

Desenvolvimento de um Sistema de Radiografia Digital Portátil para a Detecção de Defeitos em Isoladores Poliméricos

W. C. Godoi, LACTEC, R. R. da Silva, V. Swinka-Filho, LACTEC e T. Loddi, COPEL

Resumo - Neste trabalho é apresentado um sistema inédito de radiografia digital portátil (denominado SISTEMA RDP), desenvolvido no Laboratório de Instrumentação para Diagnóstico de Materiais do LACTEC para a detecção de vazios-defeitos em imagens radiográficas de isoladores poliméricos utilizados em linhas de distribuição de energia elétrica (classe 15 kV, tipo *J-Neck*), para a detecção de defeitos em inspeções semi e/ou automática. As metodologias desenvolvidas para o reconhecimento de defeitos de forma automática envolvem basicamente o pré-processamento das radiografias digitais (utilizando-se um filtro passa baixa), a segmentação da ROI (*Region Of Interest*) e dos defeitos, a extração de 13 características de 714 regiões segmentadas e por fim a classificação dos defeitos (D) e estruturas regulares (ER). Em se tratando de uma pesquisa inovadora, e ainda pouco explorada, os resultados obtidos na detecção dos defeitos até o presente momento foram satisfatórios e incentivadores de tal publicação.

Palavras-chave – Distribuição, Isoladores, Processamento de Imagens, Radiografia digital, Reconhecimento de Padrões.

I. INTRODUÇÃO

Uma das principais causas de falha dos isoladores poliméricos (Figura 1) utilizados em redes de distribuição de energia elétrica é a existência de vazios (bolhas de ar ou trincas). Estes isoladores estão tornando-se cada vez mais utilizados e ganhando uma grande fatia do mercado de componentes elétricos devido as suas vantagens em relação aos isoladores tradicionais de vidro ou cerâmicas, como por exemplo: baixo peso, alta resistência mecânica, melhor resistência ao vandalismo, melhor resistência às condições de poluição em ambientes úmidos e melhor performance elétrica [1].

Os vazios na estrutura dos isoladores poliméricos podem ser originados pela formação de bolhas de ar durante o processo de injeção do polímero ou por trincas ocasionadas pela fadiga devida aos estresses mecânicos e térmicos sofridos

durante a operação ou, ainda, pela má colocação de massa de fixação no isolador.



Figura 1: Isoladores poliméricos utilizados em linhas aéreas de distribuição de energia elétrica.

Os vazios na estrutura dos isoladores poliméricos podem ser originados pela formação de bolhas de ar durante o processo de injeção do polímero ou por trincas ocasionadas pela fadiga devida aos estresses mecânicos e térmicos sofridos durante a operação ou, ainda, pela má colocação de massa de fixação no isolador.

O campo elétrico aplicado e a existência de condições adequadas, como a pressão do gás no interior do vazio, permitem a ocorrência de descargas parciais dentro do defeito. A constante ocorrência destas no interior desses defeitos formam caminhos condutores no polímero conhecidos como arborescência elétrica, no sentido do campo elétrico aplicado, os quais levarão o material à ruptura dielétrica. O isolador danificado causa o desligamento da linha, gerando custos de manutenção com a reposição desses componentes e o aumento do tempo de interrupção do fornecimento de energia elétrica aos consumidores, piorando os índices de Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor (DEC) e de Frequência Equivalente de Interrupção por Consumidor (FEC) da concessionária.

A utilização de novas técnicas como a radiografia digital industrial, torna possível visualizar os defeitos no interior dos componentes de forma não-destrutiva [2-4]. As técnicas de processamento digital de imagens [5] e reconhecimento de padrões [6] permitem detectar os defeitos através das imagens adquiridas de forma automática. Essa abordagem torna possível o controle e a qualidade dos componentes instalados, bem como numa linha de produção dos mesmos,

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer às seguintes instituições COPEL, UFPR, LACTEC e LABOEND/COPPE/UFRRJ.

W. C. Godoi, M. Sc., é doutorando no Instituto de Tecnologia para Desenvolvimento - LACTEC (e-mail: walmor.godoi@gmail.com).

R. R da Silva, Dr, é pesquisador independente (e-mail: romeu@romeu.eng.br).

V. Swinka-Filho, Dr, é pesquisador no Instituto de Tecnologia para Desenvolvimento - LACTEC (e-mail: vitoldo@lactec.org.br).

