



06 a 10 de Outubro de 2008
Olinda - PE

Aplicação de Sensor de Ultra-som na Manutenção de Subestações e Linhas de Transmissão e Distribuição a partir de redes inteligentes

Engº Phillip Luiz de Mendonça	Engº José Luiz Pereira Dantas	Dr. José Maurício de Barros Bezerra	Dr. Ronaldo R. B. de Aquino	Tatiane Maria Andrade da Silveira
CELPE	CELPE	UFPE	UFPE	UFPE
phillip@celpe.com.br	dantas@celpe.com.br	jmbb@ufpe.br	rrba@ufpe.br	tatiana.ufpe@gmail.com

PALAVRAS CHAVE:

Ultrassom, Manutenção, Inspeção, Redes Neurais Artificiais e isoladores.

DADOS DA EMPRESA:

Nome: CELPE
Endereço: Rua Isaac Marckman, 421 Bongü Recife –PE CEP: 50751370
Telefone/fax: (81) 3217-5610 / 3217-5655
E-mail: phillip@celpe.com.br

RESUMO

O presente trabalho propõe a realização de estudos e experimentos com o sensor de ultra-som, objetivando resultados com a aplicação dessa técnica na inspeção de equipamentos, materiais e instalações elétricas energizadas, possibilitando assim o diagnóstico ou até mesmo o prognóstico do estado dos isolantes, quanto a possível existência de fissuras e/ou bolhas internas que paulatinamente evolua para danificação completa do dielétrico e venha a acarretar a interrupção da energia elétrica.

Com esforços centrados prioritariamente em isoladores poliméricos e equipamentos isolados com resina epoxy o projeto agrega a avaliação e escolha de diversos tipos de classificadores de defeitos obtidos a partir dos sinais de ultra-som através de técnicas de reconhecimento de padrões lineares e não lineares.

1. INTRODUÇÃO

O fornecimento de energia elétrica está fortemente associado à disponibilidade do sistema, o qual deve apresentar uma confiabilidade em patamares cada vez mais rígidos, exigindo assim das empresas bastante eficiência nos momentos de intervenção. Tal êxito só é obtido quando se evolui da aplicação de técnicas preventivas, aquelas baseadas no tempo de exposição do equipamento, para técnicas preditivas, aquelas baseadas na avaliação do estado do equipamento.

Diante deste contexto o monitoramento dos componentes elétricos de um sistema de potência, através de processos visuais ou de sensores especiais representa uma ação de grande valia uma vez que possíveis prejuízos podem ser mitigados e o momento ótimo da intervenção passa a ser uma prática constante do setor de manutenção.

Tal ação deve ser direcionada com maior ênfase para os isolamentos elétricos, dada a elevada contribuição nas interrupções no suprimento adequado aos diversos consumidores. De uma forma mais enfática pode ser afirmado que o desempenho das instalações está diretamente relacionado com o desempenho do seu sistema de isolamento, o que deixa claro a necessidade de se introduzir tecnologias confiáveis que possibilitem identificar o desenvolvimento do processo degenerativo dos isolamentos, representando portanto, uma ação estratégica importante, tanto para a operação normal do sistema quanto para a sociedade que será poupada do infortúnio da falta intempestiva da energia.

Como a complexidade da ação de substituir possíveis isolantes elétricos vai além da obtenção dos parâmetros em campo, dadas as inúmeras condições operacionais e climáticas a que são submetidos estes materiais, se faz necessário o uso de técnicas que auxiliem na mineração dos sinais de entrada. A partir do conjunto de parâmetros gerado por estes sinais são definidos os diversos tipos de classificadores que serão objeto do estudo e avaliado qual se enquadra como solução do problema proposto. São introduzidas técnicas de reconhecimento de padrões para viabilizar o desenvolvimento de classificadores que permitam estabelecer o diagnóstico pretendido. Dentre as técnicas testadas foram estudadas as lineares: Fisher, Kahunen-Loève e componentes principais e as não lineares alicerçadas basicamente em redes neurais artificiais.

2. MOTIVAÇÃO

Apesar do uso da porcelana e/ou do vidro se fazerem de forma consagrada a CELPE, assim como outras concessionárias, vem investindo no domínio da técnica dos materiais poliméricos. Para tanto os processos de aquisição de novos se baseiam neste tipo de isolante.

Além de acompanhar a tendência nacional no uso deste material a possibilidade de redução das falhas no sistema devido a isoladores de porcelana/vidro e melhoria no processo de aquisição motivou a Celpe a eleger uma série de ações que visam o monitoramento de seus isoladores e intensificação no estudo da técnica dos compostos poliméricos.

Dentro desta ótica de análise de benefício versus custos é importante relatar de forma resumida alguns problemas encontrados na Celpe com estes tipos de isoladores:

No caso do isolador de porcelana a presença de fissuras ou trincas dificulta a identificação da falha principalmente em dias chuvosos, pois a existência de correntes de fuga intensificada pela condição climática se dá de forma aleatória e rápida gerando assim uma mudança de uma condição de curto-circuito para uma condição normal.

Já no caso do isolador de vidro o único fator negativo seria sua vulnerabilidade às ações de vandalismo quando submetido a tiros de espingarda, ação comum dos vândalos no nordeste.

Com o isolador polimérico ou outro material deste gênero, como dito anteriormente, percebe-se a presença de trincas ou bolhas as quais provocam o surgimento de descargas parciais internas ao dielétrico que paulatinamente determinam a deterioração integral do mesmo.

