



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

GCQ-15  
19 a 24 Outubro de 2003  
Uberlândia - Minas Gerais

**GRUPO XIII  
GRUPO DE ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS, COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA E QUALIDADE DE  
ENERGIA - GCQ**

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ENERGIA UTILIZANDO  
TRANSFORMADAS WAVELET COMBINADAS ÀS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**

**Mário Oleskovicz\*, Elcio Franklin de Arruda, Odilon Delmont Filho,  
Denis Vinicius Coury e Adriano A. F. M. Carneiro**

**EESC – USP**

**Cláudio José dos Santos  
CPFL**

**RESUMO**

Neste trabalho, propõe-se o emprego da técnica de Análise de Resoluções Múltiplas para detectar e localizar distúrbios agregados às formas de ondas de tensão. Além da detecção e localização, os distúrbios são classificados segundo sua natureza, utilizando-se um método baseado em limiar, bem como por uma segunda alternativa, pelo emprego de Redes Neurais Artificiais (RNAs). Os valores amostrados referem-se às tensões de um sistema elétrico de distribuição real simulado pela aplicação do software ATP (Alternative Transients Program). Os software Matlab e NeuralWorks são também utilizados respectivamente para as aplicações da Transformada Wavelet e RNAs propostas. Como aplicação prática, um software para a análise da Qualidade da Energia fornecida está sendo implementando e extensamente testado, com resultados promissores.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas Elétricos de Potência, Qualidade da Energia, Transformada Wavelet, Redes Neurais Artificiais.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

As situações transitórias em sistemas de potência, as quais freqüentemente apresentam um considerável efeito sobre a operação normal de um sistema, são comuns e, na prática, podem ser ocasionadas por descargas atmosféricas, correntes de magnetização dos transformadores, faltas sustentadas, correntes de partida de grandes motores, ou ainda pelos efeitos capacitivos e de chaveamento em linhas de transmissão. A análise e o entendimento destes transitórios associados às condições anormais têm sempre auxiliado na mitigação e retificação dos

mesmos. Estes fenômenos são relacionados à Qualidade da Energia (QE) e devem ser detectados, localizados e classificados em um curto período de tempo. A utilização da Transformada Wavelet (TW) para a detecção, localização e classificação de problemas de QE fornece informações em ambos os domínios, tempo e frequência, através da Análise de Resoluções Múltiplas (ARM). Assim, é possível localizar distúrbios no tempo e dizer qual o seu nível de frequência. Estas informações serão também de fundamental importância para a classificação das anormalidades, uma vez que é possível identificar características únicas dos diferentes distúrbios através de dados provenientes dos diferentes níveis de resolução fornecidos na ARM.

Do crescente número de trabalhos relacionados à TW, destacamos inicialmente Santoso et alii (1), cuja idéia básica do trabalho está na decomposição de um dado sinal distorcido em outros sinais que representam uma versão atenuada do sinal original. Já com Angrisani et alii (2), os mesmos combinam o uso da Transformada Contínua de Wavelet (TCW) com a reconstrução do sinal por meio da Transformada Wavelet de Tempo Discreto (TWTd). Huang et alii (3) mostram que características de distúrbios não estacionários foram melhor monitorados por Wavelet e em Gaouda et alii (4) encontramos uma técnica que relaciona a energia do sinal distorcido com a energia de cada componente da expansão em multiresolução e seus coeficientes Wavelet. A TCW é apresentada como um método mais seguro para a detecção e medição de afundamentos de tensão, flickers e transitórios por Poisson et alii (5). Zheng et alii (6) fazem a modelagem de componentes do sistema tais como resistor, indutor e capacitor no domínio da TWTd. Já Poisson et alii (7) apresentam um método que possibilita uma classificação precisa de eventos transitórios e as

\* Escola de Engenharia de São Carlos - USP, Departamento de Engenharia Elétrica, Av. Trabalhador São-carlense 400, CEP: 13566-590, São Carlos - SP, Fone: (0XX16) 273 9366 , e-mail: olesk@sel.eesc.sc.usp.br

características destes eventos são facilmente extraídas de seu plano tempo-freqüência. Novamente, Santoso et alii (8) apresentam um trabalho que traz a união da Transformada de Fourier (TF) com a TW.

