

CAPÍTULO 4. PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS DE RADIOGRAFIA INDUSTRIAL

4.1 Introdução

As imagens radiológicas são imagens analógicas (quantidade contínua), assim como as imagens em sinais de vídeo, em que a voltagem varia suavemente quando o brilho da imagem é varrido no rastreamento das linhas horizontais. Estas imagens analógicas não podem ser diretamente tratadas por computador, pois os computadores trabalham com números. Se convertida para uma forma digital (quantidade discreta), a imagem pode ser modificada de várias maneiras, e, se necessário, armazenada em um computador, antes de ser apresentada em um monitor ou impressa (Oliveira Filho, s.d.).

Os avanços em *softwares* de tratamento de imagens vieram a auxiliar a interpretação de vários tipos de imagens digitais, entre elas as radiografias de componentes industriais. Serão abordados os fundamentos sobre processamento de imagens digitais e a aplicação de alguns *softwares* comerciais utilizados usualmente.

4.2 Fundamentos de Imagem Digital

Uma imagem pode ser definida como uma função bidimensional, $f(x,y)$, onde x e y são coordenadas espaciais, e a amplitude de f em um par de coordenadas (x,y) é chamado de intensidade ou nível de cinza da imagem naquele ponto. Quando x e y e os valores de amplitude de f são finitos, quantidades discretas, chamamos a imagem de *imagem digital* (González, 1992).

Há diferentes formas de uma imagem digital ser criada. Um deles é o mapa de bits (*bitmap*). O bit é uma unidade de informações de computador – uma das chaves de ativação/desativação da memória – e é geralmente representado por 1 (ativado) ou 0 (desativado). Os valores ativado/desativado também podem ser utilizados para representar as cores preta e branca. O mapa de bits ou *bitmap* é um esquema de bits em padrão de grade.

Os *pixels* (forma abreviada de *picture elements* – elementos de imagem) são os blocos básicos de construção de todas as imagens de mapa de bits – os elementos individuais que são combinados para formar uma imagem. A imagem digital é composta de um número finito de elementos, cada um tem uma localização e um valor em particular.

Em se tratando de imagens de computador, o termo *pixel* é utilizado para uma variedade de itens: os pontos individuais da tela do computador, os pontos criados por uma impressora a laser e os elementos individuais de uma imagem gráfica de mapa de bits. Como esses elementos não funcionam da mesma maneira, não é indicado identificar todos eles como *pixels*. Esses elementos são definidos da seguinte maneira:

- ✍ Pixels – dizem respeito aos elementos individuais de arquivos de imagens gráficas de mapa de bits;
- ✍ Pixels de vídeo – identificam os elementos de imagem da tela do computador;
- ✍ Pontos – dizem respeito aos pontos individuais criados pelas impressoras a laser e pelas fotocompositoras.

Em uma imagem gráfica de mapa de bits, a cor de cada *pixel* (preta, branca, cinza ou qualquer outra cor) é registrada pelo computador com a utilização de bits. Quanto mais bits o computador utiliza, mais cores são obtidas. O número de bits usado pelo computador para cada *pixel* é a profundidade de bit.

No tipo mais simples de imagem gráfica de mapa de bits, existem somente *pixels* com dois valores possíveis – preto ou branco, ou *on* (ativado) ou *off* (desativado). Esse tipo de *pixel* utiliza somente um bit da memória do computador. Desse modo, uma imagem que utilize *pixels* somente desse tipo pode ser denominada “imagem de 1 bit”. Para criar cores diferentes da cor preta ou da branca, o computador utiliza mais bits de informação. O número de cores ou tons de cinza disponíveis é igual a dois elevado à potência do número de bits.

Número de cores ou tons de cinza = 2^n ,
onde n = número de bits.

Havendo dois bits de informação para representar o *pixel*, existirão 2^2 , ou quatro, combinações possíveis de ativado e desativado; utilizando-se 0 para indicar desativado e 1 para indicar ativado, as combinações poderiam ser escritas como 00, 01, 10 e 11. Com dois bits, pode-se criar quatro níveis (tons) de cinza para o *pixel* (Corrigan, 1994). Se o conversor analógico-digital só tiver 8 bits, ele só poderá atribuir valores entre 0 (= 00000000) e 255 (=11111111). Se o conversor tiver 10 bits, ele poderá armazenar valores entre 0 e 1024. Se tiver 16 bits, poderá armazenar valores entre 0 e 65536. A cor de 24 bits é freqüentemente chamada de “cor verdadeira”, já que 16 milhões de cores é uma quantidade mais do que suficiente para aproximar-se de todas as cores que o olho humano pode distinguir (Oliveira Filho, s.d.) (Figura 4.1).

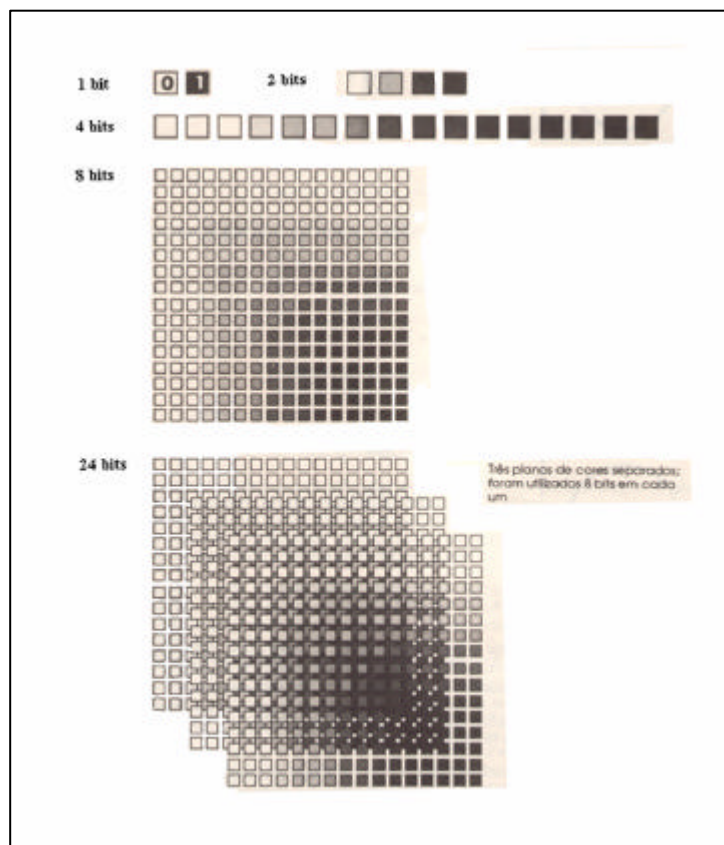


Figura 4.1 – Representação esquemática dos diferentes níveis de profundidade de bits.

Outro ponto importante ao se caracterizar uma imagem digital é a sua resolução. A definição mais simples de resolução é a seguinte: a resolução é o número de unidades por uma área determinada. Por exemplo, a resolução de uma impressora a laser pode ser especificada como 300 pontos por polegada (dpi, do inglês *dots per inch*). Isto significa que a impressora a laser pode imprimir 300 pontos individuais em cada polegada linear. Nesse caso, as unidades são os pontos de laser e a área é medida em polegadas. A resolução de um arquivo de imagens gráficas é medida em *pixels* por polegada (ppi).

Ao contrário das imagens gráficas de mapa de bits que utilizam coleções extensas de pontos individuais na criação da imagem, os gráficos vetoriais criam imagens com a utilização de descrições matemáticas de objetos como circunferências e linhas. Uma das vantagens é que eles ocupam relativamente pouca memória do computador para o armazenamento. Outra vantagem é a de que o grau de nitidez e uniformidade do gráfico vetorial será sempre determinado pela impressora, não importando como ele seja dimensionado. Os comandos vetoriais simplesmente informam que o dispositivo de saída deve criar o objeto com um tamanho determinado utilizando o máximo possível de pontos. Em outras palavras, quanto mais pontos forem utilizados pelo dispositivo de saída, mais uniforme será o objeto (com o mesmo tamanho) (Corrigan, 1994).

4.3 Representação da Imagem Digital

Uma imagem monocromática é uma função de intensidade de luz bidimensional $f(x,y)$, onde x e y denotam coordenadas espaciais e o valor de f no ponto (x,y) é proporcional ao brilho (ou nível de cinza) da imagem neste ponto. Esta função também pode ser vista como uma superfície no espaço (x, y, z) , onde para cada ponto (x,y) plota-se na coordenada z o valor de $f(x,y)$.

A intensidade de luz $f(x,y)$ pode ser modelada da seguinte forma (Equação 4.1):

$$f(x,y) = i(x,y) r(x,y) \text{ (iluminação do ambiente e refletância dos objetos),} \quad (4.1)$$

onde $0 < f(x,y) < 8$, $0 < i(x,y) < 8$ e $0 < r(x,y) < 1$.

Para gerar uma imagem digital, $f(x,y)$ deve ser digitalizada ao longo de x e y , e na amplitude $z = f(x,y)$. Para tanto é feita uma amostragem (normalmente uniforme) de $f(x,y)$ nas direções x e y , gerando uma matriz de $M \times N$ amostras, seguida de uma quantização do valor de $f(x,y)$ em L níveis inteiros de cinza. Nesta matriz, cada elemento $p(x,y)$ é chamado *pixel*. Diz-se então que a imagem tem dimensão M pixels na horizontal (eixo x) e N pixels na vertical (eixo y) (Figura 4.2).