T. Loddi, trabalha na Companhia Paranaense de Energia – COPEL (e-mail: loddi@copel.com).

evitando assim desligamentos não desejados na rede elétrica.

Esse artigo visa divulgar as metodologias de processamento digital de imagens radiográficas e reconhecimento de padrões utilizado para detectar defeitos em isoladores poliméricos de forma automática. Também será abordado o sistema de radiografia digital portátil (denominado SISTEMA RDP) que foi montado no LACTEC com o intuito de se fazer ensaios de isoladores em campo (nos postes).

O texto será assim apresentado: na seção II, a metodologia experimental será discutida; na seção III é apresentado o SISTEMA RDP com detalhes sobre a instrumentação; a seção IV fornece as considerações finais do trabalho.

II. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

O reconhecimento automático de padrões em imagens radiográficas envolve normalmente as etapas de aquisição das imagens, pré-processamento, segmentação, extração de características e classificação (ver figura 2). Não é objetivo deste trabalho tratar destas técnicas aqui, mas destaca-se que cada uma das etapas tem o seu grau de complexidade dependendo da situação estudada. Para uma introdução sobre o assunto ver referências [5-7].

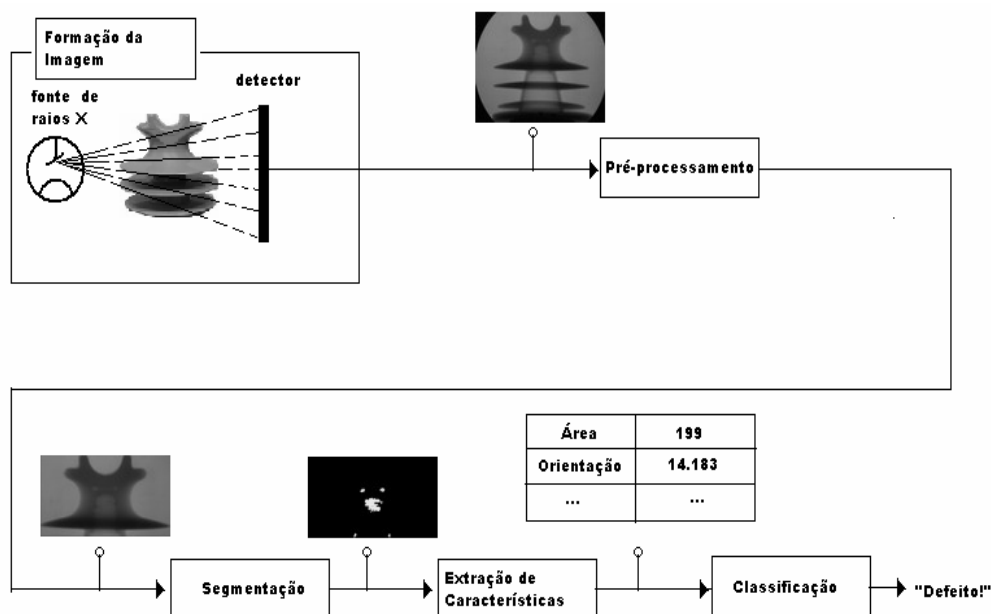


Figura 2: Reconhecimento de padrões aplicado à detecção automática de defeitos em isoladores.

O princípio fundamental de inspeção radiográfica baseia-se no fato de que as radiações incidentes na peça ensaiada são modificadas pela passagem em discontinuidades ou defeitos que possam estar presentes, provocando alteração na intensidade da radiação emergente da peça. A radiação que atravessa a peça é então detectada, por um filme ou por sistemas com intensificadores de imagens, câmaras CCD e placas digitalizadoras, aonde alterações de espessura e presença de discontinuidades são visualizadas por diferença de contraste na imagem final [8]. No isolador polimérico, o contraste entre um vazio-defeito e a área livre de defeito nem sempre é perceptível visualmente, o que realça a necessidade de utilização de técnicas de processamento de imagens e reconhecimento de padrões para detecção dos defeitos presentes e sistemas radiográficos com resoluções ótimas.