Este trabalho propõe o emprego da técnica ARM para detectar e localizar o distúrbio agregado às formas de ondas de tensão analisadas. Além da detecção e localização, os distúrbios são classificados segundo sua natureza, utilizando-se um método baseado em limiar, bem como por técnicas de inteligência artificial, como Redes Neurais Artificiais (RNAs). As grandezas analisadas referem-se a valores amostrados de tensões de um sistema elétrico real, cujos dados foram fornecidos pela CPFL- Companhia Paulista de Força e Luz e simulados pela aplicação do software ATP – Alternative Transients Program (9). Os software Matlab (10) e o NeuralWorks (11) também são utilizados para as respectivas aplicações da TW e RNAs propostas. Como aplicação prática, visando os interesses do setor energético atual, um software para a análise da QE fornecida por um dado sistema elétrico está sendo implementando e extensamente testado, com resultados iniciais bastante promissores.

## 2.0 – ANÁLISE DE RESOLUÇÕES MÚLTIPLAS

A técnica de Análise de Resoluções Múltiplas (ARM) permite a decomposição de um dado sinal em diferentes níveis de resolução, fornecendo importantes informações no domínio do tempo e da freqüência. Por esta técnica, o sinal analisado é primeiramente decomposto em dois outros sinais, uma versão detalhada e outra atenuada, através de filtros passa alta ( $h_1$ ) e passa baixa ( $h_0$ ) que são representados matematicamente por funções Wavelets e funções escala, respectivamente (Figura 1). Como o sinal atenuado – proveniente do filtro passa baixa – é novamente decomposto, resultando em dois novos sinais detalhados e atenuados, em níveis de freqüência diferentes, estes fornecem informações diretas, relativas ao sinal original, no domínio da freqüência e do tempo (Gomes & Velho, 12).

As Figuras 1 e 2 ilustram a técnica descrita, tendo-se na primeira a representação do processo de filtragem que é acompanhado também de um operador downsampling, o qual reduz a quantidade de informações a ser processada. A segunda ilustra as respectivas decomposições do sinal. A Figura 2 - (a) representa a versão aproximada do sinal, e os detalhes da decomposição são apresentados na Figura 2 - (b), (c) e (d).

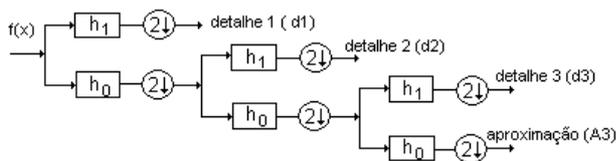


FIGURA 1 - PROCESSO DE DECOMPOSIÇÃO DE UM SINAL ATRAVÉS DE FILTRAGEM.

Neste trabalho utiliza-se como wavelet mãe a família das Daubechies, mais precisamente a daubechies de ordem 4, ou db4. Conforme mostrado em Arruda et alii

(13) e também em muitos artigos desta área, esta wavelet mãe é bastante adequada para decomposição dos distúrbios mencionados.

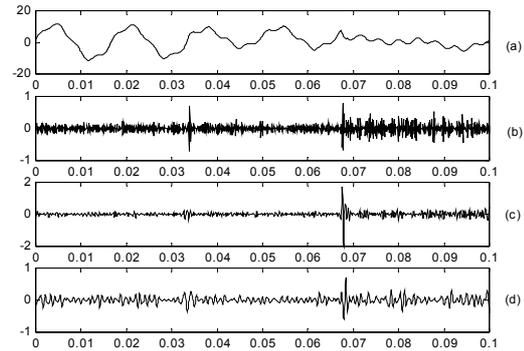


FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO DE UM SINAL SOB ARM. APROXIMAÇÃO A3 (A), DETALHE 1 (B), DETALHE 2 (C) E DETALHE 3 (D).