Abaixo segue fotos com materiais poliméricos com falhas:

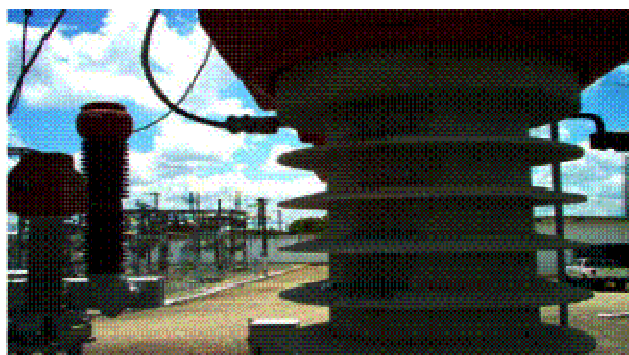


Figura 1 - TC danificado



Figura 2 - TC danificado

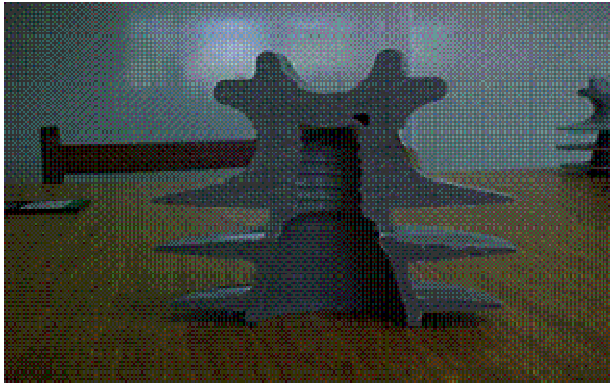


Figura 3 – Isolador com falha na inspeção



Figura 4 – Isolador com falha em operação

3. PROBLEMÁTICA NO DIAGNÓSTICO DOS DEFEITOS

Para melhor entendimento do trabalho se faz necessário uma descrição da problemática e do procedimento adotado quanto à etapa de escolha das amostras as quais compuseram o conjunto de unidades a serem submetidas às inspeções visuais, ensaios de raios x e ensaios de alta tensão, avaliações estas que representam o caminho necessário à consolidação da aferição do processo de diagnóstico pretendido. É neste momento que é iniciado o processo de composição do conjunto de treinamento, no qual são necessárias incorporações de unidades sãs (sem defeitos) e unidades com defeitos.

3.1 O PROBLEMA DE IDENTIFICAÇÃO

Como o projeto agrega um quantidade grande de materiais, foi centrado inicialmente esforços para diagnosticar problemas em TC's de epóxi os quais vinham apresentando problemas operacionais similares aos ilustrados nas Figuras 1 e 2 devido ao fato destes equipamentos gerarem consequências de grande proporção para o sistema elétrico quando de uma falha. A idéia, apesar de estar condizente com os propósitos do projeto, esbarrou em dificuldades operacionais e financeiras, uma vez que seria necessária a identificação de unidades boas e com defeitos, o que conduziria à realização de ensaios de raios x com os equipamentos em operação a um custo estimado de R\$ 4.000,00 por dia. Tal ensaio seria indicado, pois foi verificado em laboratório que os TC'S que falharam apresentavam bolhas no seu interior.

Diante de tais dificuldades se convergiu para se concentrar os esforços, em uma primeira etapa, na avaliação da aplicabilidade do sensor de ultra-som para diagnóstico de defeitos em isoladores poliméricos. Mais uma vez, as dificuldades de se retirar unidades boas e com defeito do sistema em operação continuariam presentes, pois a Celpe só dispunha de técnicas para identificar em campo o isolador quando este vier a falhar e não quando apresentar defeito.

3.2 O PROCEDIMENTO ADOTADO PARA IDENTIFICAÇÃO

Tendo em vista as dificuldades acima, surgiu a idéia de se adquirir unidades que não foram aprovadas em ensaios de recepção realizados na CELPE os quais utilizam a técnica de radiografia digital para identificação de bolhas internas em isoladores. Tal ação caracterizaria amostras com defeito ao passo que a aquisição de unidades novas caracterizaria amostras sem defeito, constituindo assim os dois conjuntos necessários à continuidade do projeto.

Para compor um conjunto de amostras diversificado optou-se por submeter à realização de ensaios isoladores de fabricantes distintos e em condições operacionais diferentes, conforme descrição abaixo:

- 50 unidades do fabricante A rejeitadas em ensaios de recepção realizados na CELPE;
- 25 unidades de fabricantes diversos retirados do sistema com suspeita de estarem defeituosos;
- 200 unidades novas a serem adquiridas através de cotação específica.

4. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA ENSAIOS LABORATORIAIS

Para submissão das amostras aos ensaios elétricos e aferição do diagnóstico através de processamento digital de sinais adquiridos a partir de sensor de ultra-som se fez necessário constatar o real estado dos isoladores quanto a presença de bolhas, de forma a quantificar ou até mesmo qualificar os possíveis defeitos. Para tanto submeteu-se as amostras aos ensaios de raios x de modo a pré-classificar e rastrear os isoladores e constituir os conjuntos de treinamento, tendo o sensor de ultra-som como elemento central.