Um exemplo de radiografia digital pode ser visualizado na Figura 3. Esta foi realizada no Laboratório de Instrumentação para Diagnóstico de Materiais do LACTEC. O equipamento utilizado foi um tomógrafo industrial de raios-X, da marca Gilardoni (denominado SISTEMA CT2000), que pode ser visto na Figura 4. A aquisição das imagens foi realizada através de um intensificador de imagem acoplado a uma câmera CCD. O sinal da câmera CCD é capturado por

uma placa de vídeo montada em um computador, o qual armazena as radiografias no padrão *Bitmap*. A tensão e a corrente no filamento do tubo de raios X utilizadas foram de 70 kV e 3 mA, respectivamente. Amostras de cinco fabricantes de isoladores foram utilizadas para os testes em trabalhos de reconhecimento de padrões com este sistema.

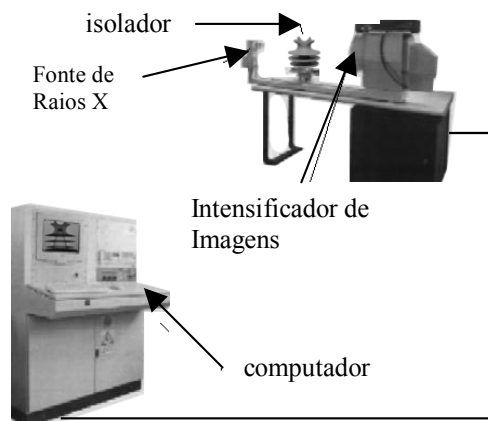


Figura 3: Sistema de radiografia e tomografia industrial CT2000.

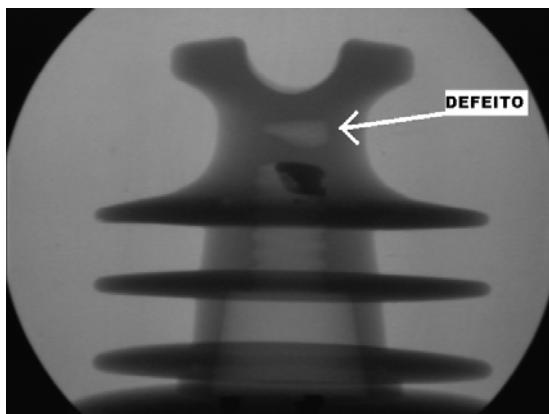


Figura 4: Radiografia digital obtida com o SISTEMA CT2000 (70 kV, 3mA). Pode ser ver nesta figura a presença de um grande vazio-defeito.

maior característica dele está na sua portabilidade, o que permite fazer radiografias dos isoladores em campo, além do que possui uma resolução de imagem ótima, superior ao do SISTEMA CT2000, por exemplo.

O SISTEMA RDP foi montado no Laboratório de Diagnóstico de Materiais do LACTEC, num projeto da COPEL Distribuição. A Figura 5 ilustra o sistema como um todo. O SISTEMA RDP é composto dos principais itens:

- Gerador portátil de raios-X
- Detector portátil (*Flat Panel*)
- Placa de aquisição (*Framegrabber*)
- Computador

III. SISTEMA DE RADIOGRAFIA DIGITAL PORTATIL

O Sistema de Radiografia Digital Portátil (denominado SISTEMA RDP) é inédito no Brasil para a inspeção de isoladores em linhas de distribuição de energia elétrica. A