## 3.0 – UMA VISÃO GERAL DO TRABALHO

Antes de caracterizarmos os fenômenos analisados e apresentarmos os resultados obtidos, cabe visualizar o trabalho como um todo.

Pela aplicação da TW, podemos constantemente monitorar o sistema, através dos seus valores amostrados de tensões, a uma freqüência de 7,68 kHz. Tal valor foi respeitado devido a freqüência de amostragem usualmente empregada pelos instrumentos de medição e obtenção de dados, como por exemplo, o BMI (Basic Measuring Instrument) Model 7100, que apresenta um valor em torno de 7,7 kHz. Com uma janela de dados móvel, a ferramenta poderá, com um alto índice de precisão, detectar uma descontinuidade nos sinais, contendo a janela de dados 64 amostras de pré e 64 amostras de pós-fenômeno, ou seja, com meio ciclo de pré e meio ciclo de pós fenômeno em análise. A Figura 3 ilustra uma das possíveis situações, onde, claramente pode-se verificar a presença de uma descontinuidade do sinal em análise a 0,0487s. O primeiro gráfico representa a janela do sinal em análise e o segundo a primeira decomposição do mesmo pela ARM.

Inicialmente, a idéia é monitorar constantemente as três fases de tensões e, tão logo seja caracterizado uma descontinuidade nos sinais, ativar, de forma independente, um Módulo Completo (MC) que irá permitir o armazenamento de até 10 ciclos pós-fenômeno, para a completa análise dos sinais pela TW e, em paralelo, um Módulo Inteligente (MI), que irá classificar entre os cinco fenômenos caracterizados (afundamento e elevação de tensão, interrupção, ruído e oscilação transitória), dispondo de técnicas de inteligência artificial, neste caso em específico, RNAs. Entende-se por completa análise, a determinação exata dos instantes de inserção e extinção dos fenômenos sobre o sistema, caracterização dos componentes de freqüência e magnitudes presentes nos sinais e a resposta do sistema frente ao distúrbio com a conseqüente classificação dos mesmos. Este MC é totalmente baseado na ARM e Análise

Quantitativa do Limiar (AQL) nos diferentes níveis de decomposição dos sinais em questão. Tanto o MC como o MI com as suas respectivas análises serão oportunamente comentados.

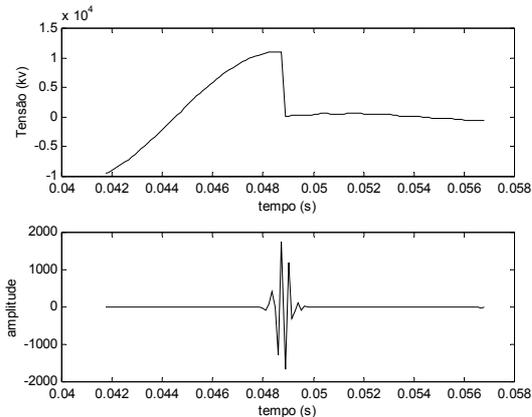


FIGURA 3 – O INÍCIO DE UM DISTÚRBO CARACTERIZADO COMO UMA INTERRUPÇÃO É ACUSADO PELA TW.

#### 4.0 – O SISTEMA ELÉTRICO EM ANÁLISE

As grandezas analisadas referem-se a valores amostrados de tensões de um sistema elétrico real, cujos dados foram fornecidos pela CPFL- Companhia Paulista de Força e Luz e simulados pela aplicação do software ATP (Figura 4).