Em uma imagem digital monocromática, o valor do *pixel* é um escalar entre 0 e L . Imagens multibandas podem ser vistas como imagens nas quais cada *pixel* tem associado um valor vetorial $p(x,y) = (I_1, I_2, \dots, I_n)$, onde $0 = I_i = L_i - 1$ e $i = 1, 2, \dots, n$. Em geral, I_i pode representar grandezas diferentes, tais como: temperatura, pressão, frequência, amostradas em pontos (x,y) e com intervalos de valor completamente diferentes. No entanto, se L_i , $i = 1, 2, \dots, n$, for igual a 256, por exemplo, teremos uma imagem com profundidade n bytes por *pixel* (Figura 4.3 a). Uma outra forma de representar uma imagem multibanda é como uma seqüência de imagens monocromáticas, isto é, as bandas $p_i(x,y) = I_i$, $0 = I_i = L_i - 1$ e $i = 1, 2, \dots, n$. Neste caso, se L_i , $i = 1, 2, \dots, n$, for igual a 256, teremos n bandas com profundidade 1 byte por *pixel* (Figura 4.3 b).

Uma imagem colorida é uma imagem multibanda, onde a cor em cada ponto (x,y) é definida através de três grandezas: luminância, matiz e saturação. A luminância está associada com o brilho da luz, a matiz com o comprimento de onda dominante e a saturação com o grau de pureza (ou intensidade) da matiz. A maioria das cores visíveis pelo olho humano pode ser representada como uma combinação de três cores primárias: vermelho (R), verde (G) e azul (B). Assim, uma representação comum para uma imagem colorida utiliza três bandas R, G e B com profundidade 1 byte por *pixel* (ou uma imagem com profundidade 24 bits por *pixel*).

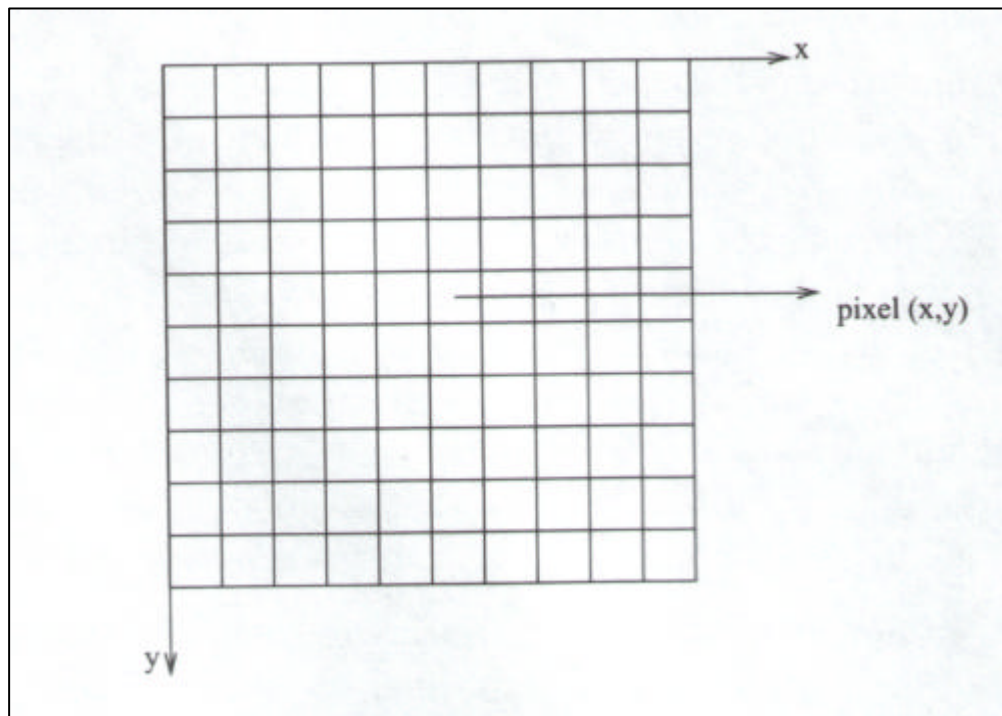


Figura 4.2 – Representação de uma imagem monocromática digital.

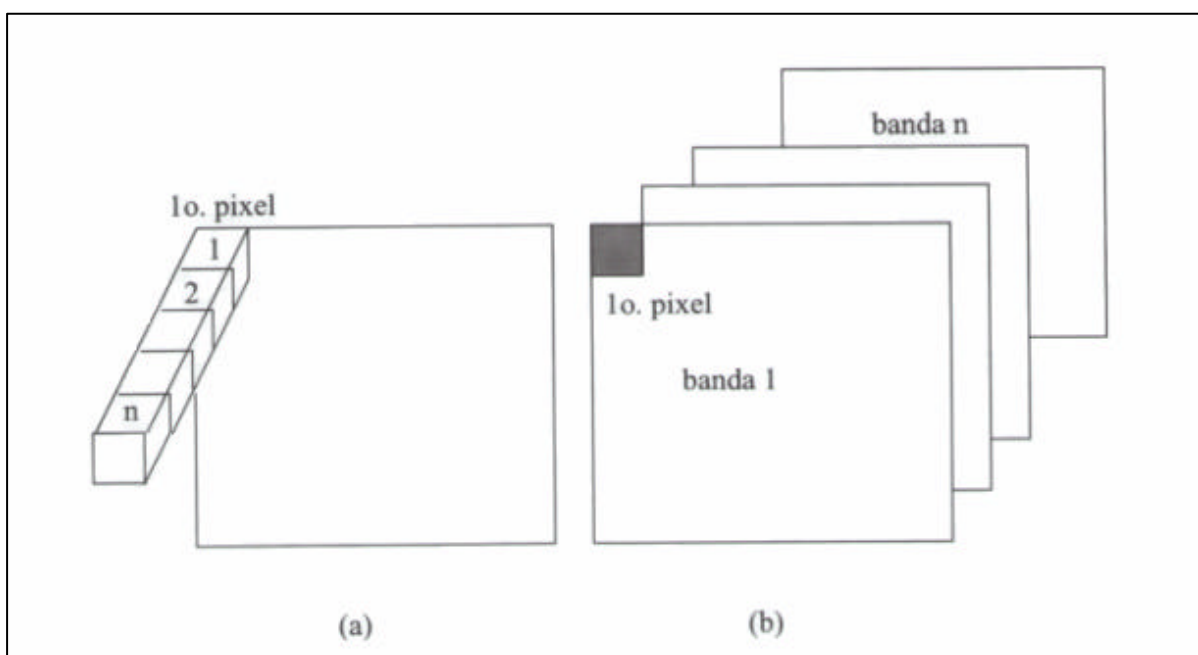


Figura 4.3 – (a) imagem com n bytes por *pixel*; (b) n bandas com um byte por *pixel*.

O que comumente chamamos imagem é uma imagem digital bidimensional. Os conceitos de imagem digital monocromática e multibanda podem ser estendidos para uma terceira dimensão que pode ser espaço ou tempo. Isto é o mesmo que dizer que a amostragem e a quantização podem ocorrer em (x,y,z) ou (x,y,t) , onde x , y e z representam o espaço e t o tempo (Falcão & Leite, s.d.).

4.4 Etapas do Processamento de Imagens

Pode-se entender uma imagem como uma forma compacta de representar muitas informações. Em um sistema de processamento de imagens, estas informações podem passar por diversas formas de representação. Portanto, as etapas do processamento de imagens descrevem o fluxo destas informações com um dado objetivo definido pela aplicação.

Após a aquisição da imagem, o pré-processamento consiste na maior parte de transformações lineares e não-lineares aplicadas à imagem visando a várias metas: melhoramento de contraste, remoção de ruído, regiões de interesse, descorrelação e codificação das informações para transmissão da imagem, reamostragem dos *pixels* em uma nova escala, treinamento e extração de características de imagem para segmentação, etc. Muitas aplicações requerem apenas operações de pré-processamento. As informações de interesse podem também ser extraídas das imagens e representadas de uma outra forma. Para tanto, a segmentação de imagens particiona a imagem em regiões disjuntas com algum significado para a aplicação. A saída da segmentação pode ser a fronteira do objeto com seu exterior ou os pontos de seu interior. Isto define duas formas de representação para o objeto. A representação consiste, portanto, das várias formas de armazenar a fronteira e o interior de objetos segmentados. Esta nova representação da imagem contém informações sobre a forma e a topologia dos objetos. A descrição quantitativa destas informações através da extração de características estruturais complementa o sentido de representação. Em seguida, com base na descrição, o reconhecimento associa um rótulo a cada objeto segmentado enquanto a interpretação associa um significado ao conjunto de objetos segmentados.

Um exemplo em uma aplicação de leitura automática de endereços é o reconhecimento e a interpretação de um conjunto de caracteres como o código de endereçamento postal (Falcão & Leite, s.d.) (Figura 4.4).

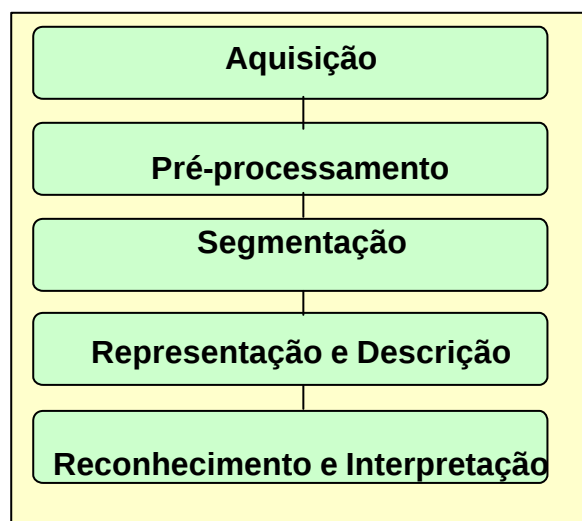


Figura 4.4 – Etapas do processamento de imagens.

