(k),tip(l) );
                arquivo_1 = sprintf('%s%s%s%s%s.s.1', loc(i),'ang',ang(j),'Z',imp(k),tip(l) );

                //Armacenando na .bat
mfprintf(fd3, 'tpbig disk %s%s%s%s.s.atp s -r\n', loc(i),'ang',ang(j),'Z',imp(k),tip(l));
mfprintf(fd3, 'RENAME MODELS.1 %s\n', arquivo_1);
mfprintf(fd3, '@if exist *.dbg del *.dbg\n');
mfprintf(fd3, 'REM\n');
fd1 = mopen(modelo_ATP,'r');
fd2 = mopen(arquivo_ATP,'w');
nL = 1;
linha = mgetstr(80,fd1);
mfprintf(fd2, linha);
while meof(fd1)==0
    nL = nL + 1;
    linha = mgetstr(80,fd1);
    mfprintf(fd2, '%s', linha);
end
//aqui altera a parametrização do ângulo
x=[49 54 54];
for z=1:angulos
    defineang(1,z)=ang(z)==ang(j)
end
// defineang faz uma comparação entre o ângulo do arquivo atual para verificar qual o instante do curto
(e consequentemente o ângulo) que deve ser armazenado no arquivo
```

```

select defineang
  case [%t %f %f %f %f %f] then x=[49 54 54] // 000o
//código ascii para o número, vai de 48 =0 até 57 = 9. São 3 valores porque o tempo tem 3 algarismos
//49 54 54 = 0.0166s, 49 57 53 = 0.195s, e assim sucessivamente
  case [%f %t %f %f %f %f] then x=[49 56 48] //180 030o
  case [%f %f %t %f %f %f] then x=[49 56 55] //187 045o
  case [%f %f %f %t %f %f] then x=[50 48 56] //208 090o
  case [%f %f %f %f %t %f] then x=[50 51 48] //230 135o
  case [%f %f %f %f %f %t] then x=[50 51 56] //238 150o
end
mseek(6097,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
mseek(6179,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
mseek(6261,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
//aqui altera a parametrização de tipo
x=[57 46 57 57 57]
//código ascii para o número, vai de 48 =0 até 57 = 9. São 5 valores porque o tipo tem 5
caracteres
  for z=1:tipos
    definetip(1,z)=tip(z)==tip(l)
  end
  select definetip
// Na definição do tipo, a ação mseek/mput substitui o tempo de abertura da chave para as fases que
não queremos que operem para o tempo de 9.999 segundos
  case [%t %f %f %f %f %f %f %f %f %f] then //AT
    mseek(6259,fd2,'set')
    mput(x,'c',fd2)
    mseek(6177,fd2,'set')
    mput(x,'c',fd2)
  case [%f %t %f %f %f %f %f %f %f %f] then //BT
    mseek(6095,fd2,'set')
    mput(x,'c',fd2)
    mseek(6259,fd2,'set')
    mput(x,'c',fd2)
  case [%f %f %t %f %f %f %f %f %f %f] then //CT
    mseek(6095,fd2,'set')
    mput(x,'c',fd2)
    mseek(6177,fd2,'set')
    mput(x,'c',fd2)
  case [%f %f %f %t %f %f %f %f %f %f] then //ABT
    mseek(6259,fd2,'set')
    mput(x,'c',fd2)
  case [%f %f %f %f %t %f %f %f %f %f] then //ACT
    mseek(6177,fd2,'set')
    mput(x,'c',fd2)
  case [%f %f %f %f %f %t %f %f %f %f] then //BCT
    mseek(6095,fd2,'set')
    mput(x,'c',fd2)
  case [%f %f %f %f %f %f %t %f %f %f] then //ABC
    // não faz nada
  case [%f %f %f %f %f %f %f %t %f %f] then //AB
// 6925 é a posição da fase C, a chave que não queremos que opere.
    mseek(6259,fd2,'set')
    mput(x,'c',fd2)

```

```

// Nos curtos sem a terra, é preciso desconectar a chave da terra, colocando uma letra C (67) na linha da
impedância de terra do arquivo ATP
    mseek(2933,fd2,'set')
    mput([67],'c',fd2)
    case [%f %f %f %f %f %f %f %f %t %f] then //AC
    mseek(6177,fd2,'set')
    mput(x,'c',fd2)
// Nos curtos sem a terra, é preciso desconectar a chave da terra, colocando uma letra C (67) no arquivo
ATP
    mseek(2933,fd2,'set')
    mput([67],'c',fd2)
    case [%f %f %f %f %f %f %f %f %t] then //BC
    mseek(6095,fd2,'set')
    mput(x,'c',fd2)
// Nos curtos sem a terra, é preciso desconectar a chave da terra, colocando uma letra C (67) no arquivo
ATP
    mseek(2933,fd2,'set')
    mput([67],'c',fd2)
end

//aqui altera a parametrização de Z
x=[48 46 49 48]
for z=1:impedancias
    defineimp(1,z)=imp(z)==imp(k)
end
// defineang faz uma comparação entre o angulo do arquivo atual para verificar qual o instante
do curto (e consequentemente o ângulo) que deve ser armazenado no arquivo

select defineimp
case [%t %f %f %f %f] then x=[46 48 48 49 48] //1e-3 ohms
case [%f %t %f %f %f] then x=[48 48 48 48 49] //1 ohm
case [%f %f %t %f %f] then x=[48 48 48 48 50] //2 ohms
case [%f %f %f %t %f] then x=[48 48 48 48 53] //5 ohms
case [%f %f %f %f %t] then x=[48 48 48 49 48] //10 ohms
end
mseek(2192,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
mseek(2274,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
mseek(2356,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)

//aqui altera a parametrização dos locais
y=[107 109 109 109 109]

for z=1:locais
    defineloc(1,z)=loc(z)==loc(i)
end

select defineloc
case [%t %f %f] then y=[48 49 68 74 48] //01DJ0
mseek(6078,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6160,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6242,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)

```

```

case [%f %t %f %f %f %f %f %f %f %f %f %f] then y=[48 54 68 74 48] //06DJ0
mseek(6078,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6160,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6242,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %t %f %f %f %f %f %f %f %f %f] then y=[48 54 68 48 55] //06D07
mseek(6078,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6160,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6242,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %f %t %f %f %f %f %f %f %f %f] then y=[49 56 68 74 48] //18DJ0
mseek(6078,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6160,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6242,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %t %f %f %f %f %f %f %f] then y=[51 48 68 74 48] //30DJ0
mseek(6078,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6160,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6242,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %f %t %f %f %f %f %f %f] then y=[52 51 68 74 48] //43DJ0
mseek(6078,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6160,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6242,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %f %f %t %f %f %f %f %f] then y=[53 56 68 74 48] //58DJ0
mseek(6078,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6160,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6242,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %f %f %f %t %f %f %f %f %f] then y=[53 56 68 49 51] //58D13
mseek(6078,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6160,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6242,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %f %f %f %f %t %f %f %f %f] then y=[54 53 68 74 48] //65DJ0
mseek(6078,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6160,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6242,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %f %f %f %f %t %f %f %f %f] then y=[54 53 68 49 48] //65D10

```


Apêndice M- Arquivo de escrita para os 4200 casos do circuito DJ de 14 barras usando somente cabo 3/0AWG

```

clear;mclearerr;
b=chdir("c:\atp\dout\modeloAlmir");
realpath=cd("c:\atp\dout\modeloAlmir");
locais=14; angulos=6; impedancias = 5; tipos = 10; //sistema escolhido
//locais=14; angulos=6; impedancias=5; tipos=10; //dados máximos
loc=['01DJ0','06DJ0','06D07','18DJ0','30DJ0','43DJ0','58DJ0','58D13','65DJ0','65D10','65D18','76DJ0','86D
J0','97DJ0'];
ang=['000','030','045','090','135','150'];
imp=['1e-3','0001','0002','0005','0010'];
tip=['_AT','_BT','_CT','ABT','ACT','BCT','ABC','_AB','_AC','_BC']
modelo_ATP = sprintf('DJ-2017-30awg.atp');
//Montando o arquivo com extensão .bat
fd3 = mopen('Registros\simular_atp_ANN.bat', 'w');
mfprintf(fd3, 'ECHO OFF\n');
mfprintf(fd3, 'REM\n');
for i=1:locais
    for j=1:angulos
        for k=1:impedancias
            for l=1:tipos
                arquivo_ATP = sprintf('%s\%s%s%s%s%s.atp', 'Registros',loc(i),'ang',ang(j),'Z',imp(k),tip(l) );
                arquivo_1 = sprintf('%s%s%s%s%s%s.1', loc(i),'ang',ang(j),'Z',imp(k),tip(l) );