Figura 5 – Isoladores codificados



Figura 6 – Isoladores selecionados para ensaio



Figura 7 – Fonte de Raio X

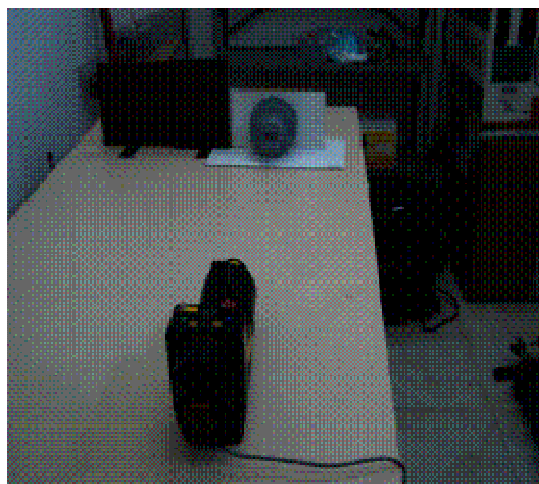


Figura 8 – Isolador posicionado para ensaio



Figura 9 – Isolador no filme(Imaging Plate)

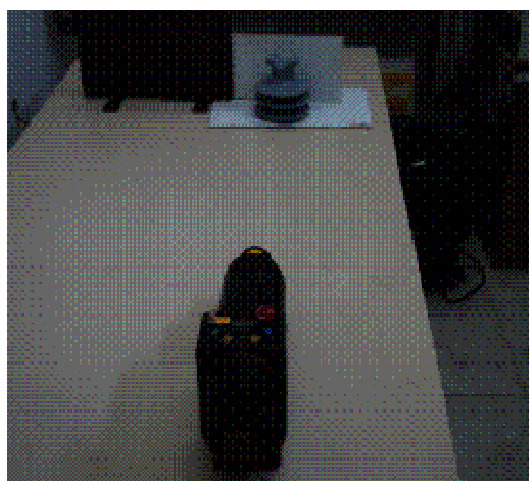


Figura 10 – Isolador submetido ao Raio X

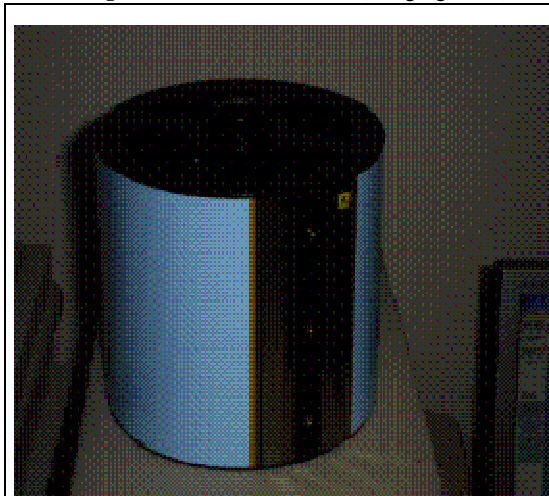


Figura 11 – Carrossel onde é posicionado o filme

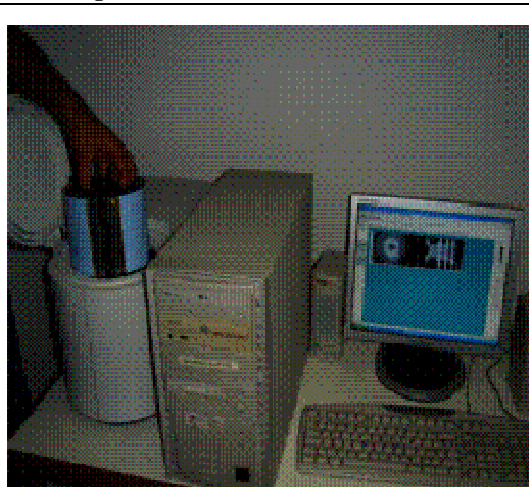


Figura 12 – Posicionamento para aquisição da imagem

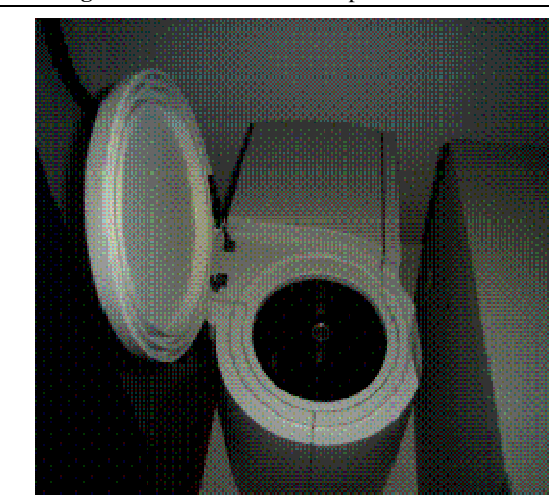


Figura 13 – Detalhe da leitora

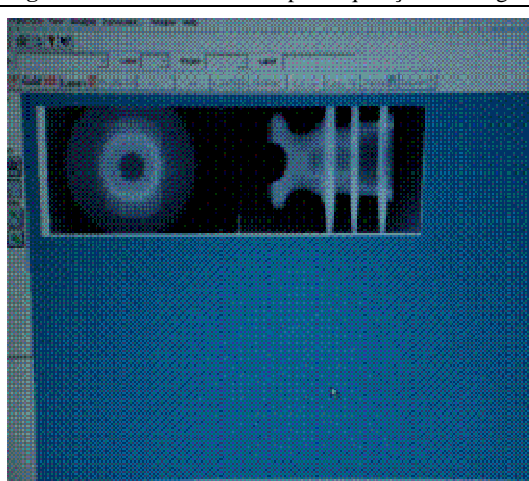


Figura 14 – Processamento digital da imagem

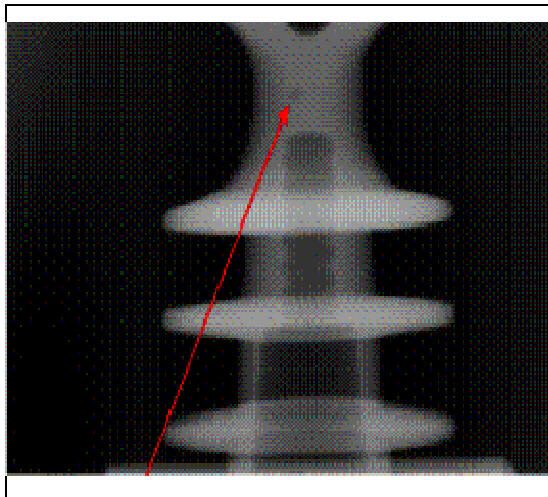


Figura 15 – Isolador com presença de bolhas

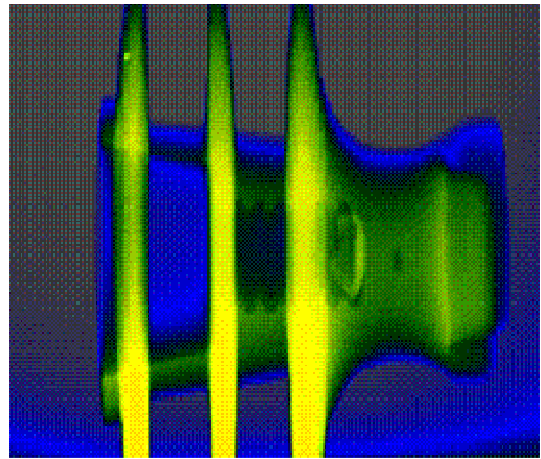


Figura 16 – Isolador com presença de bolhas

5. REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS LABORATORIAIS

Após a classificação dos isoladores como “com defeito” ou “sem defeito”, em função da existência de bolhas detectadas nos ensaios de raios x foram realizados os ensaios elétricos. Estes ensaios constaram de aplicar tensão de 3,5 p.u. e 3 p.u., durante 10 minutos. Em seguida eram registrados os sinais de ultra-som no computador, descargas parciais no osciloscópio e corona (DayCor) na filmadora digital. Estes dois últimos equipamentos serviram de auxílio no sentido de procurar assegurar a existência de descargas internas ao isolador sem que houvesse geração de descargas corona. Essa preocupação conduziu a refinamentos diversos nas montagens de tal forma a se procurar forçar a geração de descargas nas bolhas internas ao isolador sem provocar o efeito corona indesejável para o experimento.