4.5 Tópicos de Processamento de Imagens

4.5.1 Reamostragem

Uma imagem digital pode ser reamostrada visando a reduzir ou aumentar sua resolução espacial. No caso de redução tem-se uma subamostragem e no caso de aumento de resolução tem-se uma interpolação. Considerando uma imagem tridimensional representada por $p(x,y,z)$, $x = 0, 1, \dots, M - 1$, $y = 0, 1, \dots, N - 1$, $z = 0, 1, \dots, K - 1$. Para reamostragem, considera-se inicialmente uma representação intermediária na qual x' , y' e z' podem assumir valores reais positivos. Esta representação intermediária consiste de *pixels* $q(x',y',z')$ cujo valor é uma função linear/não-linear do valor dos *pixels* p da imagem original que estão em uma certa vizinhança de q , e $x' = mx$, $y' = ny$, $z' = kz$, m, n, k são valores reais e positivos. Em seguida, os valores de x' , y' e z' são reenumerados tal que $x' = 0, 1, \dots, M' - 1$, $y' = 0, 1, \dots, N' - 1$, $z' = 0, 1, \dots, K' - 1$. Na subamostragem, $m, n, k > 1$ e, na interpolação, $0 < m, n, k < 1$. É possível subamostrar uma imagem em uma dada direção e interpolá-la em outra.

4.5.2 Histograma

O histograma dos níveis de cinza de uma imagem f , $h_f(z)$, constitui uma operação global indicando a frequência de ocorrência dos níveis de cinza ou brilho z de f (função densidade de probabilidade). Assim, o histograma de uma imagem com L níveis de cinza é representado por um vetor de L elementos.

O histograma dá uma idéia global da dinâmica de uma cena e tem aplicações em inúmeras transformações de imagens, tais como filtragem, segmentação, reconhecimento de padrões, etc. Um mesmo histograma pode estar associado a diferentes imagens e a sua informação é invariante a operações de rotação e translação (objetos se movendo em um mesmo plano de fundo) da imagem original. Um histograma pode ser definido igualmente para imagens multi-espectrais. No caso de imagens coloridas, por exemplo, pode-se definir um histograma para cada banda espectral ou um histograma tridimensional referente às componentes RGB da imagem (Figura 4.5).

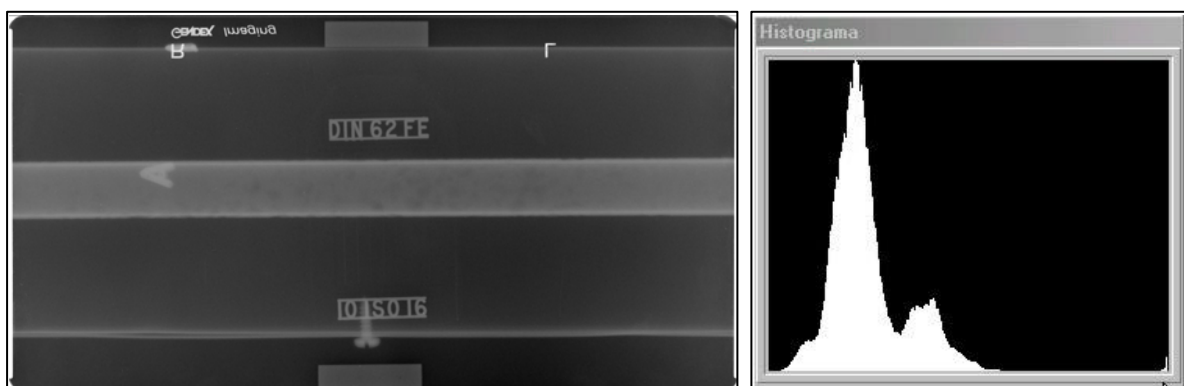


Figura 4.5 – À esquerda, imagem de radiografia de tubulação com isolamento térmico; à direita, seu respectivo histograma.

4.5.3 Operações Lineares: a Transformada de Fourier

A Transformada de Fourier (TF) é uma ferramenta largamente empregada em processamento de imagens. A TF decompõe um sinal em suas componentes elementares seno e cosseno. Aplicada a uma imagem no domínio espacial, gera uma informação no domínio da frequência, em que cada ponto, definido por um vetor do tipo $(k.\text{cosseno}, k.\text{seno})$, representa uma dada frequência contida no domínio espacial da imagem. As aplicações referentes à TF são inúmeras: filtragem, segmentação, reconhecimento de padrões, descrição de imagens, compressão e reconstrução constituem algumas delas.

4.5.4 Filtragem Linear

A Transformada de Fourier pode ser empregada em inúmeras aplicações de processamento de imagens, e um exemplo típico destas aplicações refere-se à filtragem. Com o objetivo de eliminar ou realçar determinadas componentes da imagem, tais como ruídos ou contornos, a filtragem no domínio da frequência explora a característica reversível da TF e a informação contida neste domínio.

Os filtros passa-baixas, por exemplo, associados às regiões homogêneas da imagem, “deixam passar” as componentes de baixa frequência, atenuando as de alta frequência relacionadas com as transições bruscas da imagem. Estas transições são representadas por ruídos ou contornos, o que significa que ao eliminar-se o ruído indesejável da imagem a partir de um filtro passa-baixas, são atenuados os seus contornos nas mesmas proporções, caso típico do processamento linear. Os filtros passa-altas, por sua vez, atenuam ou eliminam as componentes de baixas frequências, obtendo um realce nas zonas de alta frequência do sinal, isto é, dos seus contornos e, infelizmente, ruído. Já os filtros passa-faixas são associados às regiões compreendidas entre as baixas e altas frequências. São empregados, por exemplo, em problemas de restauração de imagens.

4.5.5 Filtragem Não-linear

Um dos grandes problemas relacionados com a eliminação do ruído de uma imagem através de uma filtragem linear refere-se à suavização dos seus contornos. O processamento não-linear aborda este problema tentando evitar uma filtragem homogênea ao longo das regiões próximas a estes contornos (Falcão & Leite, s.d.).

4.6 Formatos de arquivos de imagens gráficas

A seguir, há uma breve explicação dos principais formatos de arquivos utilizados no processamento de imagens gráficas digitais.

4.6.1 BMP

Como o formato BMP é o formato de mapa de bits nativo do *Windows*, quase todos os programas baseados no *Windows* fornecem suporte para ele. Por se tratar de um formato simples, são pequenas as possibilidades de ocorrer algum problema com um programa projetado para ler arquivos BMP. Em contrapartida, os arquivos

BMP em geral tendem a ocupar mais espaço em disco do que outros formatos de mapa de bits.

4.6.2 GIF: *Graphics Interchange Format*

Como os arquivos de mapa de bits podem consumir muita memória, foi desenvolvido um padrão de mapa de bits que ocupa o mínimo de memória possível: o GIF. Nas imagens GIF só se pode utilizar uma palheta indexada de cores (não é possível criar imagens que usem cores de 24 bits).

4.6.3 JPEG: *Joint Photographic Experts Group*

A compressão JPEG pode reduzir drasticamente o tamanho de arquivos de imagens de mapa de bits. A compressão padrão pode reduzir os arquivos a um décimo do tamanho original, mas é possível chegar a taxas de compressão de 100:1. O JPEG pode atingir essas taxas de compressão principalmente por utilizar a compressão com perda, onde os arquivos comprimidos perdem alguns dados da imagem original. Essa perda pode ter pouca influência sobre o aspecto da imagem, porque o JPEG tende a descartar dados de menor importância, cuja ausência freqüentemente não é percebida pelo usuário.

4.6.4 TIFF: *Tagged Image File Format*

O formato TIFF é um dos formatos de mapa de bits mais amplamente utilizados. Ele armazena uma grande variedade de dados de imagem em campos de *tags* (marcas). Cada campo pode registrar informações sobre o mapa de bits ou apontar para outros campos. O software que lê o arquivo pode ignorar os campos desnecessários ou desconhecidos. Graças à quantidade de recursos oferecida e à versatilidade do formato TIFF, ele é o formato de mapa de bits ideal para o envio de arquivos com segurança a terceiros. Outra vantagem do formato TIFF é a sua solidez: a especificação dos arquivos TIFF pode definir uma das mais amplas faixas de dados de mapa de bits, esquemas de compressão e mesmo recursos especiais que não estão disponíveis em outros formatos. Os mapas de bits dos arquivos TIFF podem ser monocromáticos, podem apresentar cores RGB e cores de separação CMYK. Também podem ser incorporados diversos esquemas de compressão para reduzir o tamanho dos arquivos – o que é importante quando existem mapas de bits extensos com diversas cores. Uma grande variedade de dados adicionais sobre a imagem de mapa de bits também pode ser registrada no formato TIFF. Alguns desses dados são os seguintes: (1) uma curva de resposta para imagens em cores e com escala de tons que ajuda a corrigir as diferenças de exibição em diversos dispositivos de saída; (2) campos com informações detalhadas sobre a imagem, entre as quais o software em que ela foi criada, sua data de criação, o nome do criador e comentários; (3) dimensões da imagem e a resolução com que ela deve ser enviada para o dispositivo de saída; (4) informações detalhadas sobre as cores da imagem original, de modo que os valores das cores possam ser rigorosamente mantidos.

4.6.5 CPT

Os arquivos salvos no formato de arquivo de imagem Corel Photo-paint (arquivos .cpt) são gráficos em formato de mapa de bits que representam formas, como *pixels*, organizadas para formar uma imagem. Quando um gráfico é salvo no formato CPT, máscaras, objetos flutuantes e lentes são salvos com a imagem (Corrigan, 1994).

4.7 Softwares de Tratamento de Imagens Digitais

Diante dos avanços tecnológicos, muitos *softwares* foram desenvolvidos visando ao tratamento de imagens digitais. Estes programas fornecem uma ferramenta importante a vários profissionais, e também ao examinador de componentes industriais. Com estes *softwares*, é possível o estabelecimento de informações importantes sobre o estado destes componentes, aumentando assim a produtividade, a segurança e diminuindo o custo acarretado por substituições de componentes desnecessárias. No mercado, são encontrados vários exemplos desses programas: *Corel Draw 10*, *Adobe Photoshop 7.0*, *Tomohawk*, etc.