                //Armacenando na .bat
                mfprintf(fd3, 'tpbig disk %s%s%s%s%s.atp s -r\n', loc(i),'ang',ang(j),'Z',imp(k),tip(l));
                mfprintf(fd3, 'RENAME MODELS.1 %s\n', arquivo_1);
                mfprintf(fd3, '@if exist *.dbg del *.dbg\n');
                mfprintf(fd3, 'REM\n');
                fd1 = mopen(modelo_ATP,'r');
                fd2 = mopen(arquivo_ATP,'w');
                nL = 1;
                linha = mgetstr(80,fd1);
                mfprintf(fd2, linha);
                while meof(fd1)==0
                    nL = nL + 1;
                    linha = mgetstr(80,fd1);
                    mfprintf(fd2, '%s', linha);
                end
                //aqui altera a parametrização do ângulo
                x=[49 54 54];
                for z=1:angulos
                    defineang(1,z)=ang(z)==ang(j)
                end
                // defineang faz uma comparação entre o ângulo do arquivo atual para verificar qual o instante do curto
                (e conseqüentemente o ângulo) que deve ser armazenado no arquivo
                select defineang
                case [%t %f %f %f %f] then x=[49 54 54] // 000o
                //código ascii para o número, vai de 48 =0 até 57 = 9. São 3 valores porque o tempo tem 3 algarismos
                //49 54 54 = 0.0166s, 49 57 53 = 0.195s, e assim sucessivamente
                case [%f %t %f %f %f] then x=[49 56 48] //180 030o
                case [%f %f %t %f %f] then x=[49 56 55] //187 045o
                case [%f %f %f %t %f] then x=[50 48 56] //208 090o
                case [%f %f %f %f %t] then x=[50 51 48] //230 135o
                case [%f %f %f %f %f %t] then x=[50 51 56] //238 150o
                end
            end
        end
    end
end

```

```

mseek(6090,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
mseek(6172,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
mseek(6254,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
//aqui altera a parametrização de tipo
x=[57 46 57 57 57]
//código ascii para o número, vai de 48 =0 até 57 = 9. São 5 valores porque o tipo tem 5
caracteres
for z=1:tipos
    definetip(1,z)=tip(z)==tip(l)
end
select definetip
// Na definição do tipo, a ação mseek/mput substitui o tempo de abertura da chave para as fases que
não queremos que operem para o tempo de 9.999 segundos
case [%t %f %f %f %f %f %f %f %f %f] then //AT
mseek(6252,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
mseek(6170,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
case [%f %t %f %f %f %f %f %f %f %f] then //BT
mseek(6088,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
mseek(6252,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
case [%f %f %t %f %f %f %f %f %f %f] then //CT
mseek(6088,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
mseek(6170,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
case [%f %f %f %t %f %f %f %f %f %f] then //ABT
mseek(6252,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %t %f %f %f %f %f] then //ACT
mseek(6170,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %f %t %f %f %f %f] then //BCT
mseek(6088,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %f %f %t %f %f %f] then //ABC
// não faz nada
case [%f %f %f %f %f %f %f %t %f %f] then //AB
// 6925 é a posição da fase C, a chave que não queremos que opere.
mseek(6252,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
// Nos curtos sem a terra, é preciso desconectar a chave da terra, colocando uma letra C (67) na linha da
impedância de terra do arquivo ATP
mseek(2933,fd2,'set')
mput([67],'c',fd2)
case [%f %f %f %f %f %f %f %f %t %f] then //AC
mseek(6170,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
// Nos curtos sem a terra, é preciso desconectar a chave da terra, colocando uma letra C (67) no arquivo
ATP
mseek(2933,fd2,'set')
mput([67],'c',fd2)

```

```

    case [%f %f %f %f %f %f %f %f %f %f %t] then //BC
    mseek(6088,fd2,'set')
    mput(x,'c',fd2)
// Nos curtos sem a terra, é preciso desconectar a chave da terra, colocando uma letra C (67) no arquivo
ATP
    mseek(2933,fd2,'set')
    mput([67],'c',fd2)
end

//aqui altera a parametrização de Z
x=[48 46 49 48]
for z=1:impedancias
    defineimp(1,z)=imp(z)==imp(k)
end
// defineang faz uma comparação entre o angulo do arquivo atual para verificar qual o instante
do curto (e consequentemente o ângulo) que deve ser armazenado no arquivo

select defineimp
case [%t %f %f %f %f] then x=[46 48 48 49 48] //código ascii para o número, vai de 48 =0 até 57 =
9. São 4 valores porque o tempo de curto tem no máximo 4 algarismos. Este é 1e-3 ohms
case [%f %t %f %f %f] then x=[48 48 48 48 49]//1 ohm
case [%f %f %t %f %f] then x=[48 48 48 48 50]//2 ohms
case [%f %f %f %t %f] then x=[48 48 48 48 53]//5 ohms
case [%f %f %f %f %t] then x=[48 48 48 49 48]//10 ohms
end
mseek(2192,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
mseek(2274,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)
mseek(2356,fd2,'set')
mput(x,'c',fd2)

//aqui altera a parametrização dos locais
y=[107 109 109 109 109]

for z=1:locais
    defineloc(1,z)=loc(z)==loc(i)
end

select defineloc
case [%t %f %f] then y=[48 49 68 74 48] //01DJ0
mseek(6071,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6153,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6235,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
case [%f %t %f %f] then y=[48 54 68 74 48] //06DJ0
mseek(6071,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6153,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6235,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %t %f %f %f %f %f %f %f %f %f %f] then y=[48 54 68 48 55] //06D07
mseek(6071,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)

```

```

mseek(6153,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6235,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %f %t %f %f %f %f %f %f %f %f %f] then y=[49 56 68 74 48] //18DJ0
mseek(6071,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6153,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6235,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %t %f %f %f %f %f %f %f %f] then y=[51 48 68 74 48] //30DJ0
mseek(6071,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6153,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6235,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %f %t %f %f %f %f %f %f %f] then y=[52 51 68 74 48] //43DJ0
mseek(6071,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6153,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6235,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %f %f %t %f %f %f %f %f %f] then y=[53 56 68 74 48] //58DJ0
mseek(6071,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6153,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6235,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %f %f %f %t %f %f %f %f %f] then y=[53 56 68 49 51] //58D13
mseek(6071,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6153,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6235,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %f %f %f %f %t %f %f %f %f] then y=[54 53 68 74 48] //65DJ0
mseek(6071,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6153,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6235,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %f %f %f %f %t %f %f %f %f] then y=[54 53 68 49 48] //65D10
mseek(6071,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6153,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6235,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
case [%f %f %f %f %f %f %f %f %f %t %f %f %f] then y=[54 53 68 49 56] //65D18
mseek(6071,fd2,'set')
mput(y,'c',fd2)
mseek(6153,fd2,'set')

```



```

// Colocar o drive correto no início do arquivo a ser trabalhado
b=chdir("c:\atp\dout\modeloAlmir");
realpath=cd("c:\atp\dout\modeloAlmir");
// Stacksize aumenta até o limite máximo possível a quantidade de dados a sere usados
stacksize('max')
//abrir o arquivo tipo adf a ser lido com os dados da simulação
fd3 = mopen('resultados.1', 'w');
mfprintf(fd3, '%s%\n', 'arquivo_1', ' Class t_curto A1(z) A2(z) A3(z) Ag(z) D71(z) D72(z) D73(z) D7g(z)
D61(z) D62(z) D63(z) D6g(z) D51(z) D52(z) D53(z) D5g(z) D41(z) D42(z) D43(z) D4g(z) D31(z) D32(z) D33(z)
D3g(z) D21(z) D22(z) D23(z) D2g(z) D11(z) D12(z) D13(z) D1g(z) ' )
locais=5; angulos=4; impedancias = 3; tipos = 10; //sistema escolhido
//locais=5; angulos=1; impedancias = 1; tipos = 1; //dados para teste
loc=['B0004','B0005','B0006','B0006','B0008'];
ang=['090';'180';'270';'000'];
imp=['1e-4';'0010';'1000'];
tip=['_AT','_BT','_CT','ABT','ACT','BCT','ABC','_AB','_AC','_BC']
for i=1:locais
    for j=1:angulos
        for k=1:impedancias
            for l=1:tipos
                arquivo_1 = sprintf('Registros\\%s%s%s%s%s%.1', loc(i),'ang',ang(j),'Z',imp(k),tip(l) );
                //disp(arquivo_1)
                fd2 = mopen(arquivo_1,'r');
                //Usar a função fscanfMat permite ler todos os dados numéricos do arquivo,
                data_file = fscanfMat(arquivo_1);
                rows = size(data_file,'r');
                t = data_file(:,2); // Column 1
                V1 = data_file(:,3);
                V2 = data_file(:,4);
                V3 = data_file(:,5);
                I1 = data_file(:,6);
                I2 = data_file(:,7);
                I3 = data_file(:,8);
                Ig=I1+I2+I3