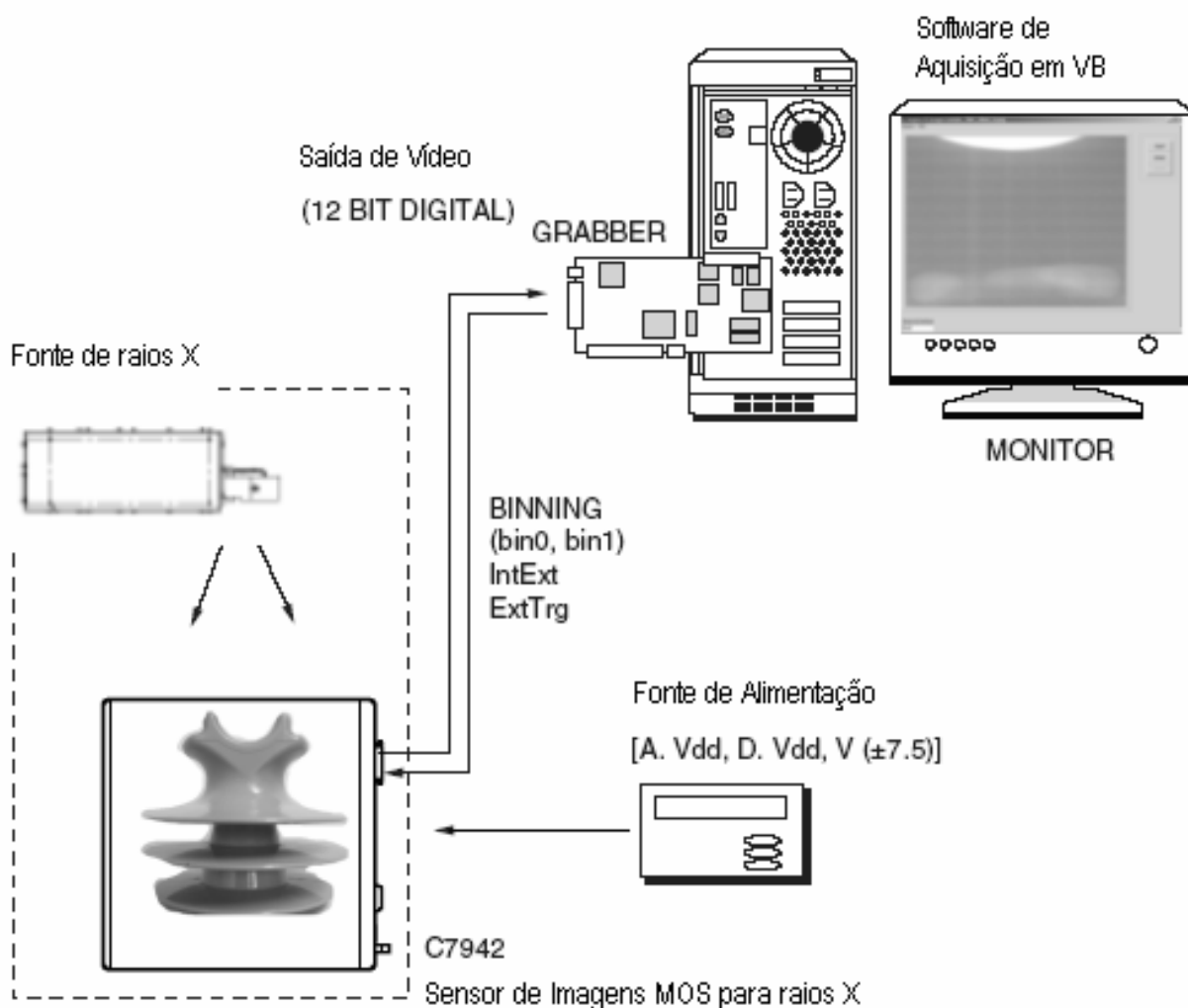


Figura 5: Sistema de radiografia digital portátil (SISTEMA RDP).

Toda a instrumentação eletrônica para a montagem do sistema foi desenvolvida (controle e alimentação do gerador de raios X, alimentação do *Flat Panel* e controle do *Trigger* externo), objetivando-se sempre em utilizá-lo em inspeções em campo dos isoladores, ou seja, favorecendo-se sua portabilidade.

A figura 6 ilustra uma radiografia digital de um isolador polimérico obtida com o SISTEMA RDP.

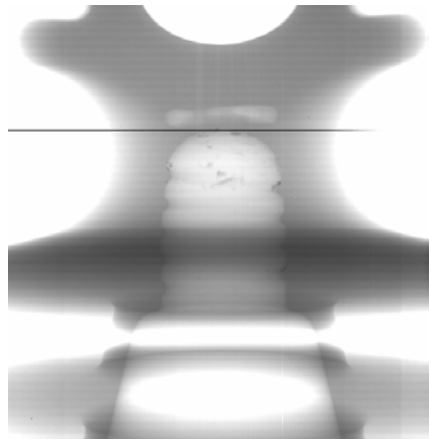


Figura 6: Radiografia digital obtida com o SISTEMA RDP (70 kV, 100 μ A, fator de integração 3 s).

A Tabela 1 compara os dois sistemas radiográficos citados aqui.