Alguns programas, como o *AMIKA 401*, possibilitam a estimativa da espessura de paredes e diâmetro de sistemas de tubulação isolados ou não e a avaliação do fluxo por um *software* integrado. As radiografias geradas por um detector digital são armazenadas, avaliadas e arquivadas no *notebook* diretamente conectado. Todos os dados de objeto e exposição que são necessários para uma subsequente impressão de um relatório de teste podem ser coletados pelo *software* integrado (Thiele & Friemel, 2000) (Figuras 4.6 e 4.7).

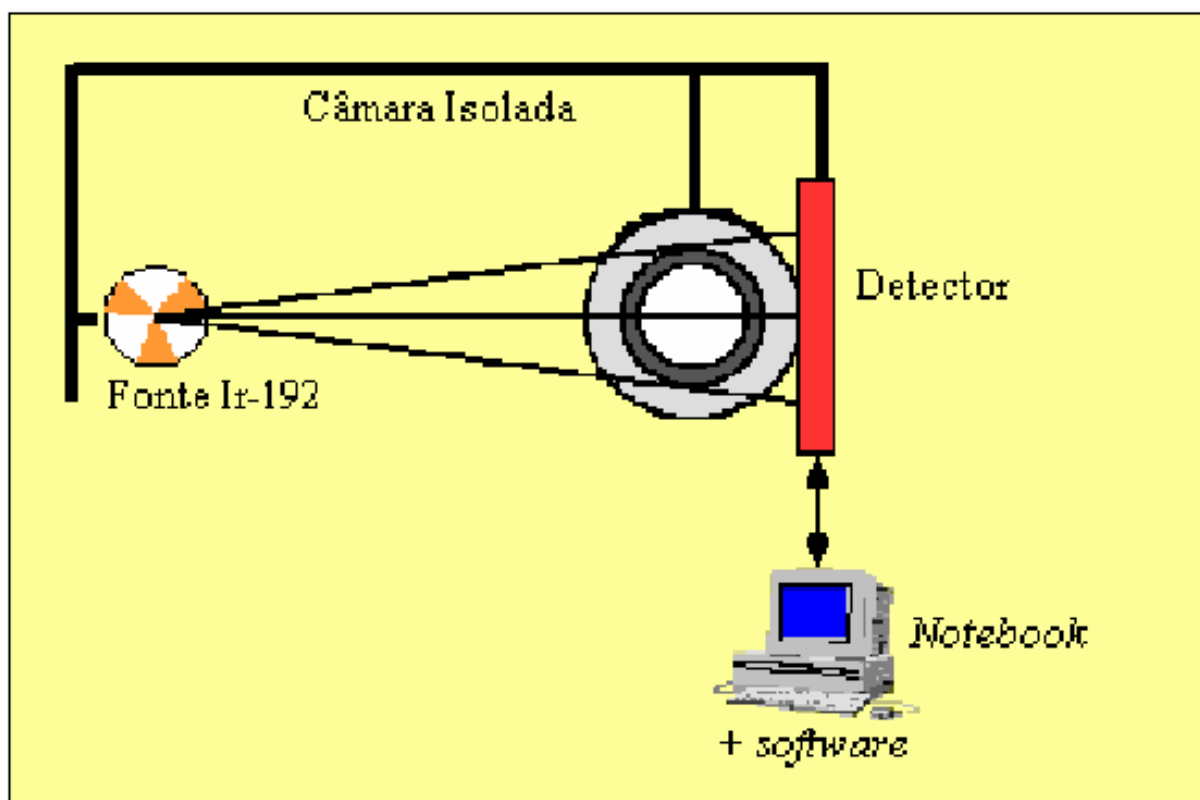


Figura 4.6 – Esquema do sistema de inspeção de espessura de parede de tubulação por *software*.

Também é possível a avaliação da área penetrada tangencialmente da espessura da parede em qualquer posição na área testada tão bem quanto a avaliação da espessura residual da parede em áreas reconhecidamente corroídas na área da parede verticalmente penetrada e a estimativa do diâmetro da tubulação. Os dados mensurados são adicionados aos dados do objeto e classificados de acordo com regras predefinidas, assim uma declaração clara dos reparos requeridos está disponível.

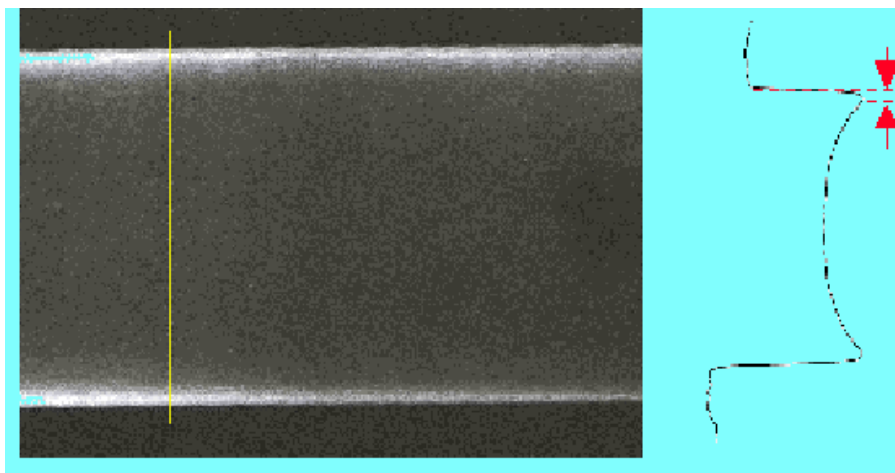


Figura 4.7 – Mensuração digital da secção da parede a ser avaliada, marcada por uma linha do cursor perpendicular à secção de parede.

4.8 Materiais e Métodos

Partindo dos resultados radiográficos realizados e discutidos no capítulo 2, ou seja, utilizando gamagrafia com fonte de Ir-192 e detetor *Imaging Plate*, dos componentes: tubulação com revestimento térmico, terminal do elemento de bateria automotiva e isolador elétrico de alta tensão, aplicamos alguns recursos de programas comerciais de edição de imagens a fim de avaliar a potencialidade de realçar detalhes das imagens originais.

Os programas utilizados foram:

- ✍ *VixWin 2000*
- ✍ *Adobe Photoshop 7.0*
- ✍ *Corel Photopaint 10*

4.8.1 VixWin 2000

O *VixWin 2000* é uma aplicação do sistema operacional *Windows* para diagnóstico por imagem maxilofacial e dental. Ele controla a captura, exibição, tratamento, análise e armazenamento de dados de imagens de raios-X digitais dos sistemas de imagem digitais *Gendex DenOptix* e *Visualix/GX-S*.

Ele também pode tratar outros tipos de imagens diagnósticas, como, por exemplo, filmes de raios-X obtidos através de um *scanner* óptico ou imagens coloridas de uma câmera dental intra-oral ou extra-oral.

O *VixWin 2000* pode interfaciar com diferentes origens de imagens, como:

- o scanner *Gendex DenOptix* para captura de imagens de raios-X de *Image Plates* PSP;
- o *Gendex Visualix/GX-S* baseado em sensor de CCD para captura direta de imagens de raios-X;
- câmeras de vídeo;
- importa e exporta imagens digitais em vários formatos de arquivo padrão de e para outros programas.

4.8.2 Adobe Photoshop 7.0

O *software* de imagens profissional *Adobe Photoshop 7.0* fornece uma poderosa maneira de editar imagens, retocar fotos e compor recursos para um resultado de alta qualidade. Além de várias ferramentas de tratamento de imagens, o *Photoshop* possui um comando chamado “*Contact sheet generation*”, que tem a função de exportar uma pasta de imagens inteira em uma única página para permitir a fácil catalogação, pré-visualização e impressão.

4.8.3 Corel Photopaint 10

O *Corel Photopaint 10* é um programa de edição de imagens baseadas em *bitmap* que permite retocar imagens existentes ou criar gráficos originais. O *Corel Photopaint 10* oferece as ferramentas e os suprimentos de um estúdio gráfico profissional. Os efeitos especiais do *Photopaint* permitem aperfeiçoar a aparência de uma imagem. Pode-se aplicar um efeito especial à imagem inteira ou usar uma máscara ou uma lente para transformar somente uma parte da imagem.

Este programa possui efeitos bastante úteis, dentre eles os efeitos de contorno. Os efeitos especiais de contorno detectam e acentuam as bordas dos objetos, itens e áreas editáveis de uma imagem. Você pode ajustar o nível de detecção da borda, o tipo de bordas detectadas e a cor das bordas detectadas. Um dos efeitos de contorno mais utilizados é o “*Localizar bordas*”. Ele localiza as bordas em uma imagem e permite converter essas bordas em linhas suaves ou sólidas.

4.9 Resultados e Discussão

4.9.1 VixWin 2000

Com o *VixWin 2000*, pode-se obter várias técnicas de tratamento e análise de imagens digitais. Uma delas é a utilização da ferramenta “*Cores*”, que dá cores a imagens originalmente monocromáticas.

Através desta ferramenta, foi obtido um maior realce de uma falha na parede da tubulação, marcada com um círculo vermelho. Com esta ferramenta também é possível dar maior realce à parede da tubulação e avaliar diferenças na espessura desta, provavelmente provocadas por corrosão/erosão (figuras 4.8 e 4.9).

Uma outra ferramenta muito útil deste programa é a “*Tons Cinzentos*”. Com ela, pode-se obter uma mensuração indireta do diâmetro da tubulação e também verificar diferenças na espessura das paredes da tubulação. Selecionando dois pontos na imagem, o programa traça uma linha e exibe uma tela que demonstra os diferentes tons de cinza e sua respectiva localização na imagem selecionada. É possível fazer

o cálculo da distância entre dois níveis de cinza iguais e a comparação com outras seções da imagem, obtendo assim com maior confiabilidade a informação da diferença de espessuras de paredes da tubulação (Figura 4.10).