                //janela de leitura de dados: inicialização de dados
                a=0;// elementos para efetuar a detecção
                fator=8; //conversão entre o tamanho da janela e a da última wavelet. No caso, Djanela=4096 e
                Dwavelet 3 = 512
                Djanela = 4096
                z=0;n=0;
                threshold = 100e06;//atentar para o fato de que o threshold da sequência zero, a fase G, deve ser
                16e06, portanto dividir por 6 o valor de threshold
                thresholdg=threshold/6;
                comparado=[%f %f %f %f]
                y=z*Djanela;
                //o processamento de detecção deve estar incluído dentro deste while
                while y < rows-Djanela
                    z=z+1;
                    for n=1:Djanela
                        janela1(n)=I1(y+n)
                        janela2(n)=I2(y+n)
                        janela3(n)=I3(y+n)
                        janelag(n)=Ig(y+n)
                    end
                end
            end
        end
    end
end

```

//momento de processar e armazenar o dwt. Está sendo escolhido db4 pelo melhor desempenho (menor threshold), mas outras mother wavelets podem ser tentadas depois. Mostrar este processo comparativo de forma gráfica

//As letras A e D significam respectivamente Average e Detail. A segunda letra indica se é corrente (i) ou tensão (v) O primeiro algarismo é a fase correspondente do sinal original, 1, 2 ou 3, ou g (terra). O último algarismo indica o sequencial das wavelets.

```
[Ai11,Di11]=dwt(janela1,'db4');
[Ai12,Di12]=dwt(Ai11,'db4');
[Ai13,Di13]=dwt(Ai12,'db4');
[Ai14,Di14]=dwt(Ai13,'db4');
[Ai15,Di15]=dwt(Ai14,'db4');
[Ai16,Di16]=dwt(Ai15,'db4');
[Ai17,Di17]=dwt(Ai16,'db4');
[Ai21,Di21]=dwt(janela2,'db4');
[Ai22,Di22]=dwt(Ai21,'db4');
[Ai23,Di23]=dwt(Ai22,'db4');
[Ai24,Di24]=dwt(Ai23,'db4');
[Ai25,Di25]=dwt(Ai24,'db4');
[Ai26,Di26]=dwt(Ai25,'db4');
[Ai27,Di27]=dwt(Ai26,'db4');
[Ai31,Di31]=dwt(janela3,'db4');
[Ai32,Di32]=dwt(Ai31,'db4');
[Ai33,Di33]=dwt(Ai32,'db4');
[Ai34,Di34]=dwt(Ai33,'db4');
[Ai35,Di35]=dwt(Ai34,'db4');
[Ai36,Di36]=dwt(Ai35,'db4');
[Ai37,Di37]=dwt(Ai36,'db4');
[Aig1,Dig1]=dwt(janelag,'db4');
[Aig2,Dig2]=dwt(Aig1,'db4');
[Aig3,Dig3]=dwt(Aig2,'db4');
[Aig4,Dig4]=dwt(Aig3,'db4');
[Aig5,Dig5]=dwt(Aig4,'db4');
[Aig6,Dig6]=dwt(Aig5,'db4');
[Aig7,Dig7]=dwt(Aig6,'db4');
// a plotagem dos detalhes Dx3 serve apenas para acompanhar o processamento
// plot(Di13)
// plot(Di23)
// plot(Di33)
// plot(Dig3)
```

// Criando um vetor que computa a energia de um ciclo antes do curto e depois do curto. Djanela deve ter no mínimo 1/4 de ciclo.

```
A1(z)=sum(Ai17^2)
A2(z)=sum(Ai27^2)
A3(z)=sum(Ai37^2)
Ag(z)=sum(Aig7^2)
```

```
D71(z)=sum(Di17^2)
D72(z)=sum(Di27^2)
D73(z)=sum(Di37^2)
D7g(z)=sum(Dig7^2)
```

```
D61(z)=sum(Di16^2)
D62(z)=sum(Di26^2)
D63(z)=sum(Di36^2)
D6g(z)=sum(Dig6^2)
```

```

D51(z)=sum(Di15^2)
D52(z)=sum(Di25^2)
D53(z)=sum(Di35^2)
D5g(z)=sum(Dig5^2)

D41(z)=sum(Di14^2)
D42(z)=sum(Di24^2)
D43(z)=sum(Di34^2)
D4g(z)=sum(Dig4^2)

D31(z)=sum(Di13^2)
D32(z)=sum(Di23^2)
D33(z)=sum(Di33^2)
D3g(z)=sum(Dig3^2)

D21(z)=sum(Di12^2)
D22(z)=sum(Di22^2)
D23(z)=sum(Di32^2)
D2g(z)=sum(Dig2^2)

D11(z)=sum(Di11^2)
D12(z)=sum(Di21^2)
D13(z)=sum(Di31^2)
D1g(z)=sum(Dig1^2)
for n=fator:Djanela/fator
//Esta comparação avalia as 3 fases e compara com um limiar que indica se houve ou não curto-circuito
no sinal avaliado.
    compara=[abs(A1(z))>threshold abs(A2(z))>threshold abs(A3(z))>threshold abs(Ag(z))>thresholdg]
    if or(compara) then
        a = rows+1
    end

end // end do loop for de comparação

// No instante em que o curto circuito é detectado, usamos j para sair do loop while
if a>y then y=a
    else y=z*Djanela
end
//disp(z)
end //end do while de leitura wavelet e detecção da falha
//estabelecer um ciclo a partir daqui para medir a energia antes e depois do momento em que ocorreu
foi detectado
comparado = [abs(A1(z))>threshold abs(A2(z))>threshold abs(A3(z))>threshold abs(Ag(z))>thresholdg]
//O tempo de detecção é aproximado, com erro na casa dos milissegundos.
detecta=t(z*Djanela)
//disp('segundos', detecta, 'Instante do curto é ')
//A partir daqui se inicia a etapa de classificação do tipo do curto circuito. Usar outra variável ao invés
de "compara", pois o limiar de detecção entre as diferentes fases faltosas e as fases que não estão
faltando não está adequado.
select comparado
case [%t %t %t %t] then curto = "ABC"
case [%t %t %t %f] then curto = "ABC"
case [%t %t %f %f] then curto = "_AB"
case [%f %t %t %f] then curto = "_BC"
case [%t %f %t %f] then curto = "_AC"
case [%t %t %f %t] then curto = "ABT"

```



```

l2 = data_file(:,7);
l3 = data_file(:,8);
lg=l1+l2+l3

a=0;// elementos para efetuar a detecção
fator=8; //conversão entre o tamanho da janela e a da última wavelet. No caso, Djanela=4096 e
Dwavelet 3 = 512
Djanela = 256
Dleitura = 4096
z=0;n=0;
threshold = 4e5;//este limiar foi ajustado avaliando a menor das fases que teve curto, e precisa ser
calibrado com a maior das fases numa mudança de carga
thresholdg=threshold;//atentar para o fato de que o threshold da sequência zero, a fase G, pode ser
ajustado diferente do das fases
comparado=[%f %f %f %f]
y=z*Djanela;
//o processamento de detecção deve estar incluído dentro deste while
while y < rows-Djanela
    z=z+1;
    for n=1:Djanela
        janela1(n)=l1(y+n)
        janela2(n)=l2(y+n)
        janela3(n)=l3(y+n)
        janelag(n)=lg(y+n)
    end
    [Ai11,Di11]=dwt(janela1,'db4');
    [Ai21,Di21]=dwt(janela2,'db4');
    [Ai31,Di31]=dwt(janela3,'db4');
    [Aig1,Dig1]=dwt(janelag,'db4');

    A1(z)=sqrt(sum(Ai11.^2))
    A2(z)=sqrt(sum(Ai21.^2))
    A3(z)=sqrt(sum(Ai31.^2))
    Ag(z)=sqrt(sum(Aig1.^2))

    for n=fator:Djanela/fator
    //Esta comparação avalia as 3 fases e compara com um limiar que indica se houve ou não curto-circuito
    no sinal avaliado.
        compara=[abs(A1(z))>threshold abs(A2(z))>threshold abs(A3(z))>threshold abs(Ag(z))>thresholdg]
        if or(compara) then
            a = rows+1
        end

    end // end do loop for de comparação

    // No instante em que o curto circuito é detectado, usamos j para sair do loop while
    if a>y then y=a
        else y=z*Djanela
    end
    //disp(y)//mostra se o local do curto é o local previsto
end //end do while de leitura wavelet e detecção da falha