TABELA 1
COMPARACOES ENTRE O SISTEMA CT2000 E RDP

Item	SISTEMA CT2000	SISTEMA RDP
Tamanho do Foco	Minifoco 0.4 x 0.4 mm ²	Microfoco 10 x 10 μ m ²
Janela	Be	Be (125 μ m)
Alvo	W	W
Faixa de Tensão	10 a 160 kV	20 a 70 kV
Faixa de Corrente	0 a 10 mA	0 a 0.1 mA
Resolução espacial	640 x 480 pixels	2400 x 2400 pixels
Binning	Não	Sim (2x2, 4x4)
Trigger	Não	Sim (Int e Ext)
Tamanho do Pixel	290 μ m	50 μ m
Saída Digital	8 bits	12 bits

A. Instrumentação para Composição do SISTEMA RDP

A seguir descreve-se a instrumentação eletrônica utilizada para a montagem do SISTEMA RDP. Esta abrangeu: (i) O controle e a alimentação da fonte portátil de raios-X; (ii) a alimentação do detector portátil de raios X (*Flat Panel*); (iii) o controle do sistema de integração (*Trigger*); (iv) a composição do sistema como um todo (*hardware* e *software*).

O controle e a alimentação da fonte portátil de raios-X

O gerador portátil de raios X do Sistema RDP é alimentado por tensão contínua 12 V DC com consumo nominal de 1.2 A.

A tensão e a corrente são ajustadas por meio de 2 potenciômetros de 1 k-ohm/W montados no painel. O potenciômetro de ajuste de tensão gera um sinal de 0 a 3.5 V, que correspondera a tensão aplicada ao tubo de raios X de 0 a 70 kV. O potenciômetro de ajuste de corrente gera um sinal de 0 a 2.5 V que correspondera a corrente entre o anodo e ca-

tudo do tubo na faixa de 0 a 0.1 mA. Um protótipo da interface final com o usuário pode ser visualizada na Figura 7.



Figura 7: Interface com o usuário para controle e alimentação do gerador portátil de raios – X.

O gerador envia sinais de tensão nas faixas mencionadas acima relativas a tensão e corrente real no tubo. Estes valores são indicados em voltímetros digitais que ficam no painel de controle, os quais foram calibrados para a correta indicação de corrente e tensão no tubo.

A interface gerador-controle/gerador-alimentação e feita através de 12 pinos conectados por cabos ao controle que fica em um *rack* junto ao computador do sistema e a bateria de alimentação (ver Figura 8). Estes possuem 12 m para tornar possíveis as inspeções dos isoladores instalados nos postes, ou seja, posicionar tanto a fonte quanto o detector de raios X próximo ao isolador sem retirá-lo do poste.



Figura 8: *Rack* portátil com o controlador do gerador de raios-X e o computador do sistema.

A alimentação do detector portátil de raios X (*Flat Panel*)

O módulo de imagens do SISTEMA RDP (*Flat Panel*) requereu três tipos de fontes de alimentação (conforme especificações do equipamento adquirido), as quais são +5 V analógica, +5 V digital e uma fonte simétrica de ± 7.5 V. Todas as fontes foram montadas para que ficassem próximas do detector de imagens e assim reduzir os possíveis ruídos que poderiam surgir no caminho da alimentação.

Controle do Modo *Trigger* de Aquisição de Imagens

O *Flat Panel* possui um modo de aquisição (modo integração) que permite ativá-lo por um *Trigger* externo. Isto é útil porque pode-se trabalhar com baixas energias no tubo de raios X (o que aumenta o contraste da imagem) controlando-se o tempo de integração na CCD do “*Flat*”. Como esse detector possui uma interface com um computador, utilizou-se para controle do *Trigger* uma porta serial do tipo RS 232C, com conector tipo DB9, deste computador. Controla-se assim, por meio de um software, o tempo de integração em até 1/10 s de precisão, limite este imposto pela IDE utilizada (leia-se, *Visual Basic*).

Uma porta serial pode ser conectada com apenas 2 pinos, em uma conexão unidirecional. Em qualquer aplicação prática, como esta aqui, é necessário utilizar circuitos que convertam níveis TTL para os exigidos pela interface. O interfaceamento *Computador-Flat* é feito utilizando-se um cabo de 12 m.

As portas seriais no computador são totalmente programáveis. Pode-se transmitir caracteres com 5, 6, 7 ou 8 bits. O coração da interface serial é o circuito 8250, que permite o uso de funções como CTS (*clear to send*) entre outras.

Uma saída RS 232C inativa fica transmitindo -12 V, controle OFF. Então a tensão pico-a-pico medida em um osciloscópio para um pulso dado nesta saída deve ser de 24 V. A Figura 9 mostra a medida para um intervalo de dois sinais enviados do PC por um cabo de 12 m. Nesta mesma figura estão presentes os sinais de saída que chegam ao *Flat* para controle do *Trigger* (um circuito eletrônico foi montado para converter corretamente o sinal de entrada em níveis TTL aceitos pelo *Flat*). Pode-se ver, a partir desta figura, que o sinal enviado possui 17 V de tensão tomada numa medida pico-a-pico, ou seja, o cabo causou a atenuação do sinal enviado.