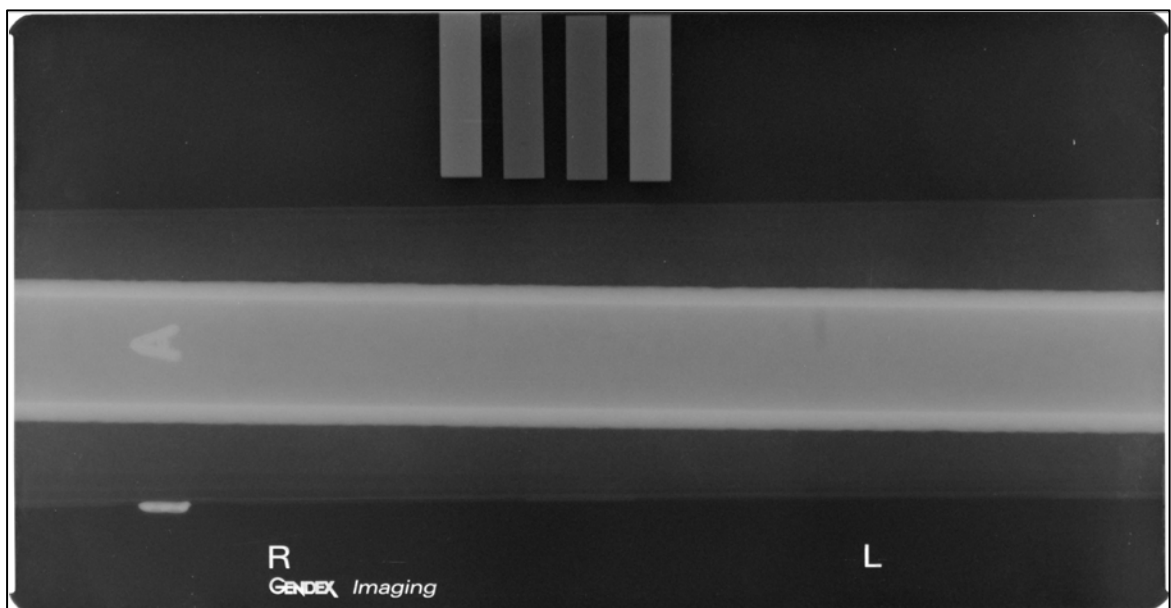


Figura 4.8 – Imagem radiográfica de uma tubulação com isolamento térmico sem tratamento da imagem.

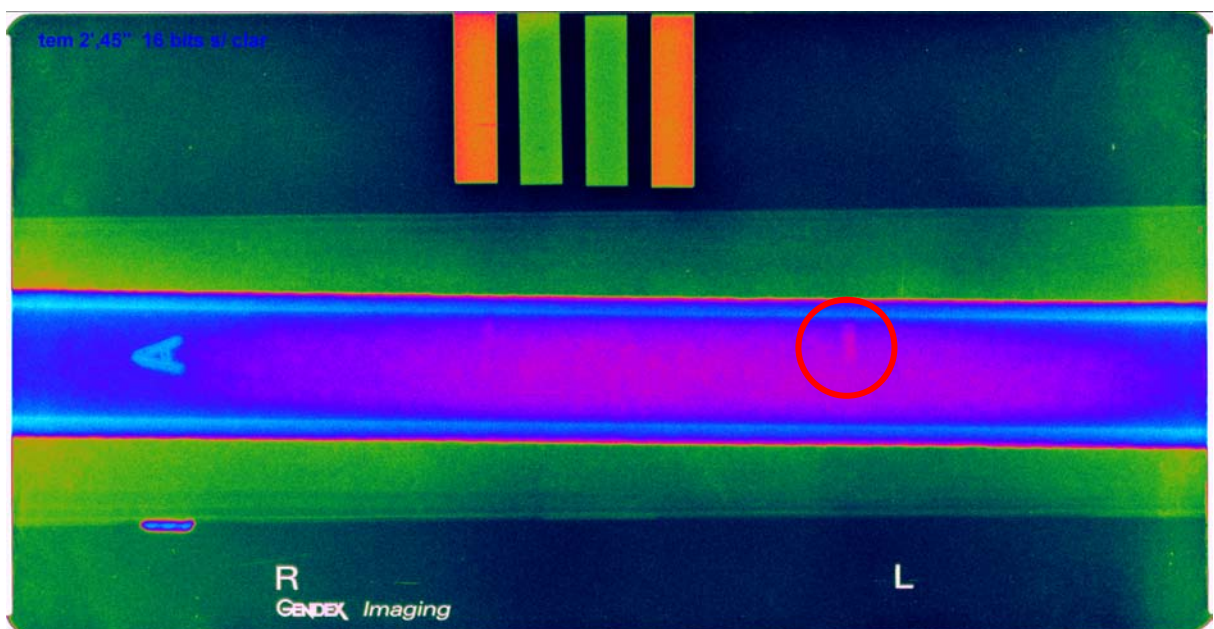


Figura 4.9 – Utilização da ferramenta “Cores” (VixWin 2000).

Aplicamos a ferramenta “baixo relevo” do programa VixWin2000 nas radiografias do isolador bom e quebrado (figuras 4.12 e 4.13), que permitiu observar de forma mais evidente a região do vidro temperado trincado, cujo aspecto é mostrado na foto da figura 4.11, próximo ao pino metálico que é montado por meio de rosca.



Figura 4.10 – Utilização da Ferramenta “Tons Cinzentos”.



Figura 4.11 – Foto de um fragmento trincado do isolador elétrico de vidro temperado.

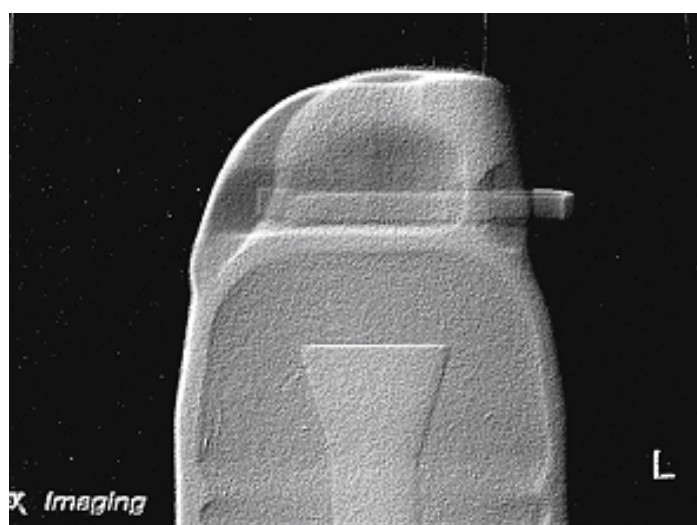


Figura 4.12 – Isolador bem tratado com a ferramenta “baixo relevo”. Observar a textura homogênea do vidro próxima ao pino metálico (VixWin2000).

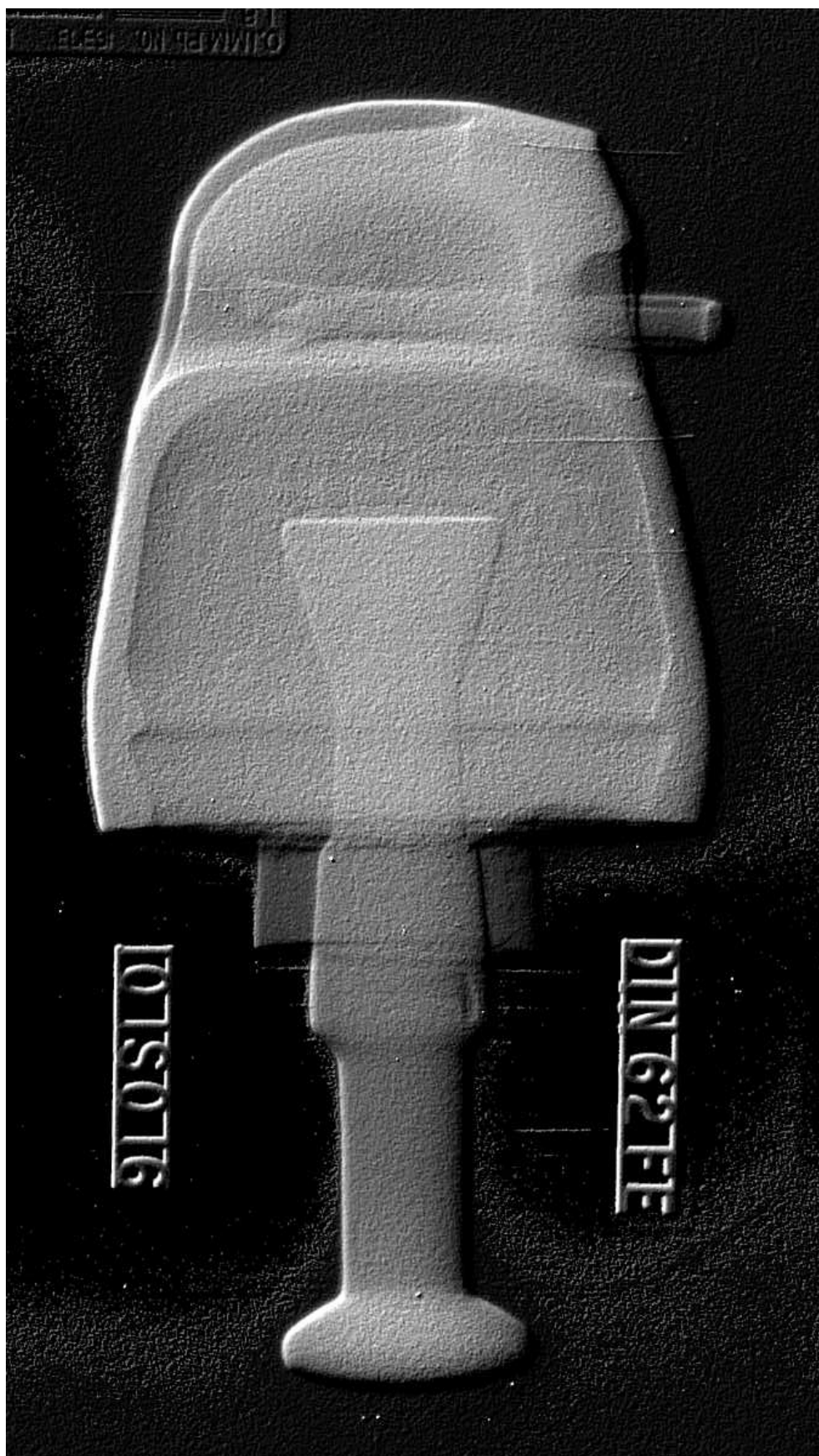


Figura 4.13 – Aplicação de “baixo relevo” a radiografia do isolador quebrado, observar a mudança na textura da imagem nas regiões próximas ao pino metálico (VixWin2000).