//estabelecer um ciclo a partir daqui para medir a energia antes e depois do momento em que ocorreu
foi detectado

comparado = [abs(A1(z))>threshold abs(A2(z))>threshold abs(A3(z))>threshold abs(Ag(z))>thresholdg]
//figure

```

```

//plot(A1)
//plot(A2)
//plot(A3)
//plot(Ag)
//O tempo de detecção é aproximado, com erro na casa dos milissegundos.
detecta=t(z*Djanela)
disp('segundos', detecta, 'Instante do curto é ')
curto="ABC"
//A partir daqui se inicia a etapa de classificação do tipo do curto circuito. Como o tempo perdido é
irrisório, não eliminamos do processamento, mas os resultados em geral tem sido errados e não são
utilizados para o processo de localização da falta
select comparado
case [%t %t %t %t] then curto = "ABC"
case [%t %t %t %f] then curto = "ABC"
case [%t %t %f %f] then curto = "_AB"
case [%f %t %t %f] then curto = "_BC"
case [%t %f %t %f] then curto = "_AC"
case [%t %t %f %t] then curto = "ABT"
case [%f %t %t %t] then curto = "BCT"
case [%t %f %t %t] then curto = "ACT"
case [%t %f %f %t] then curto = "_AT"
case [%f %t %f %t] then curto = "_BT"
case [%f %f %t %t] then curto = "_CT"
case [%f %f %f %f] then curto = "not"
case [%f %f %f %t] then curto = "_xT"
end
n=0;
y=(z-1)*Djanela;
for n=1:Dleitura
    leitura1(n)=I1(y+n)
    leitura2(n)=I2(y+n)
    leitura3(n)=I3(y+n)
    leiturag(n)=Ig(y+n)
end
[Ai11,Di11]=dwt(leitura1,'db4');
[Ai12,Di12]=dwt(Ai11,'db4');
[Ai13,Di13]=dwt(Ai12,'db4');
[Ai14,Di14]=dwt(Ai13,'db4');
[Ai15,Di15]=dwt(Ai14,'db4');
[Ai16,Di16]=dwt(Ai15,'db4');
[Ai17,Di17]=dwt(Ai16,'db4');
//[Ai18,Di18]=dwt(Ai17,'db4');
//[Ai19,Di19]=dwt(Ai18,'db4');
[Ai21,Di21]=dwt(leitura2,'db4');
[Ai22,Di22]=dwt(Ai21,'db4');
[Ai23,Di23]=dwt(Ai22,'db4');
[Ai24,Di24]=dwt(Ai23,'db4');
[Ai25,Di25]=dwt(Ai24,'db4');
[Ai26,Di26]=dwt(Ai25,'db4');
[Ai27,Di27]=dwt(Ai26,'db4');
//[Ai28,Di28]=dwt(Ai27,'db4');
//[Ai29,Di29]=dwt(Ai28,'db4');
[Ai31,Di31]=dwt(leitura3,'db4');
[Ai32,Di32]=dwt(Ai31,'db4');
[Ai33,Di33]=dwt(Ai32,'db4');
[Ai34,Di34]=dwt(Ai33,'db4');
[Ai35,Di35]=dwt(Ai34,'db4');

```



```

%20.9f %20.9f %20.9f %20.9f %20.9f %20.9f %20.9f\n', A1(z), A2(z), A3(z), Ag(z), D71(z), D72(z), D73(z),
D7g(z), D61(z), D62(z), D63(z), D6g(z), D51(z), D52(z), D53(z), D5g(z), D41(z), D42(z), D43(z), D4g(z),
D31(z), D32(z), D33(z), D3g(z), D21(z), D22(z), D23(z), D2g(z), D11(z), D12(z), D13(z), D1g(z) )
    // disp(curto, 'O curto é ')
    disp(arquivo_1)
    mclose(fd2)
    fprintf(fd4, '%s %s %s %s %s %s %5.5f %s\n', loc(i), 'ang', ang(j), 'Z', imp(k), tip(l), detecta, curto)
end
end
end
end
mclose(fd3)
mclose(fd4)

```

Apêndice P-Arquivo de leitura e processamento wavelet para o circuito DJ de 14 barras

```

clear("rows", "comparado", "detecta", "curto", "A1", "A2", "A3", "Ag")
clear; mclearerr;
b=chdir("c:\atp\dout\modeloAlmir");
realpath=cd("c:\atp\dout\modeloAlmir");
stacksize('max')
//abrir o arquivo tipo adf a ser lido com os dados da simulação
fd3 = mopen('2017-resultDJ.1', 'w');
fd4 = mopen('2017-titleDJ.1', 'w');
locais=14; angulos=6; impedancias = 5; tipos = 10; //sistema escolhido
//locais=14; angulos=6; impedancias=5; tipos=10; //dados máximos
loc=['01DJ0', '06DJ0', '06D07', '18DJ0', '30DJ0', '43DJ0', '58DJ0', '58D13', '65DJ0', '65D10', '65D18', '76DJ0', '86D
J0', '97DJ0'];
ang=['000'; '030'; '045'; '090'; '135'; '150'];
imp=['1e-3'; '0001'; '0002'; '0005'; '0010'];
tip=['_AT', '_BT', '_CT', 'ABT', 'ACT', 'BCT', 'ABC', '_AB', '_AC', '_BC']
for i=1:locais
    for j=1:angulos
        for k=1:impedancias
            for l=1:tipos
                arquivo_1 = sprintf('Registros\\%s%s%s%s%s.1', loc(i), 'ang', ang(j), 'Z', imp(k), tip(l) );
                //disp(arquivo_1)
                fd2 = mopen(arquivo_1, 'r');
                //Usar a função fscanMat permite ler todos os dados numéricos do arquivo,
                data_file = fscanfMat(arquivo_1);
                rows = size(data_file, 'r');
                t = data_file(:, 2); // Column 1
                V1 = data_file(:, 3);
                V2 = data_file(:, 4);
                V3 = data_file(:, 5);
                I1 = data_file(:, 6);
                I2 = data_file(:, 7);
                I3 = data_file(:, 8);
                Ig=I1+I2+I3

                //janela de leitura de dados: inicialização de dados
                a=0; // elementos para efetuar a detecção
                fator=8; //conversão entre o tamanho da janela e a da última wavelet. No caso, Djanela=4096 e
                Dwavelet 3 = 512
            end
        end
    end
end

```

```

Djanela = 256
Dleitura = 4096
z=0;n=0;
threshold = 2000;//este limiar foi ajustado avaliando a menor das fases que teve curto, e precisa ser
calibrado com a maior das fases numa mudança de carga
thresholdg=threshold;//atentar para o fato de que o threshold da sequência zero, a fase G, pode ser
ajustado diferente do das fases
comparado=[%f %f %f %f]
y=z*Djanela;
//o processamento de detecção deve estar incluído dentro deste while
while y < rows-Djanela
    z=z+1;
    for n=1:Djanela
        janela1(n)=I1(y+n)
        janela2(n)=I2(y+n)
        janela3(n)=I3(y+n)
        janelag(n)=Ig(y+n)
    end
    //momento de processar e armazenar o dwt. Está sendo escolhido db4 pelo melhor desempenho
    (menor threshold), mas outras mother wavelets podem ser tentadas depois. Mostrar este processo
    comparativo de forma gráfica
    //As letras A e D significam respectivamente Average e Detail. A segunda letra indica se é corrente (i) ou
    tensão (v) O primeiro algarismo é a fase correspondente do sinal original, 1, 2 ou 3, ou g (terra). O
    último algarismo indica o sequencial das wavelets.
    [Ai11,Di11]=dwt(janela1,'db4');
    [Ai21,Di21]=dwt(janela2,'db4');
    [Ai31,Di31]=dwt(janela3,'db4');
    [Aig1,Dig1]=dwt(janelag,'db4');