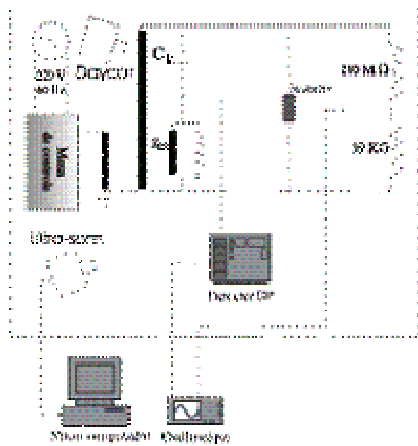


Figura 16 – Montagem elétrica



Figura 17 – Arranjo para minizar o corona

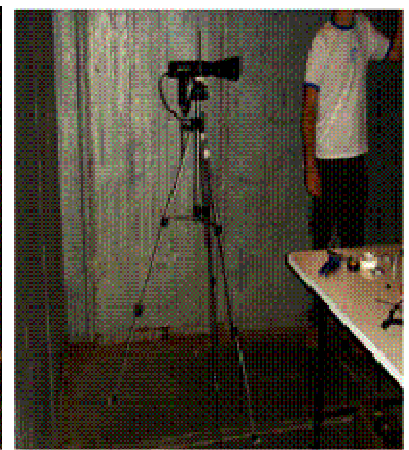


Figura 18 – Sensor de ultra-som

Logo após a aquisição dos sinais foram feitas análises específicas para se constituir o conjunto de treinamento. Como foram gravados sinais para a tensão de 3 e 3,5 p.u., todas as imagens gravadas através do DayCor foram avaliadas visualmente com o intuito de se aferir a intensidade do efeito corona ainda presente e, eventualmente, se rejeitar algumas amostras adquiridas. Na Figura 19 encontra-se ilustrada uma das imagens obtidas através do DayCor. Tais análises permitiram constituir novos conjuntos de sinais caracterizados como aptos e não aptos. Além dos sinais individuais também foi construído banco de sinais associados à presença normal de ruídos corona na tensão nominal da rede trifásica. Na Figura 20 encontra-se ilustrado o arranjo concebido, o qual foi montado, escolhendo-se aleatoriamente isoladores classificados como “sem defeitos”. Tais montagens foram feitas 10 vezes, gerando-se 30 sinais de corona, associados a cada um dos isoladores dos arranjos. A função desses sinais foi de constituir banco de sinais com ruído, a partir do qual, foi escolhido, também aleatoriamente, um deles para ser somado aos sinais obtidos para as descargas internas, simulando-se desta forma a existência

simultânea dos dois fenômenos: descargas internas nas bolhas e descargas corona na tensão nominal. Esta condição está mais condizente com situações reais encontradas no campo.