4.9.2 Corel Photopaint 10

Apesar de ser um programa de uso mais genérico, conseguimos realçar as “bolhas” presentes no processo de fabricação do componente de bateria automotiva, a partir do uso de duas ferramentas: a “solarização” e posteriormente a melhoria do contraste (figura 4.14).

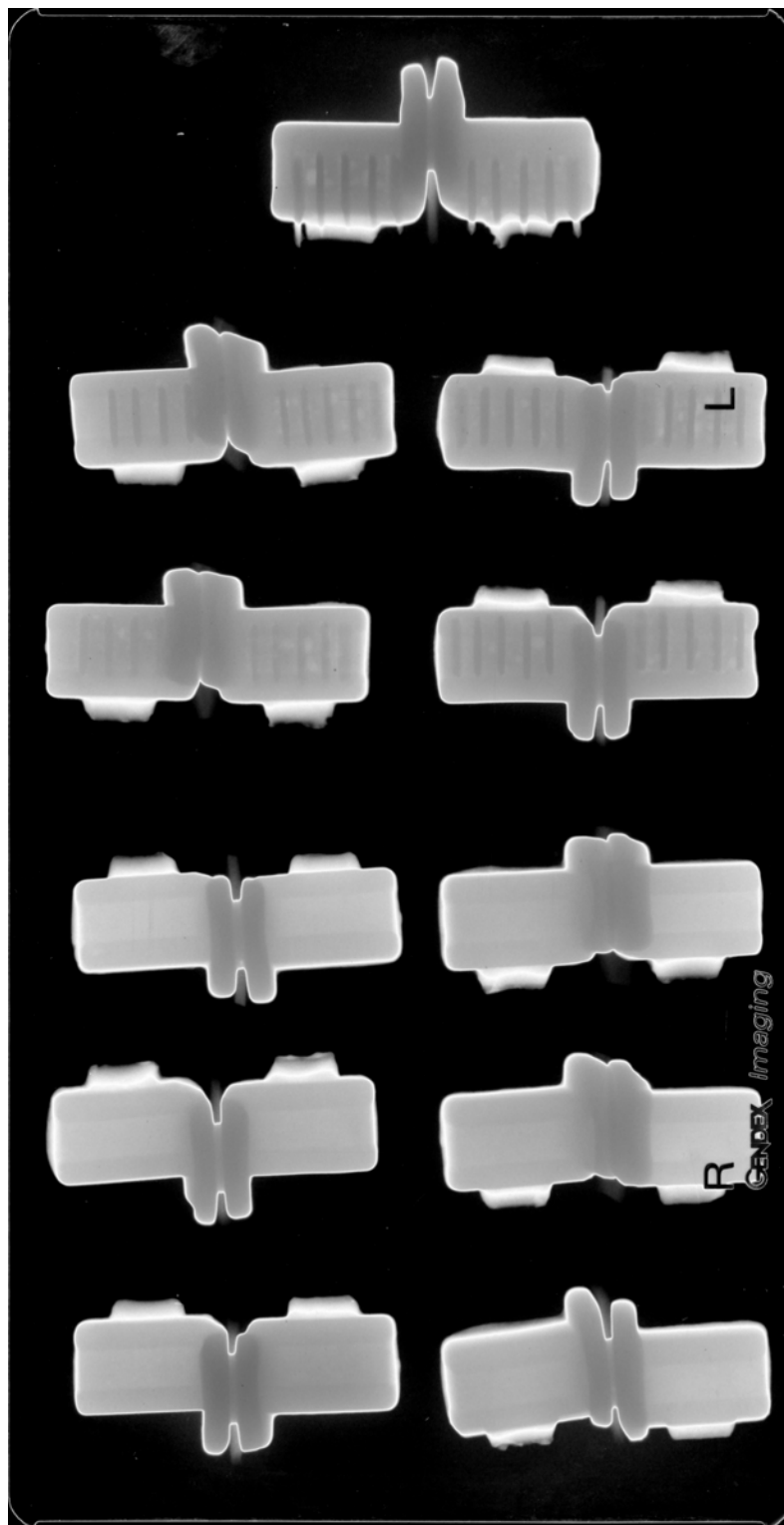


Figura 4.14 – Realce das “bolhas” no componente de bateria automotiva, por meio da aplicação das ferramentas “solarização” e posterior tratamento do “contraste” (Corel Photo Paint 10).

4.9.3 Adobe Photoshop 7.0

Com este programa, também utilizando o componente de bateria automotiva, aplicamos as ferramentas “encontrar bordas” e “melhorar tons de cinza” (figura 4.15) realçando significativamente as “bolhas” em relação às imagens originais.

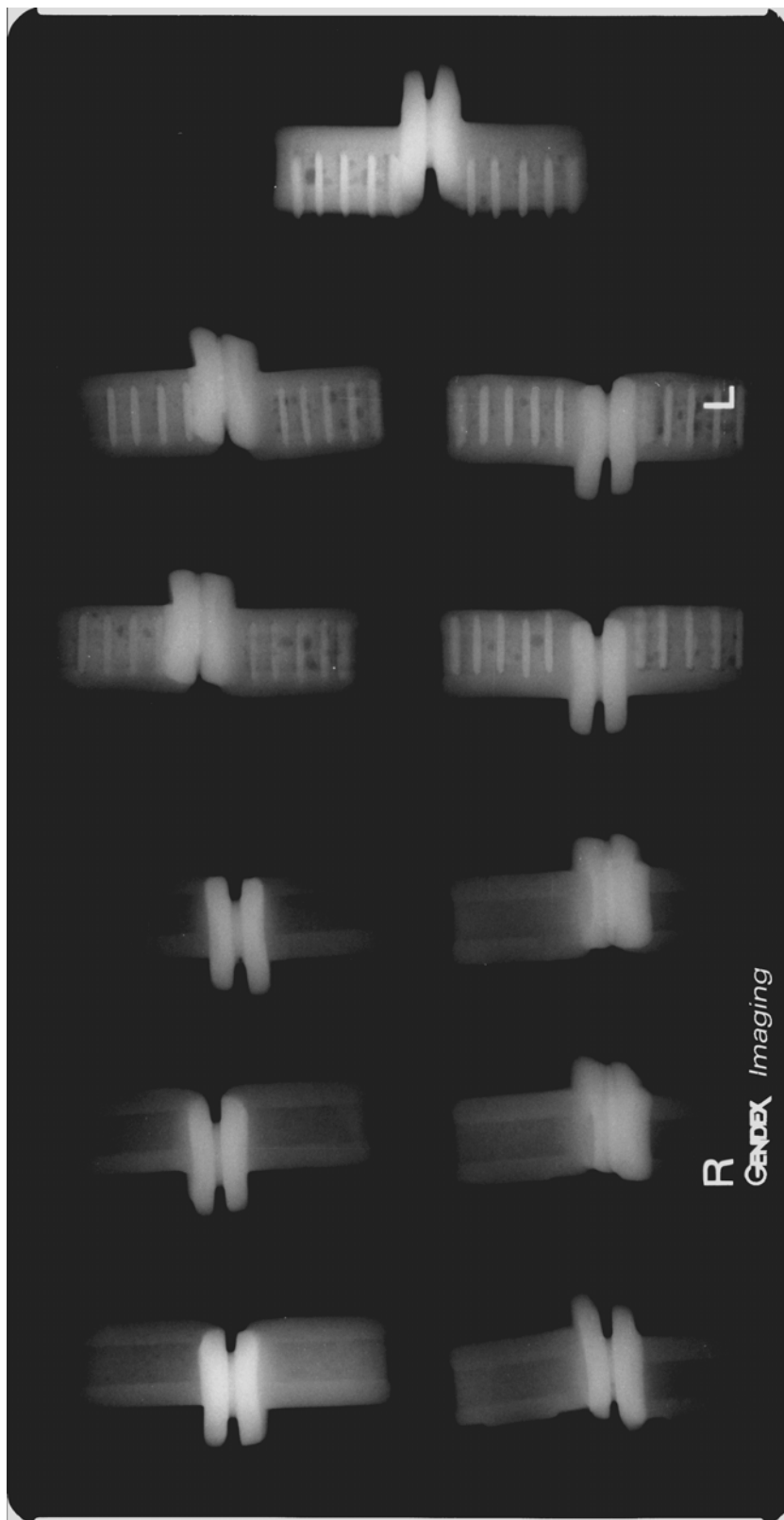


Figura 4.15 – Imagem do componente de bateria obtida após utilizar o efeito de contorno “Localizar bordas” e “melhorar tons de cinza” (Adobe Photoshop 7).

Aplicamos também a ferramenta “inverter”, seguida do ajuste de “gama” que nos levou à imagem tratada da figura 4.16.