Na figura, o transformador da subestação (Subestação 138/13,8 KV), os transformadores de distribuição 3 e 13 (Trafo Distr. 3 e 13) e o transformador particular 4 (Trafo Part. 4), que aparecem destacados, foram modelados considerando-se suas curvas de saturação. O modelo das cargas do lado secundário destes trafos seguem características específicas que denotam situações reais de carga. Já os transformadores particulares 1, 2 e 3 (Trafo Part. 1, 2 e 3) foram modelados sem considerar as respectivas curvas de saturação dos transformadores. Logo, as cargas foram referidas ao primário com uma parcela RL em paralelo com um capacitor para a devida correção do fator de potência originalmente de 0,75 e posteriormente corrigido para 0,92. Os demais transformadores de distribuição foram modelados somente como cargas RL referidas ao primário, considerando-se um fator de potência geral de 0,9538. Os demais foram somente representados por suas cargas equivalentes, cujo ponto de conexão com o sistema é indicado na figura. Cabe ainda destacar que tanto os transformadores de distribuição quanto os particulares apresentam ligações delta-estrela, com resistência de aterramento de zero ohm. Além destes, três bancos de capacitores (um de 1200 kVAr e dois de 600 kVAr cada) estão instalados ao longo do sistema (BC 1, 2 e 3). O alimentador principal é constituído por cabo nu CA-477 MCM em estrutura aérea convencional, e seus trechos são representados por elementos RL acoplados.

Deve ser ressaltado que a modelagem deste sistema de distribuição primária faz parte de uma situação real

encontrada junto à CPFL e que a mesma, na medida do possível, apresenta grande semelhança com o encontrado na prática. Inúmeras considerações práticas foram adotadas até a obtenção e teste do mesmo, em um trabalho conjunto entre as partes interessadas. Destaca-se que tal sistema já fez parte de um estudo apresentado no XV SENDI (Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica).

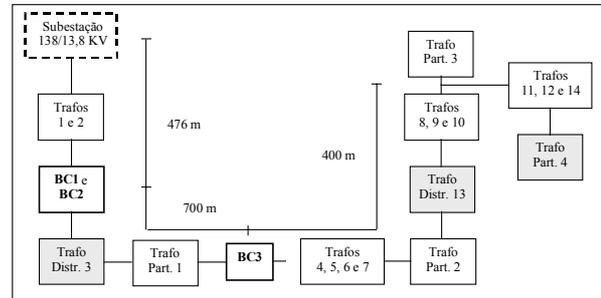


FIGURA 4 – DIAGRAMA DO SISTEMA ELÉTRICO DE DISTRIBUIÇÃO ANALISADO

#### 5.0 – ETAPAS NA ANÁLISE

Para uma melhor compreensão e definição dos principais termos empregados que se referem ao assunto delineado, apresentam-se a seguir os fenômenos caracterizados e analisados no decorrer deste trabalho (Dugan et alii, 13).

**Afundamento de tensão:** Dependendo da localização da falta e das condições do sistema, a falta pode causar um decréscimo temporário de 10-90% no valor eficaz da tensão do sistema, permanecendo este distúrbio por um período de meio ciclo até 1 min.

**Elevação de tensão:** Outro distúrbio que pode ser caracterizado por um aumento da tensão eficaz do sistema (aumento entre 10-80% da tensão, com duração de meio ciclo a 1 min) e que frequentemente ocorre nas fases sãs de um circuito trifásico, quando ocorre um curto circuito em uma única fase.

**Interrupção:** Uma interrupção ocorre quando o fornecimento de tensão ou corrente de carga decresce para um valor menor do que 0,1 pu, por um período de tempo que não excede 1 min.

**Ruído:** Com respeito aos ruídos, estes podem ser definidos como sinais elétricos não desejáveis com um conteúdo do espectro abaixo de 200 kHz, superposto à tensão e corrente do sistema de energia. Geralmente a amplitude típica é menor que 1% da tensão fundamental.

**Oscilação transitória:** É uma súbita alteração não desejável da condição de regime permanente da tensão, corrente ou ambas, onde as mesmas incluem valores de polaridade positivas ou negativas. É caracterizada pelo seu conteúdo espectral (frequência predominante), duração e magnitude da tensão.

##### 5.1 Análise quantitativa do limiar

O método da Análise Quantitativa do Limiar (AQL), no Módulo Completo (MC), baseia-se na capacidade da ARM em extrair características diferenciadas entre os fenômenos relacionados à QE. Tal diferenciação é caracterizada pela forma como, usualmente, os

detalhes obtidos pela ARM comportam-se na análise de um dado distúrbio.