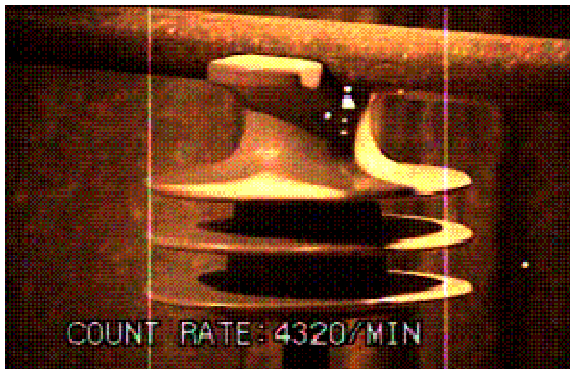


Figura 19 – Registro de descargas de corona através do DayCor



Figura 20 – Arranjo trifásico

É importante ressaltar que a realização dos ensaios nas tensões de 3,0 p.u. e 3,5 p.u se deu devido a necessidade de se avaliar a importância da interferência do efeito corona em todas as medições de ultra-som. Através das análises posteriores, com suporte das imagens geradas pelo DayCor, o conjunto de ensaios na tensão de 3,5 p.u. foi desconsiderado, como também algumas amostras colhidas na classe de tensão de 3,0 p.u.

Nas análises visuais das imagens geradas, feitas uma a uma, nos quais os níveis de corona foram classificados como 0 ou 1 (nível baixo), foram consideradas “aptas”, e os que obtiveram 2 ou 3 (nível alto), foram consideradas “não aptas”.

6. METODOLOGIA UTILIZADA

O processo de diagnóstico foi construído a partir da aplicação de técnicas de reconhecimento de padrões. Um sistema de reconhecimento de padrões pode ser representado, simplificadamente, em diagrama de blocos, conforme ilustra a Figura 21. Nesta figura, o padrão de entrada (sinais adquiridos através dos sensores, para o caso analisado) constitui o vetor r (r_1, r_2, \dots, r_M), o qual é submetido à rotina de extração de atributos. Os atributos extraídos através da rotina possibilitam a formação do vetor x (x_1, x_2, \dots, x_N) denominado “vetor de atributos” o qual é submetido ao classificador que propiciará a tomada de decisão necessária ao processo (diagnóstico do estado do isolamento para o caso em foco). Neste contexto, um classificador pode ser definido como um dispositivo que agrupa dados em categorias. Os dados são frequentemente estruturados em vetores no espaço de atributos. Todo ponto neste espaço está diretamente associado com um vetor de atributos. Cada componente x_i do vetor x é usualmente uma característica ou propriedade de um objeto sob análise.

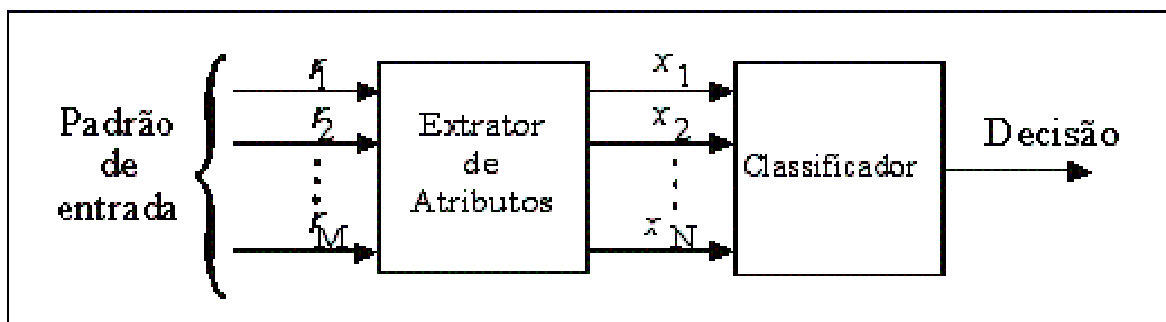


Figura 21 – sistema de reconhecimento de padrões

A construção do sistema de reconhecimento ilustrado na Figura 21 requer, portanto, toda uma análise prévia no sentido de dotá-lo de condições necessárias a minimizar erros de decisão. Uma das etapas fundamentais está

associada à caracterização dos atributos que compõem o vetor x . De uma forma ampla as técnicas de classificação podem ser divididas em lineares e não lineares.

Dentre as diversas técnicas existentes na literatura para construção de funções discriminantes optou-se em utilizar neste projeto as técnicas de Fisher, componentes principais e Kahunen-Loève. As redes neurais artificiais (RNA) também foram aplicadas como técnicas lineares de classificação.

Foram utilizados quatro modelos neurais para criar os classificadores neurais: dois lineares e dois não lineares. Também foi utilizado o método estatístico de validação cruzada múltipla para evitar conclusões distorcidas sobre os classificadores criados a partir das redes neurais.

Rede Neural Artificial 1 - RNA1

Neste modelo as classes são representadas com apenas 1 neurônio na saída das RNA, isto é, 0 quando a classe indicada for a Classe 0 e 1 quando indicar a Classe 1.