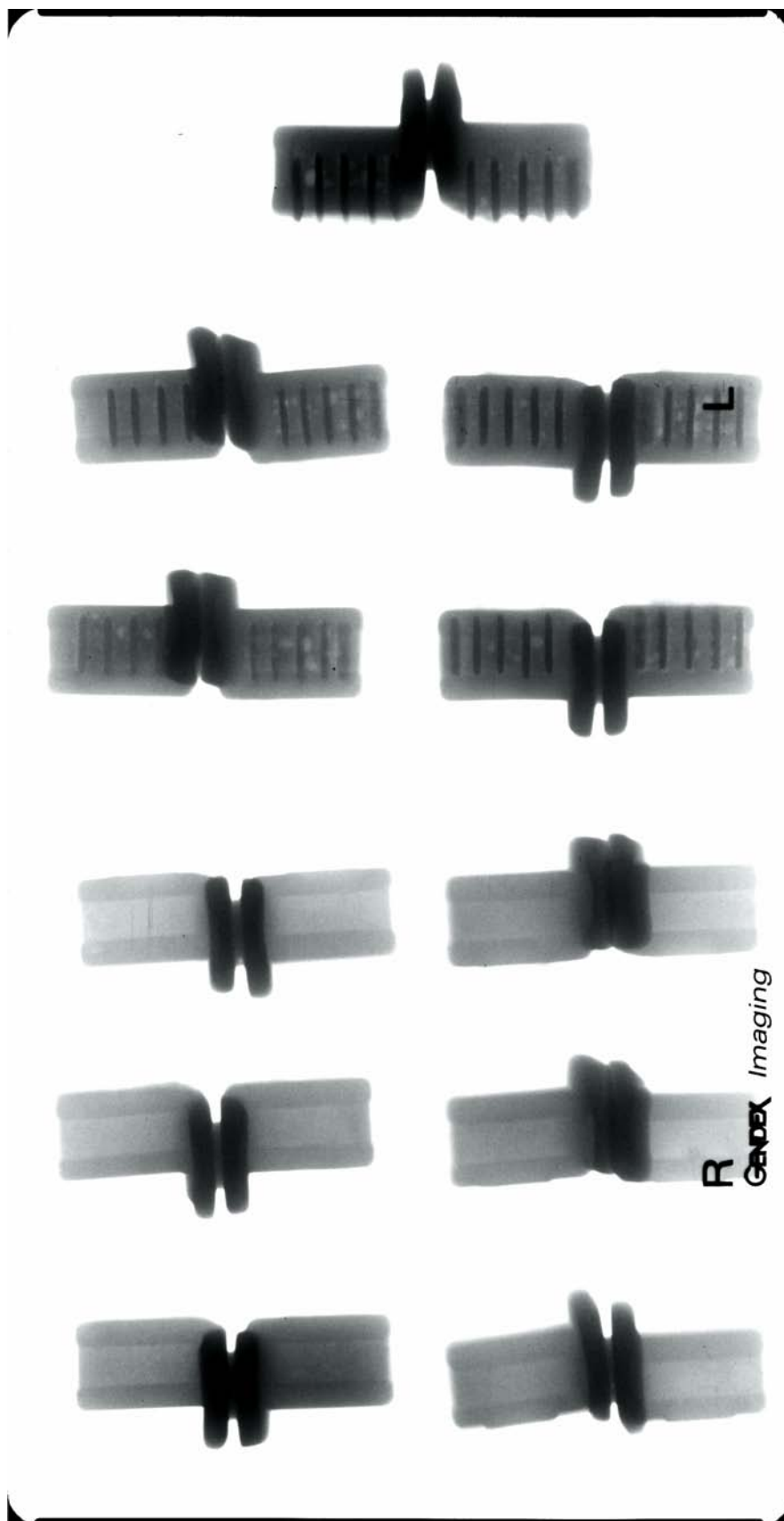


Figura 4.16 – Radiografia do componente de bateria automotiva, tratada com as ferramentas “inverter” e ajuste de “gama” (*Adobe Photoshop 7*).

4.10 Conclusões

Após utilizarmos estes três programas de tratamento de imagem, concluímos que estes recursos permitiram a melhoria do realce das imagens em relação às suas originais evidenciando defeitos e detalhes de interesse.

Porém, o programa *VixWin2000* mostrou recursos mais específicos para o nosso propósito, apesar dos bons resultados também obtidos com o *Corel Photo Paint 10* e o *Adobe Photoshop 7*.

CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

Apesar de seu custo relativamente baixo para um detetor digital, o *Imaging Plate* permitiu a obtenção de imagens de excelente definição, mesmo utilizando uma fonte com baixa atividade (1,5 Ci para a gamagrafia com Ir-192 e 8 KeV para radiação síncrotron) e amostras de elevada densidade como componentes de bateria em liga de chumbo, material tradicionalmente utilizado como proteção à radiação face ao seu elevado grau de absorção da mesma. Isto graças a sua elevada sensibilidade, em torno de dez vezes maior do que um filme convencional de brometo de prata.

A base ajustável montada reduziu de forma substancial o tempo despendido para o alinhamento do monocromador assimétrico, tornando a operação mais prática e rápida. O monocromador assimétrico construído mostrou-se eficaz para a produção de feixes de radiação monocromáticos, altamente paralelos e largos, eliminando o efeito da penumbra e da magnificação, com isto melhorando significativamente a qualidade da imagem radiográfica digital com *Imaging Plate*.

Os programas comerciais de processamento de imagens digitais utilizados mostraram-se úteis no propósito de realçar detalhes ocultos ou de interpretação mais difícil das radiografias obtidas.

5.2 Trabalhos Futuros

Complementando a experimentação com componentes de chumbo de bateria, poderiam ser radiografadas baterias ainda lacradas, com o objetivo de avaliar falhas na fabricação, e comparar com os resultados obtidos nos componentes separados do restante da bateria. O objetivo seria avaliar se a radiografia digital é um método de ensaio válido para avaliação de falhas no processo de fabricação de baterias.

Consideramos de grande utilidade o desenvolvimento de uma base ajustável para o monocromador assimétrico, remotamente acionada através de motores elétricos de passo, objetivando otimizar ainda mais o tempo para o alinhamento do cristal, permitindo realizar o seu alinhamento em tempo real.

Outra proposta que deixamos é a construção de monocromadores de maior fator de assimetria e dimensão, visando o ensaio de amostras de maior tamanho.

Finalmente, em relação ao processamento de radiografias digitais, sugerimos a avaliação de *softwares* comerciais para composição de imagens tridimensionais, com o propósito de visualizar de forma mais precisa a geometria do corpo ensaiado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGFA, E.U.A., Bélgica. *Computed Radiography*. E.U.A., Bélgica, s.ed., s.d. 4 p.

ARAÚJO, E.L. de; SHINOHARA, A.H.; IANO, M.C.; SUZUKI, C.K.; MIKAWA, Y. *Caracterização do quartzo sintético crescido a partir de semente de geometria I por topografia de raios-X*. Recife, Campinas, Muroran, s.d. 8 p.

BLETTNER, A.; CHAUVEAU, D.; GRESSET, F. Results of the First Industrial Applications of the New Generation of Imaging Plates. *Proceedings of 15th WCNDT*, Roma, 2000.

BRYTOV, I. A.; DMITRIEV, G. D.; IVANOV, V.N.; KLEVTSOV, S. A. X-Ray Diffraction Comparator – New Possibilities. *Journal of X-Ray Science and Technology*, Vol. 8, Nº 2, 1998.

CLOETENS, P.; BOLLER, E.; LUDWIG, W.; BARUCHEL, J.; SCHLENKER, M. Absorption and phase imaging with synchrotron radiation. *Europhysics News*, Vol. 32, Nº 2, 2001.

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear, <http://www.cnen.gov.br>.

CORNUEJOLS, D.; MANZONI-ETXEPARE, J.-F., ed. *Synchrotron Light*. ImediaSoft (Bucareste e Meylan), ESRF (Grenoble) e Springer-Verlag (Berlim, Heidelberg), 2001.

CORRIGAN, J. *Computação gráfica; Segredos e soluções*. Rio de Janeiro, Editora Ciência Moderna, 1994. 291p.

CULLITY, B. D.; STOCK, S.R. *Elements of X-ray Diffraction*. 3^a ed. EUA, Prentice Hall, 2001. 664 p.

DAU, H.-D.; KOUZNETSOV, A. Digital Image Processing in X-ray Control of Welds. *NDT.net*, Vol. 3, Nº 12, dez. 1998.

DAVIS, A. W.; BERRY, P. C.; CLAYTOR, T. N.; FRY, D. A.; JONES, M. H.; WHITE, S. M. *An Analysis of Industrial Nondestructive Testing Employing Digital Radiography as an Alternative to Film Radiography*. LA-UR-00-2560, 2000.

DITABIS, Germany. *DITABIS Imaging Plate Technology for all Applications in Transmission Electron Microscopy*. 2^a ed. Germany, s.d. 12p.

EASTMAN KODAK COMPANY. *Radiography in Modern Industry*. S.n.t.. Cap. 3, p. 20-27.

EWERT, U. New Trends in Industrial Radiology. *NDT.net*, Vol. 7, Nº 2, fev. 2002.

EWERT, U. Upheaval in Industrial Radiology. *NDT.net*, Vol. 7, Nº 12, dez. 2002.

EWERT, U.; ONEL, Y.; ZSCHERPEL, U.; STADE, J.; WILLEMS, P. Industrial Application of Computed Radiography with Luminescence Imaging Plates. *NDT.net*, Vol. 3, Nº 8, agosto 1998.

EWERT, U.; ZSCHERPEL, U.; HORKY, M.; KENNEDY, J.; HUTCHINSON, M. *A new computer based concept for digital radiographic reference images*. Barcelona, jun. 2002.

FALCÃO, A.X.; LEITE, N.J. *Fundamentos de Processamento de Imagem Digital*. Campinas, s.ed., s.d.. 91p.

FUJI PHOTO FILM, Co. *Imaging Plate*. FUJIFILM Worldwide, 2004.

FUJIFILM, Tokio. *FUJI Computed Radiography*; FUJI Imaging Plate. Tokio, 1997. 6p.