A Figura 5 apresenta a primeira decomposição da ARM (db4) para um sinal em regime permanente, seguido dos distúrbios de afundamento de tensão, elevação de tensão, ruído, chaveamento de capacitores, bem como a decomposição de um sinal com interrupção no fornecimento de energia. Pode ser observado que o comportamento do primeiro detalhe de decomposição nitidamente diferencia os fenômenos, exceto para os distúrbios de afundamento e elevação de tensão, sendo que o mesmo ocorre para a interrupção apresentada. Em função das diferenças, a AQL é explorada para a classificação dos fenômenos no primeiro detalhe de decomposição, com respeito aos distúrbios ocasionados pelo ruído e chaveamento de capacitores. Já para o caso de diferenciação entre os fenômenos de afundamento, elevação de tensão e interrupção momentânea, emprega-se o sétimo detalhe de decomposição, como será posteriormente elucidado.

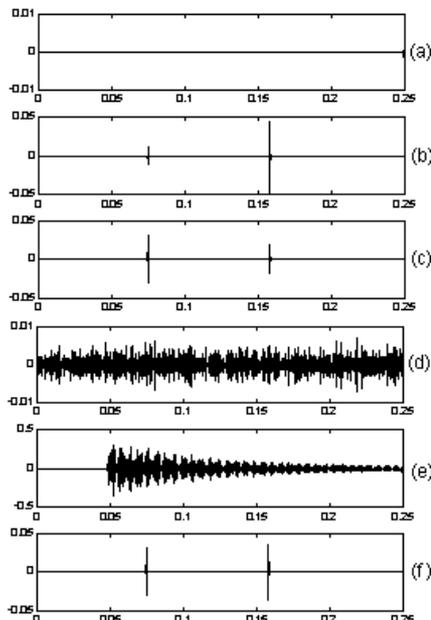


FIGURA 5 – PRIMEIRO DETALHE PARA O REGIME PERMANENTE E OS DISTÚRBIOS EM ESTUDO: (A) REGIME PERMANENTE, (B) AFUNDAMENTO E (C) ELEVAÇÃO DE TENSÃO, (D) RUIDOS, (E) OSCILAÇÕES TRANSITÓRIAS E (F) INTERRUÇÃO MOMENTÂNEA.

No algoritmo da AQL implementado, como ilustrado pelo fluxograma na Figura 6, um dado sinal de entrada é apresentado e decomposto pela ARM. Nesta etapa são armazenados os detalhes 1, 2, 3, 4 e 7, bem como a quinta versão da aproximação do sinal. Inicialmente é calculada a diferença (diff) entre os níveis de energia do sétimo detalhe do sinal de entrada e de um sinal em regime permanente tomado como referência. Tal detalhe contém informações diretas do componente de frequência de 60 Hz. Sendo assim, variações neste nível de detalhe indicam a presença de fenômenos de nível de frequência similar ao nível de frequência do sinal fundamental, ou seja, afundamentos e elevações de tensão ou interrupções momentâneas.

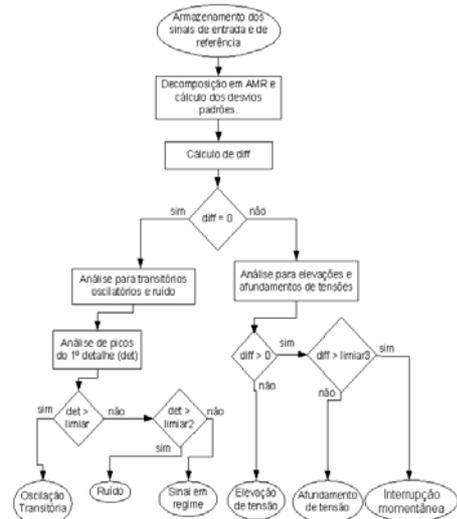


FIGURA 6 – FLUXOGRAMA DA AQL PROPOSTA.