    A1(z)=sqrt(sum(Ai11.^2))
    A2(z)=sqrt(sum(Ai21.^2))
    A3(z)=sqrt(sum(Ai31.^2))
    Ag(z)=sqrt(sum(Aig1.^2))
    //disp([A1(z) A2(z) A3(z) Ag(z)])
    for n=fator:Djanela/fator
    //Esta comparação avalia as 3 fases e compara com um limiar que indica se houve ou não curto-circuito
    no sinal avaliado.
        compara=[abs(A1(z))>threshold abs(A2(z))>threshold abs(A3(z))>threshold abs(Ag(z))>thresholdg]
        if or(compara) then
            a = rows+1
        end

    end // end do loop for de comparação

    // No instante em que o curto circuito é detectado, usamos j para sair do loop while
    if a>y then y=a
        else y=z*Djanela
    end
    //disp(y)//mostra se o local do curto é o local previsto
end //end do while de leitura wavelet e detecção da falha

//estabelecer um ciclo a partir daqui para medir a energia antes e depois do momento em que ocorreu
foi detectado

comparado = [abs(A1(z))>threshold abs(A2(z))>threshold abs(A3(z))>threshold abs(Ag(z))>thresholdg]
//O tempo de detecção é aproximado, com erro na casa dos milissegundos.
detecta=t(z*Djanela)

```

```

disp('segundos', detecta, 'Instante do curto é ')
curto="ABC"
//A partir daqui se inicia a etapa de classificação do tipo do curto circuito. Como o tempo perdido é
irrisório, não eliminamos do processamento, mas os resultados em geral tem sido errados e não são
utilizados para o processo de localização da falta
select comparado
case [%t %t %t %t] then curto = "ABC"
case [%t %t %t %f] then curto = "ABC"
case [%t %t %f %f] then curto = "_AB"
case [%f %t %t %f] then curto = "_BC"
case [%t %f %t %f] then curto = "_AC"
case [%t %t %f %t] then curto = "ABT"
case [%f %t %t %t] then curto = "BCT"
case [%t %f %t %t] then curto = "ACT"
case [%t %f %f %t] then curto = "_AT"
case [%f %t %f %t] then curto = "_BT"
case [%f %f %t %t] then curto = "_CT"
case [%f %f %f %f] then curto = "not"
case [%f %f %f %t] then curto = "_xT"
end
n=0;
if z==234 then y=(z-20)*Djanela;
else y=(z-1)*Djanela; end

//Aqui passa a se processar a leitura completa da transformada wavelet, já identificando claramente a
detecção da falta e posicionando o apontador do arquivo para poder ler um ciclo de onda inteiro do
sinal logo após o curto
for n=1:Dleitura
    leitura1(n)=I1(y+n)
    leitura2(n)=I2(y+n)
    leitura3(n)=I3(y+n)
    leiturag(n)=Ig(y+n)
end
[Ai11,Di11]=dwt(leitura1,'db4');
[Ai12,Di12]=dwt(Ai11,'db4');
[Ai13,Di13]=dwt(Ai12,'db4');
[Ai14,Di14]=dwt(Ai13,'db4');
[Ai15,Di15]=dwt(Ai14,'db4');
[Ai16,Di16]=dwt(Ai15,'db4');
[Ai17,Di17]=dwt(Ai16,'db4');
//[Ai18,Di18]=dwt(Ai17,'db4');
//[Ai19,Di19]=dwt(Ai18,'db4');
[Ai21,Di21]=dwt(leitura2,'db4');
[Ai22,Di22]=dwt(Ai21,'db4');
[Ai23,Di23]=dwt(Ai22,'db4');
[Ai24,Di24]=dwt(Ai23,'db4');
[Ai25,Di25]=dwt(Ai24,'db4');
[Ai26,Di26]=dwt(Ai25,'db4');
[Ai27,Di27]=dwt(Ai26,'db4');
//[Ai28,Di28]=dwt(Ai27,'db4');
//[Ai29,Di29]=dwt(Ai28,'db4');
[Ai31,Di31]=dwt(leitura3,'db4');
[Ai32,Di32]=dwt(Ai31,'db4');
[Ai33,Di33]=dwt(Ai32,'db4');
[Ai34,Di34]=dwt(Ai33,'db4');
[Ai35,Di35]=dwt(Ai34,'db4');
[Ai36,Di36]=dwt(Ai35,'db4');

```



```

// disp(curto, 'O curto é ')
disp(arquivo_1)
mclose(fd2)
mfprintf(fd4, '%s %s %s %s %s %s %5.5f %s\n', loc(i), 'ang', ang(j), 'Z', imp(k), tip(l), detecta, curto)
end
end
end
end
mclose(fd3)
mclose(fd4)
mclose all

```

Apêndice Q-Arquivo de processamento da rede neural para localização de distância no circuito fictício de 19 barras

//Este arquivo processa ANN.sce está dimensionado para ler os resultados das energias das wavelets armazenadas no arquivo resultANN.1, e efetuar o treinamento (treino) e a verificação (teste) da rede neural proposta para identificar o local da ocorrência da falta.

//O arquivo processa -b faz a leitura alternada dos dados de entrada (1 dado de treino em cada 3 dados) e em seguida processa a rede neural de modo a termos 6 ou 10 saídas e 19 opções de entrada (todas as barras comparecem com dados para treino)

```

// O sistema é montando em clusters,
// limpar todas as variáveis utilizadas
clear;mclearerr;
// Colocar o drive correto no início do arquivo a ser trabalhado
b=chdir("c:\atp\dout\modeloAlmir");
realpath=cd("c:\atp\dout\modeloAlmir");
// Stacksize aumenta até o limite máximo possível a quantidade de dados a sere usados
stacksize('max')
//Usar a função fscanfMat permite ler todos os dados numéricos do arquivo,
l=0;k=1;j=1;
passo = 1;
tamanho_WT=32;
total_dados = 5700// 342 para testes, 2280 ou 5700, a depender dos parâmetros analisados
ciclo = total_dados/19;//No normal, 120 para 2280 simulações, 300 para 5700 simulações,
total_dados/#barras
saida = 12;//como a precisão é de 1km, para este circuito 12 km é a precisão máxima. Precisa ser
alterado para cada circuito
lp=[0.005,1e-5];//taxa de aprendizado e erro
epochs = 30000;//na versão final, usar 30000 épocas
//montagem de xtreino depende da variável saida
fmt=['%20lg']
data_file = fscanfMat('2017-result.1',fmt);
for i=1:total_dados//tamanho de data_file é 2280 x 40, ou 5700 ou 3420 para testes
    for k=1:tamanho_WT
        maximo(k)=max(data_file(:,k))
    end
end
end

meio= [25 20];//A escolha desta topologia de rede neural foi empírica, depois de diversas tentativas
com camadas únicas, duplas e triplas este modelo obteve a melhor precisão com o menor custo
temporal

l=0;
N=[tamanho_WT meio saida];//estrutura de neurônios da rede neural, topologia
for i=1:1:19 //i é a contagem das barras

```

```

    for j=(1+ciclo*(i-1)):3*passo:(ciclo*i)//como o conjunto de dados simulados para cada barra é 1
    ciclo, esse intervalo relaciona as linhas que estão presas aos dados da barra i
        l=l+1;
        for k=1:tamanho_WT //São os dados de wavelet, removemos o cabeçalho e o nome de cada
barra
            xtreino(k,l) = data_file(j,k)/maximo(k);
        end
    end //As matrizes de entrada não se importam com as saídas correspondentes, esta etapa é
trabalho do treinamento
end //end do while de leitura do arquivo resultANN.1 para treino
l=0;//zerar l para montar a matriz xtreino
for i=1:1:19 //i é a contagem das barras, sendo de 2 em 2 para fins de teste/verificação
    for j=(1+ciclo*(i-1)):passo:(ciclo*i)//como o conjunto de dados simulados para cada barra é 120,
esse intervalo relaciona as linhas que estão presas aos dados da barra i
        l=l+1;
        for k=1:tamanho_WT //São 32 dados de wavelet, removemos o cabeçalho e o nome de cada
barra
            xtteste(k,l) = data_file(j,k)/maximo(k); // Column 1
        end
    end
end //end do while de leitura do arquivo resultANN.1

```

// Este é a preparação para montar a matriz de verificação (teste). Serão lidas as colunas pares do arquivo, e coletados os dados das colunas 1 a 32

//montagem da matriz de resultados esperados

//essa é a matriz treino para rede com 12 km

```
treino=[1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
```

```
    0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
```

```
    0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
```

```
    0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0;
```

```
    0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0;
```

```
    0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0;
```

```
    0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0;
```

```
    0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0;
```

```
    0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0;
```

```
    0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0;
```

```
    0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0;
```

```
    0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1;
```

```
    0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0;
```

```
    0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0;
```

```
    0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0;
```

```
    0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0;
```

```
    0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0;
```

```
    0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0];
```

```
ltreino=19
```

```
for i=1:1:ltreino
```

```
    for j=(1+ciclo*(i-1)/3/passo):passo:(ciclo*i)/3/passo//O numeral 3 representa aqui a redução para que
o valor da matriz ytreino iguale os dados de treino
```