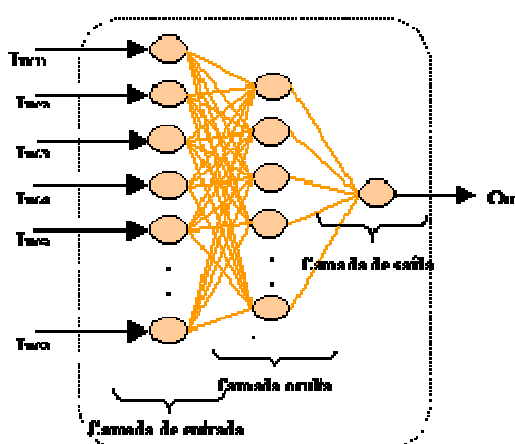


Figura 22 – Arquitetura RNA do modelo 1

Na montagem dos classificadores destes modelos foram avaliadas três arquiteturas de redes diferentes: rede 1 com 5 neurônios ocultos, rede 2 com 6 neurônios e rede 3 com 7 neurônios.

Além de avaliar, mesmo de maneira incipiente, a influência da arquitetura das RNA no desenvolvimento dos classificadores neurais, também foi analisado o impacto das inicializações dos pesos durante os treinamentos através de 10 inicializações aleatórias para a mesma rede.

Desta forma, foram realizados 30 treinamentos das redes neurais deste modelo, onde, no término de cada um dos treinamentos, as redes eram simuladas para o conjunto de teste. Este conjunto é totalmente distinto do conjunto de treinamento, sendo, portanto usado para estimar o erro de classificação (EC) do modelo.

Rede Neural Artificial 1 – RNA2

Na construção deste modelo foi utilizada uma rede neural linear com dois neurônios artificiais. Este modelo é similar ao método de Karhunen-Loève, diferenciando apenas nos cálculos dos parâmetros (ajuste do modelo).

Para classificadores criados através deste modelo, a representação das classes de saídas é realizada atribuindo o valor (1,-1) para classe sem descargas internas e (-1,1) para classe com descargas internas.

Diferentemente do Modelo 1, neste modelo as classes de saídas são codificadas a partir de 2 neurônios: (0,1) quando se quer indicar a Classe 0 e (1,0) para indicar a Classe 1.

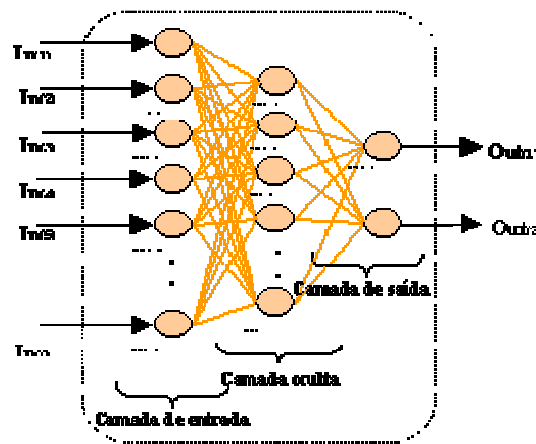


Figura 23 – Arquitetura RNA do modelo 2

De maneira similar ao Modelo 1, aqui também foram avaliadas três redes distintas: rede 1 com 5 neurônios ocultos, rede 2 com 6 neurônios e a rede 3 com 7 neurônios ocultos. Sendo todas estas redes inicializadas 10 vezes pelo mesmo motivo já explicado para o modelo anterior.

Técnicas não Lineares de Reconhecimento de Padrões

No desenvolvimento dos classificadores não lineares são usadas as redes do tipo perceptrons de múltiplas camadas (MLP). Estas redes têm sido aplicadas com sucesso para resolver diversos problemas de difíceis classificações.

As redes MLP são redes do tipo feedforward, ou seja, o processamento da informação se dá no sentido progressivo. Tipicamente, a rede consiste de um conjunto de unidades sensoriais (nós de fonte) que constituem a camada de entrada, uma ou mais camadas ocultas de nós computacionais (neurônios artificiais) e camada de saída de nós computacionais. O sinal de entrada se propaga para frente através da rede camada a camada.

As redes MLP utilizadas no desenvolvimento dos classificadores não lineares são constituídas de três camadas: camada de entrada, camada de oculta e camada de saída. Estes classificadores receberam o nome de não lineares porque utilizam funções de ativações não lineares.

Os dois classificadores não lineares apresentados neste trabalho se diferenciam na maneira de representar as classes: isoladores com descargas internas e isoladores sem descargas.

O primeiro modelo de classificador desenvolvido usa apenas um neurônio para representar as classes de saídas, enquanto o segundo utiliza dois neurônios, esses modelos foram denominados RNA3 e RNA4, respectivamente. Além disto, os modelos de classificação RNA 3 e RNA 4 necessitam determinar o número mais adequado de neurônios na camada oculta, para isto foi realizado o processo de validação cruzada. Este processo utiliza o erro médio quadrático (MSE) como critério de seleção.

Desta forma os dados para constituir estes modelos requer uma distribuição um pouco diferente da usada pelo os modelos RNA1 e RNA 2, em que 80 % dos dados foram para treinamento e 20% para teste. Para os modelos RNA 3 e RNA 4 as partições dos conjuntos foram realizadas da seguinte maneira:

- Conjunto de treinamento, formado de 60% do total de padrões, os quais foram usados nos treinamentos dos modelos neurais;
- Conjunto de validação, formado de 20% dos padrões, sendo este usado para supervisionar o treinamento com o intuito de aumentar as generalizações dos modelos;
- Conjunto de teste, formado de 20% dos padrões, usado para avaliar as performances dos modelos neurais.