Uma vez que variações no nível de energia do sétimo detalhe são detectadas, o algoritmo utiliza informações no terceiro nível de detalhe de forma a estimar os instantes de início e fim do distúrbio. Em seguida, a versão da quinta aproximação é usada para estimar a amplitude do distúrbio. Tal versão da aproximação é utilizada por conter, por completo, a componente fundamental, tendo sido extraídas componentes de altas frequências que poderiam apresentar estimativas errôneas.

Um outro ramo de análise do algoritmo AQL se desenvolve para o caso em que a diferença diff não mostra variações capazes de indicar a presença de distúrbios de afundamento ou de elevação de tensão. Neste caso, o algoritmo AQL utiliza informações do primeiro detalhe para a classificação dos distúrbios de oscilações transitórias, ruídos e do sinal em regime permanente. Tal diferenciação é obtida estipulando-se limiares que caracterizam os picos apresentados nos detalhes para cada distúrbio, sendo que este considera também a forma como os picos aparecem, como por exemplo, a diminuição da amplitude dos picos em se tratando de oscilações transitórias. Inicialmente o maior pico de um detalhe do sinal de entrada é comparado a um limiar característico de oscilações transitórias e, para uma resposta positiva, o algoritmo afirma a presença deste distúrbio. Caso contrário, tal pico é comparado a picos característicos de ruídos, afirmando ou não a presença deste.

Seguindo a metodologia acima apresentada, efetuou-se de forma automatizada a classificação dos distúrbios pertencentes a um conjunto de teste formado por 30 diferentes situações. Destas, 8 situações referem-se a afundamentos e 6 a elevações de tensão, 4 a interrupções, 8 a ruídos e 4 a oscilação transitória. O algoritmo apresentou um índice de 100% de acerto para todos os casos, como pode ser observado na Tabela 1. Além do conjunto de teste, foram também analisadas 42 novas situações que corresponderão ao conjunto de treinamento a ser empregado no Módulo Inteligente (MI), que será apresentado a seguir (item 5.2). Cabe adiantar que estas diferentes situações caracterizam 8 situações de afundamentos de 0,1 a 0,9 pu, 8 de elevações de 0,1 a 0,8 pu, 8 de interrupções

momentâneas, 10 de ruídos (frequência de 0,8 a 1,2 kHz) e 8 de oscilações transitórias, devido ao chaveamento de bancos de capacitores sobre o sistema (Figura 4). Todos os fenômenos foram caracterizados tomando-se como ângulos de incidência/inserção 0 e 90°.

Nos casos analisados, a estimação da duração dos distúrbios de afundamento, elevação de tensão e interrupção momentânea apresentou um nível de acerto expressivo, com erro médio de 5,5%, para todos os casos testados. Na quarta coluna da Tabela 1, apresenta-se o Erro Médio na Estimação da Duração dos Distúrbios (EMEDD). Cabe explicar que o erro foi calculado considerando-se a diferença entre o Valor Estimado e o Valor Referencial dividindo-a pelo Valor Referencial. Afirma-se também que o erro proporcionado para cada fenômeno apresenta um valor máximo e constante, que por sua vez será tanto menor quanto maior a duração do distúrbio.

Ressalta-se também que, considerando todos os casos analisados, o algoritmo apresentou um erro médio de  $\pm 4\%$  na estimação da amplitude dos distúrbios de afundamento e elevação de tensão, juntamente com os casos de interrupção momentânea.

TABELA 1 – RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DA AQL PARA UM O CONJUNTO DE TESTE FORMULADO

Fenômeno	Número de casos	Índice de Acertos %	5.2 EME DD %
Afundamento	8	100%	$\pm 4.2$
Elevação	6	100%	$\pm 6.9$
Interrupção	4	100%	$\pm 4.9$
Ruído	8	100%	-
Osc. Trans.	4	100%	-

## 5.2 A classificação dos fenômenos por RNAs

Conforme explicitado no item 3, após a detecção de uma descontinuidade ou uma situação anormal sobre o sistema, acusada pela TW, o MI é ativado para buscar a classificação do ocorrido.