GONZALEZ, R.C.; WOODS, R.E. *Digital Image Processing*. 2^a Ed. Addison-Wesley, Reading, 1992.

GRUNER, S.M.; TATE, M.W.; EIKENBERRY, E.F. Charge-coupled device area X-ray detectors. *Review of Scientific Instruments*, Vol. 73, Nº 8, 2815-2842 pp., agosto 2002.

HATAGAWA, M.; KAWAHATA, H.; SHOGAKI, M.; YOSHIDA, R.; KARIYA, K. The effects of aliasing error on computed radiography in medical imaging. *Measurement*, Vol. 21, Nº 3, pp. 71-78, 1997.

HELFEN, L.; BAUMBACH, T.; BANHART, J.; STANZICK, H.; CLOETENS, P.; LUDWIG, W.; BARUCHEL, J. *High-resolution radioscopy and tomography for light materials and devices*. Dresden, Bremen, Grenoble, 2000. 7 p.

HIRANO, M.; YAMASAKI, K.; KITAZAWA, R.; KITAZAWA, S.; OKADA, H.; KATAFUCHI, T.; SAKURAI, T.; KONDOH, T.; OHBAYASHI, C.; MAEDA, S.; SUGIMURA, K.; TAMURA, S. Imaging of Fine Structure of Bone Sample with High Coherent X-ray Beam and High Spatial Resolution Detector. *Radiation Medicine*, Vol. 22, N° 1, 56-59 p.p., 2004.

HOLOGIC, E.U.A. *Digital Radiography Systems: An Overview*. E.U.A., 2000. 7 p.

JAGANNATHAN, H.; BHASKAR, N. P.; SRIRAMAN, P. C. N.; VIJAY, N. A. Step Towards Automatic Defect Pattern Analysis and Evaluation in Industrial Radiography Using Digital Image Processing. *Proceedings of 15th WCNDT*, Roma, 2000.

JUST, T.; THALE, H.; CLAUSEN, R. Interpretation of Radiographs by Digital Image Processing. *NDT.net*, Vol. 3, N° 10, out. 1998.

KNYAZYAN, S.; ZHAMKOCHYAN, S.; MARGARYAN, A.; MARIKYAN, G.; PARLAKYAN, L.; VARDANYAN, H.; ROSTOMYAN, T.; SIMONIAN, A.; WILD, J. *Development of ultrafast X-ray imaging detectors for experimental investigations at candle*. Yerevan, Texas, 2002.

KOTTER, E.; LANGER, M. *Digital radiography with large-area flat-panel detectors*. Springer-Verlag, 2002. 9 p.

KROPAS-HUGHES, C.V.; BUENO, C.; MEADE, B.; MORRO, F. *Radiography Standards*. West Carrollton, Niskayuna, Seattle, 2003. 5 p.

KULESHOV, V.K.; LANSKOV, V.N.; KOVALYOVA, L.E. High-Sensitive X-ray Systems of Testing and Diagnostics. *NDT.net*, Vol. 3, N° 8, agosto 1998.

LAVAYSSIÈRE, B.; BONIN, A.; GAUTIER, S.; FRANCE, C. New Development in Industrial Radiography at EDF. *Proceedings of DGfP*, Berlin, 115-121 p., 1999.

LEBLANS, J. R.; WILLENS, P.; ALAERTS, L. B. *New Needle-Crystalline Detector for X-ray Computer Radiography (CR)*. Barcelona, 2002.

LOTTERING, A. *Microfocus radiography by using ready packed Kodak AA400 Rollpack*. S.I., 2000. 5p.

MOHR, G.A.; BUENO, C. GE α Si Flat Panel Detector Performance in Industrial Digital Radiography. *NDT.net*, Vol. 7, N° 12, dez. 2002.

MÖLLER, S. V. *Aplicações Industriais das Radiações Ionizantes; Princípios Físicos de Radiografia Industrial e Gamagrafia – Curso de Especialização em Ciências Radiológicas*. Porto Alegre, s. ed., s.d. 13 p.

MOTA, C.S.F. *Desenvolvimento de um Sistema Mecânico para Base e Alinhamento de Monocromador Assimétrico em um Arranjo Topográfico de Raios-X de Duplo Cristal em Construção no DEMEC/CTG/UFPE*. Recife, 2001. 14 p.

MUNEKAWA, S.; FERRARA, J.D. *Imaging Plates as Detectors for X-ray Diffraction*. Tokio, The Woodlands, s.d. 8 p.

MUNIER, B.; CASAGRANDE, J.-M.; KOCH, A.; KAFTANDJIAN, V.; DUVAUCHELLE, P.; BABOT, D. High Resolution Digital Flat Panel Detector for NDT. *NDT.net*, Vol. 7, Nº 12, dez. 2002.

MÜNKER, M.; SCHWARZ, J.; FLOR, T. High Resolution Computed Tomography on Large-Sized Objects. *NDT.net*, Vol. 3, Nº 8, agosto 1998.

NDT RESOURCE CENTER – NDT COURSE MATERIAL. *Computed Radiography*. S.n.t.

NDT RESOURCE CENTER – NDT COURSE MATERIAL. *History of Radiography*. S.n.t.

OLIVEIRA, A.E.; ALMEIDA, S.M. de; PAGANINI, G.A.; HAITER NETO, F.; BÓSCOLO, F.N. *Comparative Study of Two Digital Radiographic Storage Phosphor Systems*. Piracicaba, 2000. 5 p.

OLIVEIRA FILHO, K. S. *Fundamentos de Radiodiagnóstico por Imagem; Imagens Digitais*. Instituto de Física da UFRGS, s.n.t.

ONEL, Y.; EWERT, U.; WILLEMS, P. Radiographic Wall Thickness Measurement of Pipes by a New Tomographic Algorithm. *Proceedings of 15th WCNDT*, Roma, 2000.

PADILHA, A. F. & AMBROZIO FILHO, F. *Técnicas de Análise Microestrutural*. São Paulo, Hemus Editora, 1985. 190 p.

PRASS, A. R. *Ondas Eletromagnéticas*. S.n.t.

REDOUANE, D.; YACINE, K.; AMAL, A.; FARID, A.; AMAR, B. Evaluation of Corroded Pipelines Wall Thickness Using Image Processing in Industrial Radiography. *Proceedings of 15th WCNDT*, Roma, 2000.

RENZI, M.J.; TATE, M.W.; ERCAN, A.; GRUNER, S.M.; FONTES, E.; POWELL, C.F.; MACPHEE, A.G.; NARAYANAN, S.; WANG, J.; YUE, Y.; CUENCA, R. Pixel array detectors for time resolved radiography (invited). *Review of Scientific Instruments*, Vol. 73, Nº 3, 1621-1624 pp., março 2002.

ROOIJEN, P. van. PREDICT, an alternative approach to radiation protection in industrial radiography. *NDT.net*, Vol. 3, Nº 12, dez. 1998.

ROWLANDS, J.A. *The physics of computed radiography*. Toronto, 2002.

SCHABERLE, F. A.; SILVA, N. C. da. *Introdução à Física da Radioterapia*. Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

SHINOHARA, A.H.; ACIOLI, E.; KHOURY, H.J. *Avaliação da técnica de radiografia digital em gamagrafia*. Salvador, 2002. 11 p.

SHINOHARA, A.H.; MOTA, C.S.F.; SILVA, J.L.; GUZZO, P.L.; COSTA, H.A.D.; ALBUQUERQUE, R.F.C.; HIRAMATSU, C.Q.; SUZUKI, C.K.; KYCIA, S.W.; FRANCO, M.K.K.D. *X-ray double-crystal topographic setting using high quality asymmetric quartz crystal at LNLS*. Recife, Campinas, s.d.

SOISSON, H. *Instrumentação Industrial*. São Paulo, Hemus, s.d. p. 559 – 572.

STEGEMANN, D.; REIMCHE, W.; FEISTE, K. L.; REICHERT, C.; HAFERKAMP, H.; GERKEN, J.; CZERNER, S. Digital High Speed Microfocus Radioscopy as a monitoring method for fast processes. *NDT.net*, Vol. 3, Nº 12, dez. 1998.

TAKAHASHI, K. *FUJI Computed Radiography*; Technical Review nº 14; Imaging Plate (IP). Tokio, 2002. 23 p.

THE HEALTH PHYSICS SOCIETY. *X-rays*. S.I., The University of Michigan, 2004.

THIELE, H.; FRIEMEL, H.-J. *Automatic Wall Thickness Estimation on Insulated Pipes Using Digital Radiography*. Eschborn, 2000. 8 p.

TURCATO, T. Radiografia Industrial. *Biblioteca Virtual do Estudante Brasileiro*, s.n.t. 8p.

VARTA. *Aufbau einer Varta Silver dynamic-Batterie*. S.n.t.

VENGRINOVICH, V. L.; DENKEVICH, Y.; ZOLOTAREV, S.; KUNTSEVICH, A.; EMELIANENKOV, S.; ZSCHERPEL, U.; TILLACK, G.-R.; MUELLER, C. *New Technique for Pipes Wall Thickness Assessment Considering Scattering Effect*. Barcelona, 2002.

VEITH, E.; BUCHERIE, C.; LECHIEN, J. L.; JARROUSSE, J. L.; RATTONI, B. Inspection of Offshore Flexible Riser with Electromagnetic and Radiographic Techniques. *Proceedings of 15th WCNDT*, Roma, 2000.

WEVERS, M.; MEESTER, P. de; SWENNEN, R. *Microfocus X-ray Computer Tomography in Materials Research*. Roma, 2000.

WILLENS, P.; VAESSEN, B.; HUECK, W.; EWERT, U. Applicability of Computed Radiography for NDT. *NDT.net*, Vol. 3, N° 8, agosto 1998.

ZSCHERPEL, U.; ONEL, Y.; EWERT, U. New Concepts for Corrosion Inspection of Pipelines by Digital Industrial Radiology (DIR). *Proceedings of 15th WCNDT*, Roma, 2000.