Diversos atributos foram avaliados conjuntamente com a aplicação dos modelos de classificação, conforme tabela abaixo:

Tempo	Frequência	Wavelets
Média	Faixas do espectro	Média
Curtose	Energia total	Curtose
Deformação		Deformação
Passagens p/0		Passagens p/0
Desvio padrão		Desvio padrão
Nº valores<zero		Nº valores<zero
Valor eficaz		Valor eficaz
Coefficiente de variação		Coefficiente de variação
Faixas do histograma		Faixas do histograma

Adicionalmente, foram analisados os atributos associados ao cálculo do centróide tendo em vista o desempenho na formação dos modelos neurais. Esta consiste em calcular os centróides e as áreas da parte superior, inferior e total do sinal.

Além do cálculo dos centróides e das áreas, os dados foram normalizados para evitar que os neurônios das redes saturassem, dificultando o aprendizado durante os treinamentos.

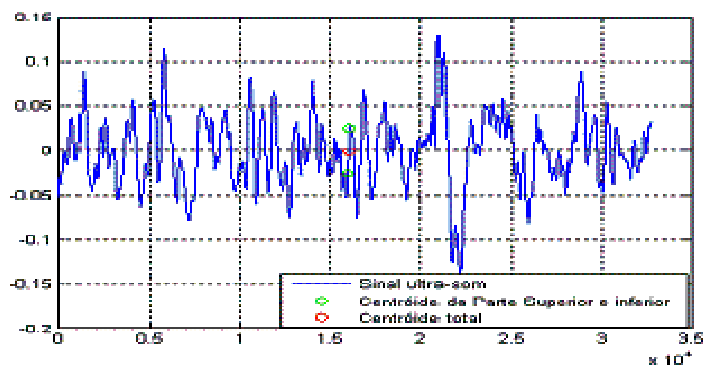


Figura 24 – Centróide de um dos sinais de ultra-som

Foram aferidos os resultados do desempenho de cada processo de classificação a partir dos modelos construídos, utilizando-se os diversos atributos definidos. Dentre os modelos testados, o não linear denominado RNA4 foi que apresentou o melhor desempenho, utilizando-se os atributos baseados na centróide dos sinais analisados.

7. O DIAGNÓSTICO

7.2 O SISTEMA

Para compor o processo de diagnóstico foi criado o sistema denominado “IsoDiagnosis”, que utilizou a RNA4, com os atributos relacionados ao centróide. Esta escolha está associada aos melhores percentuais de acerto alcançados. Foram introduzidos alguns dos refinamentos, principalmente aquele associado à classificação dos padrões para o mesmo isolador, com o intuito de se ter uma classificação única, proporcionando um resultado mais confiável (decisão pela maioria). A partir deste refinamento, o sinal original constituído de ruídos oriundos de mais de 40 ciclos da frequência fundamental foi particionado em 34 segmentos relacionados aos ruídos provenientes de 5 ciclos da frequência fundamental.

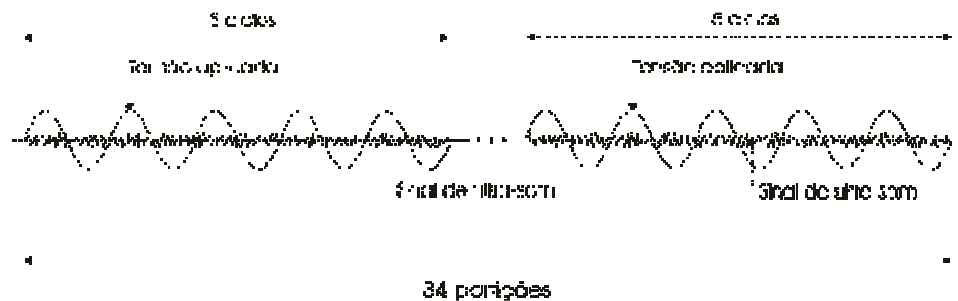


Figura 25 – Ilustração do processo de particionamento utilizado

Portanto, foi feita a classificação de cada sinal particionado, passando o resultado final a ser aferido em função da maioria dos resultados parciais obtidos, ou seja, caso mais de 50% das classificações indiquem que o isolador está bom este será o diagnóstico apontado pelo sistema, caso contrário a unidade será classificada como ruim.