```
        for k=1:1:saida
```

```
            ytreino(k,j) = treino(i,k); // Column 1
```

```
        end
```

```
    end
```

```
end
```

```
exec('C:\Users\cxi7\Documents\Programas\Scilab\ANN_Toolbox\loader.sce', -1)
```

```
W = ann_FF_init(N);
```

```

W = ann_FF_Std_batch(xtreino,ytreino,N,W,lp,epochs);
// Há duas opções para a função ANN, a online, que treina a cada dado apresentado, e a batch, que
treina avaliando uma média dos dados apresentados. A diferença de velocidade é da ordem de 6 vezes
mais rápido com o batch, e não foi observado diferenças relevantes quanto à qualidade do treinamento
//disp(W)
//disp(y)
ztreino = ann_FF_run(xtreino,N,W);
disp(ztreino)
g=size(ztreino)
for i=1:saida
    for k=1:g(2)
        if(ztreino(i,k)>0.5) then mm(i,k)=1;
        else mm(i,k)=0; end
    end
end
z = ann_FF_run(xteste,N,W);
g=size(z)
for i=1:saida
    for k=1:g(2)
        if(z(i,k)>0.5) then m(i,k)=1;
        else m(i,k)=0;
        end
    end
end
end

fprintfMat('respostaAA-ytreino.1',ytreino);
fprintfMat('respostaAA-ztreino.1',ztreino);
fprintfMat('respostaAA-mtreino.1',mm);
fprintfMat('respostaAA-zteste.1',z);
fprintfMat('respostaAA-mteste.1',m);

```

Apêndice R-Arquivo de processamento da rede neural para localização de ramo em falta no circuito fictício de 19 barras

```

clear;mclearerr;
b=chdir("c:\atp\dout\modeloAlmir");
realpath=cd("c:\atp\dout\modeloAlmir");
stacksize('max')
l=0;k=1;j=1;
passo = 1;
tamanho_WT=32;
total_dados = 5700// 342 para testes, 2280 ou 5700, a depender dos parâmetros analisados
ciclo = total_dados/19;//No normal, 120 para 2280 simulações, 300 para 5700 simulações,
total_dados/#barras
saida = 6;//saída podem ser 6, 10 ou 19, dependendo do método. Após a comparação de resultados,
definiu-se como saída fixa ==6, mas deixamos o texto de opções neste arquivo porque o caminho mais
demorado é o treinamento da ANN.
lp=[0.005,1e-5];//taxa de aprendizado e erro
epochs = 30000;//na versão final, usar 30000 épocas
//montagem de xtreino depende da variável saida
fmt=['%20lg']
data_file = fscanfMat('2017-result.1',fmt);
for i=1:total_dados//tamanho de data_file é 2280 x 40, ou 5700 ou 3420 para testes
    for k=1:tamanho_WT
        maximo(k)=max(data_file(:,k))
    end
end
end

```

```

meio= [25 20];//Para 6 e 10 saídas, usar 100. Para 19 saídas, usar 200
N=[tamanho_WT meio saida];//estrutura de neurônios da rede neural, topologia
if saida==6 then
    for i=1:1:19 //i é a contagem das barras
        for j=(1+ciclo*(i-1)):3*passo:(ciclo*i)//como o conjunto de dados simulados para cada barra é 1
            ciclo, esse intervalo relaciona as linhas que estão presas aos dados da barra i
            l=l+1;
            for k=1:tamanho_WT //São os dados de wavelet, removemos o cabeçalho e o nome de cada
                barra
                    xtreino(k,l) = data_file(j,k)/maximo(k);
                end
            end //As matrizes de entrada não se importam com as saídas correspondentes, esta etapa é
                trabalho do treinamento
            end //end do while de leitura do arquivo resultANN.1 para treino
            l=0;//zerar l para montar a matriz xtreino
            for i=1:1:19 //i é a contagem das barras, sendo de 2 em 2 para fins de teste/verificação
                for j=(1+ciclo*(i-1)):passo:(ciclo*i)//como o conjunto de dados simulados para cada barra é 120,
                    esse intervalo relaciona as linhas que estão presas aos dados da barra i
                    l=l+1;
                    for k=1:tamanho_WT //São 32 dados de wavelet, removemos o cabeçalho e o nome de cada
                        barra
                            xtteste(k,l) = data_file(j,k)/maximo(k); // Column 1
                        end
                    end
                end //end do while de leitura do arquivo resultANN.1
            elseif saida==10
                for i=1:1:19 //i é a contagem das barras,
                    for j=(1+ciclo*(i-1)):3*passo:(ciclo*i)//como o conjunto de dados simulados para cada barra é
                        definido pelo passo, esse intervalo relaciona as linhas que estão presas aos dados da barra i
                        l=l+1;
                        for k=1:tamanho_WT //São X dados de wavelet, removemos o cabeçalho e o nome de cada
                            barra
                                xtreino(k,l) = data_file(j,k)/maximo(k);
                            end
                        end //As matrizes de entrada não se importam com as saídas correspondentes, esta etapa é
                            trabalho do treinamento
                        end //end do while de leitura do arquivo resultANN.1 para treino
                        l=0;//zerar l para montar a matriz xtreino
                        for i=1:1:19 //i é a contagem das barras, sendo de 2 em 2 para fins de teste/verificação
                            for j=(1+ciclo*(i-1)):passo:(ciclo*i)//como o conjunto de dados simulados para cada barra é 120,
                                esse intervalo relaciona as linhas que estão presas aos dados da barra i
                                l=l+1;
                                for k=1:tamanho_WT //São 32 dados de wavelet, removemos o cabeçalho e o nome de cada
                                    barra
                                        xtteste(k,l) = data_file(j,k)/maximo(k); // Column 1
                                    end
                                end
                            end //end do while de leitura do arquivo resultANN.1
                        else
                            for i=1:1:19 //i é a contagem das barras, sendo de 2 em 2 para fins de treino
                                for j=(1+ciclo*(i-1)):3*passo:(ciclo*i)//como o conjunto de dados simulados para cada barra é
                                    120, esse intervalo relaciona as linhas que estão presas aos dados da barra i
                                    l=l+1;
                                    for k=1:tamanho_WT //São 32 dados de wavelet, removemos o cabeçalho e o nome de cada
                                        barra
                                            xtreino(k,l) = data_file(j,k)/maximo(k);
                                        end
                                    end
                                end
                            end
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end

```

```

        end //As matrizes de entrada não se importam com as saídas correspondentes, esta etapa é
trabalho do treinamento
    end //end do while de leitura do arquivo resultANN.1 para treino
    l=0;//zerar l para montar a matriz xtreste
    for i=1:1:19 //i é a contagem das barras, sendo de 2 em 2 para fins de teste/verificação
        for j=(1+ciclo*(i-1)):passo:(ciclo*i)//como o conjunto de dados simulados para cada barra é 120,
esse intervalo relaciona as linhas que estão presas aos dados da barra i
            l=l+1;
            for k=1:tamanho_WT //São 32 dados de wavelet, removemos o cabeçalho e o nome de cada
barra
                xtteste(k,l) = data_file(j,k)/maximo(k); // Column 1
            end
        end
    end //end do while de leitura do arquivo resultANN.1
end
// Este é a preparação para montar a matriz de verificação (teste). Serão lidas as colunas pares do
arquivo, e coletados os dados das colunas 1 a 32
//montagem da matriz de resultados esperados
//essa é a matriz treino para 6 saídas
treino6=[1 1 0 0 0 0;
1 1 0 0 0 0;
0 1 0 0 0 0;
0 1 1 0 0 0;
0 1 1 0 0 0;
0 1 1 0 0 0;
0 0 1 0 0 0;
0 0 1 1 0 0;
0 0 1 1 0 0;
0 0 1 1 0 0;
0 0 0 1 0 0;
0 1 0 0 1 0;
0 1 0 0 1 0;
0 1 0 0 1 0;
0 0 0 0 1 0;
0 0 1 0 0 1;
0 0 1 0 0 1;
0 0 0 0 1];
//essa é a matriz treino para 10 saídas
treino10=[1 1 0 0 0 0 0 0 0 0;
0 1 0 0 0 0 0 0 0 0;
0 1 1 0 0 0 0 0 0 0;
0 0 1 0 0 0 0 0 0 0;
0 0 1 1 0 0 0 0 0 0;
0 0 0 1 0 0 0 0 0 0;
0 0 0 1 1 0 0 0 0 0;
0 0 0 0 1 0 0 0 0 0;
0 0 0 0 1 1 0 0 0 0;
0 0 0 0 0 1 0 0 0 0;
0 0 0 0 0 1 1 0 0 0;
0 0 1 0 0 0 0 1 0 0;
0 0 0 0 0 0 1 0 0 0;
0 0 0 0 0 0 1 1 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 1 0 0;
0 0 0 0 1 0 0 0 0 1;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1];

```