Este MI é composto por uma RNA independente associada a cada fase de tensão do sinal em análise. Cada RNA apresenta 40 unidades na sua camada de entrada, as quais correspondem à 20 amostras de pré e 20 amostras de pós caracterização do fenômeno, a uma frequência de amostragem de 2,4 kHz. A RNA apresenta somente 5 unidades de processamento na sua camada intermediária e uma camada de saída com 3 unidades (RNA 40 – 5 – 3). Como destacado, o software NeuralWorks foi empregado com o objetivo de se obter as matrizes de pesos fixas que caracterizem as condições de operações sobre o sistema elétrico. Utilizou-se do algoritmo supervisionado “Norm-Cum-Delta Learning Rule”, uma variação do algoritmo de retropropagação, o qual é imune às alterações do tamanho da época (número de padrões aleatórios pertencentes ao conjunto de treinamento apresentados à arquitetura a cada iteração). Como uma alternativa para a função de transferência sigmoideal, a função de transferência

tangente hiperbólica foi utilizada. Durante a fase de treinamento, utilizaram-se valores de taxas de aprendizagem distintas para as unidades da camada intermediária e de saída compreendidas entre 0,4 a 0,01, com valores de momento situados entre 0,2 a 0,001. Todo o trabalho foi executado sobre um Pentium II – 333 MHz. As saídas desejadas/esperadas para caracterizar cada fenômeno são observadas na Tabela 2. Esperam-se valores próximos ou iguais a 0 (zero) e 1 (um) para caracterizar as situações.

TABELA 2 – VALORES ESPERADOS PELO MI PARA CARACTERIZAR OS FENÔMENOS DELINEADOS

Fenômeno	Saída 1	Saída 2	5.3 Saída 3
Afundamento	0	0	1
Elevação	0	1	0
Interrupção	0	1	1
Ruído	1	0	0
Osc. Trans.	1	0	1

O conjunto de treinamento, conforme já apresentado, foi gerado considerando-se 42 padrões onde os mesmos caracterizam 8 situações para cada fenômeno de afundamento e elevação de tensão, interrupção momentânea, oscilação transitória e, 10 situações de ruídos sobre o sistema. Todos os fenômenos foram caracterizados tomando-se como ângulos de incidência/inserção 0 e 90°. Para validar o proposto pelo MI, 30 novas e diferentes situações de teste foram geradas e apresentadas ao mesmo. Do exposto, afirmamos que o MI apresentou um índice de 100% de acerto para todas as situações conforme apresentado na Tabela 3.

## 6.0 – CONCLUSÕES

Neste trabalho, abordou-se o emprego da técnica de Análise de Resoluções Múltiplas (ARM) para detectar, localizar e classificar o distúrbio agregado às formas de ondas de tensão. Além do exposto, os fenômenos delineados também foram classificados segundo a sua natureza, utilizando-se de uma arquitetura de Rede Neural Artificial (RNA).

TABELA 3 – RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DA RNA PARA UM O CONJUNTO DE TESTE FORMULADO

Fenômeno	Número de casos	Índice de Acertos %
Afundamento	8	100%
Elevação	6	100%
Interrupção	4	100%
Ruído	8	100%
Osc. Trans.	4	100%