Figura 25 – Tela do sistema IsoDiagnosis

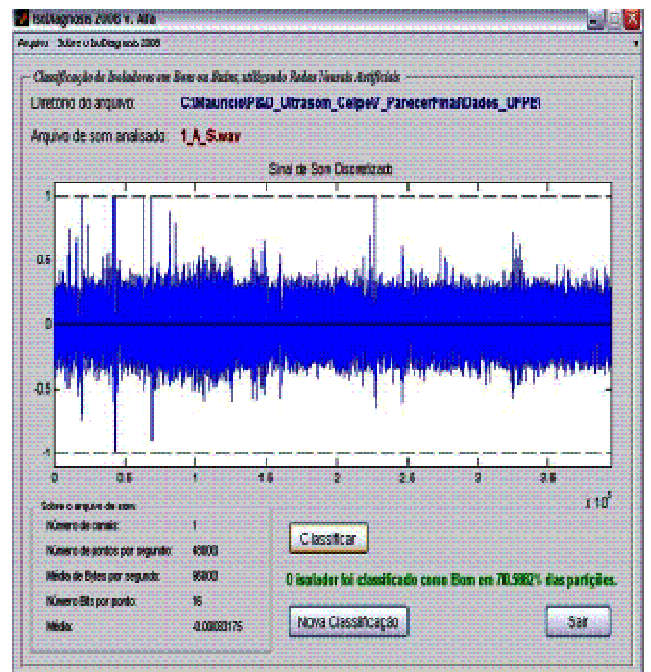


Figura 26 – Resultado da classificação de um isolador

7.2 O PROCESSO

Mesmo para o melhor classificador montado, utilizando-se os atributos mais significativos extraídos a partir da centróide dos sinais, observou-se dificuldades na generalização da rede. Tal dificuldade foi atribuída aos defeitos incipientes que se pretendia identificar. Conforme já comentado, como estratégia para forçar as descargas parciais que ocorrem em isoladores com bolhas internas, durante os experimentos se procurou estressar os isoladores previamente classificados através de ensaios de raios x através da aplicação de uma tensão duas vezes maior que a nominal do isolador ($3 \text{ p.u.} = 3 \times 13.8 / 1,73 = 23,93 \text{ kV}$), durante 10 minutos. Essa estratégia pode não ter sido suficiente para forçar a manifestação significativa do evento. Até mesmo para esta tensão foi difícil evitar a manifestação do efeito corona, mesmo utilizando tubos especiais e esferas de equalização dos potenciais. Além desses cuidados também se monitorou os experimentos com o equipamento DayCor, o qual direcionou a eliminação de algumas amostras do conjunto de treinamento, nas quais foram observadas manifestações acentuadas do efeito corona.

Apesar dessas constatações e da dificuldade de generalização da rede, foi montado processo de diagnóstico a partir da melhor técnica de classificação obtida, com o intuito de se explicitar o objetivo final a ser alcançado. Através do sistema “IsoDiagnosis” foi possível se identificar, numa rede de 13.8 kV, isoladores que apresentaram sinais de ultra-som característicos de unidades defeituosas, vide Tabela. Essas unidades precisam ser retiradas e aferidas através de ensaios de raios x e elétricos adicionais.



Figura 27 – Inspeção de ultra-som em campo

Estrutura	Fases/Arquivos			Tipo de isolador
	A	B	C	
1	1_A_S	1_B_S	1_C_S	polimérico
2	2_A_S	2_B_S	2_C_S	polimérico
3	3_A_S	3_B_S	3_C_S	polimérico
3	3_A_S_Rep			
4	4_A_S	4_B_S	4_C_S	porcelana
5	5_A_S	5_B_S	5_C_S	porcelana
6	6_A_S	6_B_S	6_C_S	porcelana
7	7_A_S	7_B_S	7_C_S	porcelana
8	8_A_S	8_B_S	8_C_S	polimérico
9	9_A_S	9_B_S	9_C_S	porcelana
10	10_A_S	10_B_S	10_C_S	porcelana
11	11_A_S	11_B_S	11_C_S	porcelana
12	12_A_S	12_B_S	12_C_S	porcelana
13	13_A_S	13_B_S	13_C_S	polimérico
14	14_A_S	14_B_S	14_C_S	porcelana
15	15_A_S	15_B_S	15_C_S	porcelana
16	16_A_S	16_B_S	16_C_S	porcelana
17	17_A_S	17_B_S	17_C_S	porcelana
18	18_A_S	18_B_S	18_C_S	porcelana
19	19_A_S	19_B_S	19_C_S	porcelana

Os arquivos assinalados em vermelho indicam sinais de ultra-som que foram classificados como oriundos de isoladores defeituosos. Ressalta-se que foram feitas duas inspeções na estrutura 3, fase A, foi em horário e condições ambientais diferentes, tendo o sistema indicado o mesmo diagnóstico.

8. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos pode ser observado que o estágio alcançado pelo projeto pode ser considerado satisfatório, mas ainda não conclusivo, uma vez que os sinais utilizados para treinar a rede neural foram oriundos de laboratório. As pesquisas precisam ser continuadas, atentando-se para os seguintes refinamentos:

- Escolher rede de 13.8 kV na qual possam ser instalados os isoladores previamente classificados através dos ensaios de raios x; tais isoladores precisam ser criteriosamente identificados na rede para monitorações posteriores;
- Adquirir sinais de ultra-som, a cada três meses, a partir de cada um dos isoladores instalados e treinar uma nova rede a partir desse novo conjunto de treinamento, no qual os sinais estarão associados aos isoladores estressados naturalmente e a uma tensão nominal; nessas condições o efeito corona terá bem menos influência sobre os ruídos de ultra-som adquiridos;
- Repetir tais procedimentos durante um ano;
- A cada nova rede treinada deve ser devidamente testada no que se refere principalmente à generalização do diagnóstico apresentado.

A partir dessas implementações, certamente a consecução de um processo de diagnóstico ainda mais confiável será alcançada. É importante ressaltar a versatilidade do processo, simulada a partir do protótipo montado, o qual pode ser ainda mais portátil e envolver recursos materiais e humanos ainda menores.

Ao se perseguir os aprimoramentos recomendados estarão sendo dados passos importantes na incorporação de uma ferramenta preventiva de grande valor para assegurar a continuidade das redes de distribuição de energia elétrica, através da intervenção prévia da manutenção, antes que falhas, indisponibilidades e acidentes venham a ocorrer.