```

0 0 0 0 0 0 0 0 0 1];
treino19=[1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1];
//A matriz treino deve ser adequada para cada caso, 6, 10 ou 19 saídas
if saida==6 then treino=treino6;ltreino=19;
elseif saida==10 then treino=treino10;ltreino=19;
else treino=treino19;ltreino=19;
end
for i=1:1:ltreino
for j=(1+ciclo*(i-1)/3/passo):passo:(ciclo*i)/3/passo//O numeral 3 representa aqui a redução para que
o valor da matriz ytreino iguale os dados de treino
for k=1:1:saida
ytreino(k,j) = treino(i,k); // Column 1
end
end
end
exec('C:\Users\cxi7\Documents\Programas\Scilab\ANN_Toolbox\loader.sce', -1)

W = ann_FF_init(N);
W = ann_FF_Std_batch(xtreino,ytreino,N,W,lp,epochs);
ztreino = ann_FF_run(xtreino,N,W);
g=size(ztreino)
for i=1:saida
for k=1:g(2)
if(ztreino(i,k)>0.5) then mm(i,k)=1; else mm(i,k)=0; end
end
end
end
z = ann_FF_run(xteste,N,W);
g=size(z)
for i=1:saida
for k=1:g(2)
if(z(i,k)>0.5) then m(i,k)=1;
else m(i,k)=0;
end
end
end
end
disp(m)
fprintfMat('respostaAA-ytreino.1',ytreino);
fprintfMat('respostaAA-ztreino.1',ztreino);
fprintfMat('respostaAA-mtreino.1',mm);

```

```
fprintfMat('respostaAA-zteste.1',z);
fprintfMat('respostaAA-mteste.1',m);
```

Apêndice S-Arquivo de processamento da rede neural para localização de distância no circuito DJ de 14 barras

```
clear;mclearerr;
b=chdir('c:\atp\dout\modeloAlmir');
realpath=cd('c:\atp\dout\modeloAlmir');
stacksize('max')
l=0;k=1;j=1;
passo = 1;
tamanho_WT=32;
barras = 14;
total_dados = 4200// 342 para testes, 2280 ou 5700, a depender dos parâmetros analisados
ciclo = total_dados/barras;//No normal, 120 para 2280 simulações, 300 para 5700 simulações,
total_dados/#barras
meio= [25 20]);//como temos mais saídas diferentes neste caso, por precaução está sendo aumentado o
número de neurônios das camadas ocultas
saida = 10;//como a precisão é de 1km, para este circuito 12 km é a precisão máxima. Precisa ser
alterado para cada circuito
lp=[0.001,1e-5]);//taxa de aprendizado e erro
epochs = 80000;//na versão final, usar 80000 épocas
coef=1/8; //coeficiente para modificar os parâmetros dos sinais, aplicando uma raiz de expoente par de
modo a nivelar as energias wavelet. Deve ser uma fração de numerador 1 e denominador par.
fmt=['%20lg']
data_file = fscanfMat('2017-resultDJ.1',fmt);
// Este é a preparação para montar a matriz de treinamento. Serão lidas as colunas ímpares do arquivo,
e coletados os dados das colunas 1 a 32
for i=1:total_dados
    for k=1:tamanho_WT
        maximo(k)=max(data_file(:,k))
    end
end
l=0;
N=[tamanho_WT meio saida]);//estrutura de neurônios da rede neural, topologia
for i=1:1:barras //i é a contagem das barras
    for j=(1+ciclo*(i-1)):3*passo:(ciclo*i)//como o conjunto de dados simulados para cada barra é 1
ciclo, esse intervalo relaciona as linhas que estão presas aos dados da barra i
        l=l+1;
        for k=1:tamanho_WT //São os dados de wavelet, removemos o cabeçalho e o nome de cada
barra
            xtreno(k,l) = (data_file(j,k)/maximo(k))^coef;
        end
    end //As matrizes de entrada não se importam com as saídas correspondentes, esta etapa é
trabalho do treinamento
end //end do while de leitura do arquivo resultANN.1 para treino
l=0;//zerar l para montar a matriz xtreste
for i=1:1:barras //i é a contagem das barras, sendo de 2 em 2 para fins de teste/verificação
    for j=(1+ciclo*(i-1)):passo:(ciclo*i)//como o conjunto de dados simulados para cada barra é 120,
esse intervalo relaciona as linhas que estão presas aos dados da barra i
        l=l+1;
        for k=1:tamanho_WT //São 32 dados de wavelet, removemos o cabeçalho e o nome de cada
barra
            xtteste(k,l) = (data_file(j,k)/maximo(k))^coef; // Column 1
        end
    end
end
```

```

end //end do while de leitura do arquivo resultANN.1

//montagem da matriz de resultados esperados
//essa é a matriz treino para rede DJ. As distâncias estão em km
//0 a 9km de 1 em 1 km
treino=[1 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
        0 1 0 0 0 0 0 0 0 0;
        0 0 1 0 0 0 0 0 0 0;
        0 0 1 0 0 0 0 0 0 0;
        0 0 0 1 0 0 0 0 0 0;
        0 0 0 0 1 0 0 0 0 0;
        0 0 0 0 0 1 0 0 0 0;
        0 0 0 0 0 0 1 0 0 0;
        0 0 0 0 0 0 1 0 0 0;
        0 0 0 0 0 0 1 0 0 0;
        0 0 0 0 0 0 0 1 0 0;
        0 0 0 0 0 0 0 1 0 0;
        0 0 0 0 0 0 0 1 0 0;
        0 0 0 0 0 0 0 0 1 0;
        0 0 0 0 0 0 0 0 1 0;
        0 0 0 0 0 0 0 0 0 1];

ltreino=barras
for i=1:1:ltreino
    for j=(1+ciclo*(i-1)/3/passo):passo:(ciclo*i)/3/passo//O numeral 3 representa aqui a redução para que
o valor da matriz ytreino iguale os dados de treino
        for k=1:1:saida
            ytreino(k,j) = treino(i,k);
        end
    end
end
for i=1:1:ltreino
    for j=(1+ciclo*(i-1)/passo):passo:(ciclo*i)/passo
        for k=1:1:saida
            yteste(k,j) = treino(i,k);
        end
    end
end
exec('C:\Users\cxi7\Documents\Programas\Scilab\ANN_Toolbox\loader.sce', -1)

W = ann_FF_init(N);
W = ann_FF_Std_batch(xtreino,ytreino,N,W,lp,epochs);
ztreino = ann_FF_run(xtreino,N,W);
disp(ztreino)
g=size(ztreino)
for i=1:saida
    for k=1:g(2)
        if(ztreino(i,k)>0.5) then mm(i,k)=1;
        else mm(i,k)=0; end
    end
end
disp(ytreino)
disp(mm)
z = ann_FF_run(xteste,N,W);
g=size(z)
for i=1:saida
    for k=1:g(2)
        if(z(i,k)>0.5) then m(i,k)=1;
        else m(i,k)=0;
    end
end

```

```

    end
  end
end
fprintfMat('DJdist-ytreino.1',ytreino);
fprintfMat('DJdist-ztreino.1',ztreino);
fprintfMat('DJdist-mtreino.1',mm);
fprintfMat('DJdist-yteste.1',yteste);
fprintfMat('DJdist-zteste.1',z);
fprintfMat('DJdist-mteste.1',m);

```

Apêndice T- Arquivo de processamento da rede neural para localização de ramo em falta no circuito DJ de 14 barras