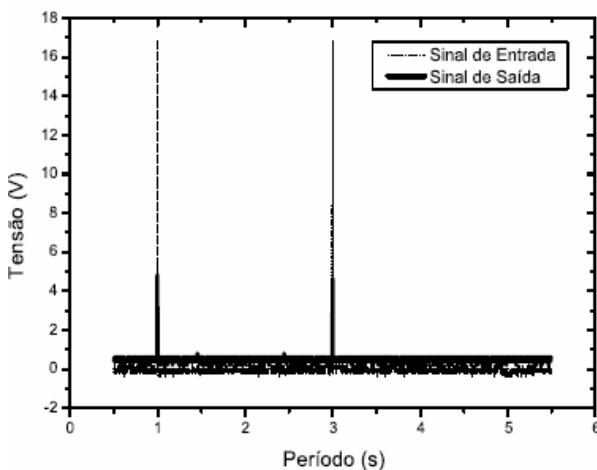


Figura 9: Circuito

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os Ensaios Não-Destrutivos (END) alcançaram importância relevância na avaliação da qualidade de materiais e equipamentos, seja no processo de fabricação ou durante o período de funcionamento dos mesmos, pois as indústrias estão voltadas para a melhoria da qualidade de seus produtos;

requisito básico para manter-se competitivo nos mercados nacionais e internacionais [6].

Dentre os END, a radiografia é um dos métodos mais antigos. Entre as vantagens fornecidas por ela está o fato de a imagem obtida representar uma fotografia interna da peça, assim pode-se avaliar a amostra em todo o seu volume.

Porem, o método convencional de inspeção radiográfica exige que a qualidade da imagem seja a melhor possível. Além disso, sabe-se que, a inspeção visual humana da radiografia é conduzida de forma que, em certos casos, deixa margem a interpretação subjetiva, necessitando-se que o inspetor possua extrema experiência, acuidade visual e conhecimento da técnica empregada.

As medidas a serem tomadas em relação a aprovação ou não da peça, após a inspeção radiográfica, dependerá da localização, do tamanho e do tipo de defeito encontrado. Neste caso, e de suma importância a precisão da análise das imagens obtidas.

Este trabalho mostrou um sistema de radiografia digital portátil (denominado SISTEMA RDP), o qual implicou o desenvolvimento de uma instrumentação eletrônica dedicada para favorecer sua portabilidade no intuito de inspecionar defeitos em isoladores em campo. Um sistema como o RDP (com ótima resolução) aliado a métodos computacionais de que permitam um diagnóstico livre de erros, propicia na detecção de defeitos em isoladores em postes uma economia na prevenção de desligamentos indesejáveis na rede.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Hackam, R. “Outdoor HV Composite Polymeric Insulators”, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 6, No. 5, pp 557-585, 1999.
- [2] Mery, D; Filbert, D. Automated Flaw Detection in Aluminum Castings Based on the Tracking of Potential Defects in Radioscopic Image Sequence. In: *IEEE Trans. Robotics and Automation*, 18(6), pp 890-901, 2002.
- [3] R. Mery, D. “Processing Digital X-Ray Images and its Application in the Automated Visual Inspection of Aluminum Castings”, 3er Panamerican Conference for Nondestructive Testing – PANNDT, Rio de Janeiro, 2003.
- [4] J. Mery, D; Filbert, D. “Classification of Potential Defects in the Automatic Inspection of Aluminium Castings Using Statistical Pattern Recognition”, [Online] Disponível em: <<http://www.ndt.net/article/ecndt02/232/232.htm>> Acesso em: 30 jan. 2004
- [5] Gonzales, R C; Woods, R E. *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- [6] Silva, R R. “Reconhecimento de Padrões de Defeitos de Soldagem em Radiografias Industriais”, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.
- [7] W. C. Godoi, R. R. da Silva and V. Swinka-Filho, “Pattern Recognition in the Automatic Inspection of Voids in Polymeric Insulators”, *Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, a ser publicado.
- [8] Halmshaw, R. *Industrial Radiography: Theory and Practice*, Chapman and Hall, London, 1995.