O emprego da RNA vêm validar os resultados observados na Análise Quantitativa do Limiar (AQL) no que diz respeito a classificação dos fenômenos. Como justificado, os módulos MC (Módulo Completo - AQL) e MI (Módulo Inteligente - RNA) desempenharão suas funções em paralelo. Em primeira instância, com apenas meio ciclo de pós fenômeno, teremos a

detecção do distúrbio (ARM) e a classificação do mesmo (MI). Assim, as medidas preventivas ou paliativas ao ocorrido poderão ser tomadas. O MC poderá então analisar o sinal como um todo e relatar os instantes de inserção e extinção, além da classificação do fenômeno sobre o sistema (tempo de análise pós fenômeno: 10 ciclos). Pelos resultados observados, com respeito a classificação, ambas as abordagens apresentaram um índice de 100% de acertos. Novos e mais aprofundados estudos estão sendo realizados para aprimorar, tanto o algoritmo, ainda em fase de implementação, como a saída e análise dos resultados desejados. Basicamente, grande parte dos fenômenos/distúrbios relacionados aos assuntos delineados já foram estudados, mas, por mais amplas que tenham sido estas novas situações, específicas características ainda devem ser incluídas e trabalhadas no sentido de se alcançar uma implementação prática e confiável ao que foi proposto.

## 7.0 – AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos/USP (Brasil) pelas facilidades proporcionadas quando do desenvolvimento deste trabalho, bem como ao apoio financeiro recebido por parte da FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo e da CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

## 8.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) SANTOSO, S.; POWERS, E. J.; GRADY, W. M. and HOLFMAN, P. Power quality assessment via wavelet transform analysis, IEEE Transaction on Power Delivery, 1996, vol. 11, No2, Apr.
- (2) ANGRISANI, L.; DAPONTE, P. ; APUZZO, M. D. and TESTA, A. A measurement method based on the wavelet transform for power quality analysis, IEEE Transaction on Power Delivery, 1998, vol.13, No.4, Oct.
- (3) HUANG, S. J.; HSIEH, C. T. and HUANG, C. L. Application of wavelet to classify power system disturbances, Electric Power Systems research, 1998, No. 47, pp. 87-93.
- (4) GAOUDA, A. M.; SALAMA, M. M. A.; SULTAN, M. R. & CHIKHANI, A.Y. Power quality detection and classification using wavelet-multiresolution signal decomposition, IEEE Transaction on Power Delivery, 1999, vol. 14, No.4, Oct.
- (5) POISSON, O.; RIOUAL, P. and MEUNIER, M. New signal processing tools applied to power quality analysis, IEEE Transaction on Power Delivery, 1999, vol.14, No.2, Apr.
- (6) ZHENG, T.; MAKRAM, E. B. and GIRGIS, A. A. Power system and harmonic studies using wavelet transform, IEEE Transaction on Power Delivery, 1999, vol.14, No.4, Oct.
- (7) POISSON, O.; RIOUAL, P. and MEUNIER, M. Detection and measurement of power quality disturbances using wavelet transform, IEEE Transaction on Power Delivery, 2000, vol.15, No.3, Jul.
- (8) SANTOSO, S.; GRADY, W. M.; POWERS, E. J.; LAMOREE, J. and BHATT, S. C. Characterization of distribution power quality events with Fourier and wavelet transforms, IEEE Transaction on Power Delivery, 2000, vol. 15, No.1, Jan.
- (9) ALTERNATIVE Transients Program. Rule Book, Leuven EMTP Center (LEC), 1987.
- (10) MatLab<sup>®</sup>, Wavelet Toolbox, 1996-1997, The MathWorks, Inc.
- (11) NeuralWorks Professional II/Plus, Aspen Technology Inc., 1998.
- (12) GOMES, J. ; VELHO, L. From Fourier Analysis to Wavelets Course Notes – Siggraph, IMPA Rio de Janeiro, 1998, Brasil.
- (13) ARRUDA, E. F., DELMONT, O. F., COURY, D. V., CARNEIRO, A. A. F. M. Um Estudo das Famílias Waveltes Aplicadas à Qualidade da Energia Elétrica. Congresso Brasileiro de Automática – CBA2002, 6p,2002, Natal/RN.
- (14) DUGAN, R. C. , MCGRANAGHAN, M. F. and WAYNE BEATY, H. Electrical Power Systems Quality, 1996, MCGRAW-HILL ABB Asea Brown Boveri. Desmontagem da Parte Ativa do Autotransformador 400MVA CEMIG. Relatório Técnico 1ZBR96-020. São Paulo, 1996.