```

clear;mclearerr;
b=chdir("c:\atp\dout\modeloAlmir");
realpath=cd("c:\atp\dout\modeloAlmir");
stacksize('max')
l=0;k=1;j=1;
passo = 1;
barras = 14;
tamanho_WT=32;
total_dados = 4200//
ciclo = total_dados/barras;//
meio= [25 20];//
saida = 3;//
lp=[1e-3,1e-5];//taxa de aprendizado e erro
epochs = 80000;//na versão final, usar 80000 épocas
coef=1/8; //coeficiente para modificar os parâmetros dos sinais, aplicando uma raiz de expoente par de modo a nivelar as energias wavelet. Deve ser uma fração de numerador 1 e denominador par.
fmt=['%20lg']
data_file = fscanfMat('2017-resultDJ.1',fmt);
for i=1:total_dados
    for k=1:tamanho_WT
        maximo(k)=max(data_file(:,k))
    end
end
N=[tamanho_WT meio saida];//estrutura de neurônios da rede neural, topologia
for i=1:1:barras //i é a contagem das barras
    for j=(1+ciclo*(i-1)):3*passo:(ciclo*i)//como o conjunto de dados simulados para cada barra é 1 ciclo, esse intervalo relaciona as linhas que estão presas aos dados da barra i
        l=l+1;
        for k=1:tamanho_WT //São os dados de wavelet, removemos o cabeçalho e o nome de cada barra
            xtreinooriginal(k,l) = (data_file(j,k)/maximo(k));
            xtreino(k,l) = (data_file(j,k)/maximo(k))^coef;
        end
    end //As matrizes de entrada não se importam com as saídas correspondentes, esta etapa é trabalho do treinamento
end //end do while de leitura do arquivo resultANN.1 para treino
l=0;//zerar l para montar a matriz xteste
for i=1:1:barras //i é a contagem das barras, sendo de 2 em 2 para fins de teste/verificação
    for j=(1+ciclo*(i-1)):passo:(ciclo*i)//como o conjunto de dados simulados para cada barra é 120, esse intervalo relaciona as linhas que estão presas aos dados da barra i
        l=l+1;
        for k=1:tamanho_WT //São 32 dados de wavelet, removemos o cabeçalho e o nome de cada barra
            xtesteoriginal(k,l) = (data_file(j,k)/maximo(k));

```

```

        xteste(k,l) = (data_file(j,k)/maximo(k))^coef; // Column 1
    end
end
end //end do while de leitura do arquivo resultANN.1
// Este é a preparação para montar a matriz de verificação (teste). Serão lidas as colunas pares do
arquivo, e coletados os dados das colunas 1 a 32
//montagem da matriz de resultados esperados
//Cada coluna na matriz treino representa os nós abaixo:
// 06D07 58D13 65D1X
// 0 significa que o ramo foi ativado, 1 significa que não foi ativado. Nós no tronco do alimentador deve
ter resultado 1 1 1
treino=[1 1 1;
        1 1 1;
        0 1 1;
        1 1 1;
        1 1 1;
        1 1 1;
        1 1 1;
        1 0 1;
        1 1 1;
        1 1 0;
        1 1 0;
        1 1 1;
        1 1 1;
        1 1 1];
ltreino=barras
for i=1:1:ltreino
    for j=(1+ciclo*(i-1)/3/passo):passo:(ciclo*i)/3/passo//O numeral 3 representa aqui a redução para que
o valor da matriz ytreino seja um terço do total de dados
        for k=1:1:saida
            ytreino(k,j) = treino(i,k);
        end
    end
end
for i=1:1:ltreino
    for j=(1+ciclo*(i-1)/passo):passo:(ciclo*i)/passo//Verificar se no começo tem 3 e depois não tem
        for k=1:1:saida
            yteste(k,j) = treino(i,k);
        end
    end
end
exec('C:\Users\cxi7\Documents\Programas\Scilab\ANN_Toolbox\loader.sce', -1)

W = ann_FF_init(N);
W = ann_FF_Std_batch(xtreino,ytreino,N,W,lp,epochs);
ztreino = ann_FF_run(xtreino,N,W);
disp(ztreino)
g=size(ztreino)
for i=1:saida
    for k=1:g(2)
        if(ztreino(i,k)>0.5) then mm(i,k)=1; else mm(i,k)=0; end
    end
end
disp(ytreino)
disp(mm)
z = ann_FF_run(xteste,N,W);
g=size(z)

```

```

for i=1:saida
    for k=1:g(2)
        if(z(i,k)>0.5) then m(i,k)=1;
        else m(i,k)=0;
        end
    end
end

fprintfMat('DJbranch-ytreino.1',ytreino);
fprintfMat('DJbranch-ztreino.1',ztreino);
fprintfMat('DJbranch-mtreino.1',mm);
fprintfMat('DJbranch-esperado.1',yteste);
fprintfMat('DJbranch-zteste.1',z);
fprintfMat('DJbranch-mteste.1',m);

```

Apêndice U-Arquivo de processamento da rede neural para localização de ramo no circuito DJ de 14 barras analisando somente faltas fase-terra

```

clear;mclearerr;
b=chdir("c:\atp\dout\modeloAlmir");
realpath=cd("c:\atp\dout\modeloAlmir");
stacksize('max')
l=0;k=1;j=1;
passo = 1;
tamanho_WT=32;
barras = 14;
total_dados = 4200// 342 para testes, 2280 ou 5700, a depender dos parâmetros analisados
ciclo = 3*total_dados/barras/10;//
meio= [25 20]);//como temos mais saídas diferentes neste caso, por precaução está sendo aumentado o
número de neurônios das camadas ocultas
saida = 3;//como a precisão é de 1km, para este circuito 12 km é a precisão máxima. Precisa ser alterado
para cada circuito
lp=[0.001,1e-5]);//taxa de aprendizado e erro
epochs = 240000;//na versão final, usar 40000 épocas
coef=1/32; //coeficiente para modificar os parâmetros dos sinais, aplicando uma raiz de expoente par
de modo a nivelar as energias wavelet. Deve ser uma fração de numerador 1 e denominador par.
//montagem de xtreino depende da variável saida
fmt=['%20lg']
data_file = fscanfMat('2017-resultDJ.1',fmt);
for i=1:total_dados
    for k=1:tamanho_WT
        maximo(k)=max(data_file(:,k))
    end
end
l=0;
N=[tamanho_WT meio saida]);//estrutura de neurônios da rede neural, topologia
lo = 1;
for l=1:1:total_dados //i é a contagem das barras, sendo de 2 em 2 para fins de teste/verificação
    if and([pmodulo(l,10)>=1 pmodulo(l,10)<=3]) then
        for k=1:tamanho_WT //São 32 dados de wavelet, removemos o cabeçalho e o nome de cada
barra
            xteste(k,lo) = (data_file(l,k)/maximo(k))^coef; // Column 1
        end
        lo = lo + 1;
    end
end
end

```

```

//Depois XTreino lê 1/3 de Xteste. Revisar texto abaixo, está errado
j=size(xteste)
l=1
for i=1:1:j(2)/4
    for k=1:tamanho_WT
        xtreino(k,l)=xteste(k,4*l)
    end
    l=l+1
end
disp(size(xteste))
disp(size(xtreino))

treino=[1 1 1;
        1 1 1;
        0 1 1;
        1 1 1;
        1 1 1;
        1 1 1;
        1 1 1;
        1 0 1;
        1 1 1;
        1 1 0;
        1 1 0;
        1 1 1;
        1 1 1;
        1 1 1];

ltreino=barras;
l=0;
lo = 1;
for l=1:1:ltreino //i é a contagem das barras, sendo de 2 em 2 para fins de teste/verificação
    for j=(1+ciclo*(i-1)):passo:(ciclo*i)
        for k=1:saida //São 32 dados de wavelet, removemos o cabeçalho e o nome de cada barra
            yteste(k,lo) = treino (l,k); // Column 1
        end
        lo = lo + 1;
    end
end
j=size(yteste)
l=1
for i=1:1:j(2)/4
    for k=1:saida
        ytreino(k,l)=yteste(k,4*l)
    end
    l=l+1
end
disp(size(yteste))
disp(size(ytreino))
exec('C:\Users\cxi7\Documents\Programas\Scilab\ANN_Toolbox\loader.sce', -1)

W = ann_FF_init(N);
W = ann_FF_Std_batch(xtreino,ytreino,N,W,lp,epochs);
ztreino = ann_FF_run(xtreino,N,W);
g=size(ztreino)
for i=1:saida
    for k=1:g(2)
        if(ztreino(i,k)>0.5) then mm(i,k)=1;

```

```
        else mm(i,k)=0; end
    end
end
//errotreino=(ytreino-mm);
//disp(ytreino)
//disp(mm)
//disp(ztreino)
z = ann_FF_run(xteste,N,W);
g=size(z)
for i=1:saida
    for k=1:g(2)
        if(z(i,k)>0.5) then m(i,k)=1;
        else m(i,k)=0;
        end
    end
end
end

fprintfMat('DJbranch-ytreino.1',ytreino);
fprintfMat('DJbranch-ztreino.1',ztreino);
fprintfMat('DJbranch-mtreino.1',mm);
fprintfMat('DJbranch-yteste.1',yteste);
fprintfMat('DJbranch-zteste.1',z);
fprintfMat('DJbranch-mteste.1',m);
```