

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ  
DAVID ALEIXO DE PAULA  
JÉSSICA MAMEDE SANTOS SILVA**

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO E EVOLUÇÃO DA  
RADIOGRAFIA DIGITAL**

**Taubaté - SP  
2018**

**DAVID ALEIXO DE PAULA  
JÉSSICA MAMEDE SANTOS SILVA**

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO E EVOLUÇÃO DA  
RADIOGRAFIA DIGITAL**

Trabalho de Graduação apresentado para  
obtenção do Certificado de Graduação do  
curso de Engenharia Mecânica do  
Departamento de Engenharia Mecânica  
da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Dr. Alúcio Pinto da Silva

Coorientador: Prof. Me. Ivair Alves dos  
Santos

**Taubaté – SP  
2018**

## FICHA CATALOGRÁFICA

### SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

S586a Silva, Jéssica Mamede Santos  
Análise da aplicação e evolução da radiografia digital / Jéssica Mamede Santos Silva; David Aleixo de Paula. -- 2018.  
40 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.  
Orientação: Prof. Dr. Aluisio Pinto da Silva, Departamento de Engenharia Mecânica.  
Coorientação: Prof. Me. Ivair Alves dos Santos, Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Atualização. 2. Qualidade. 3. Radiografia. I. Título. II. Paula, David Aleixo de. III. Graduação em Engenharia Mecânica.

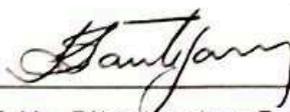
CDD – 621.3673

DAVID ALEIXO DE PAULA  
JÉSSICA MAMEDE SANTOS SILVA

ANÁLISE DA APLICAÇÃO E EVOLUÇÃO DA RADIOGRAFIA DIGITAL

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO PARTE  
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO EM  
ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



---

Prof. Me. Fábio Henrique Fonseca Santejani  
Coordenador de Trabalho de Graduação

BANCA EXAMINADORA:



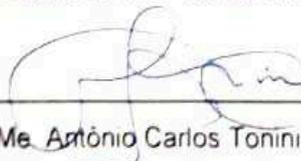
---

Prof. Dr. Aluísio Pinto da Silva  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



---

Prof. Me. Ivair Alves dos Santos  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



---

Prof. Me. Antônio Carlos Tonini  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Taubaté, 23 de Outubro de 2018

## DEDICATÓRIA

Aos nossos familiares, amigos e parceiros de jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

De uma forma geral, agradecemos a Deus por ter nos direcionado, para cumprir essa jornada, pela realização de um sonho concluído, de mais uma etapa avançada.

Agradecemos aos professores Aluísio Pinto da Silva e Ivair Alves dos Santos, por terem aceitado na orientação desse trabalho. Sem seus direcionamentos, não seria possível, cumprir os prazos, entregar um conteúdo com começo, meio e fim. Não menos importante, a gratidão ao professor Fabio Santejani, que como coordenador do módulo, soube conduzir com sabedoria os obstáculos colocados, nos esclarecimentos dados, etc.

À Universidade de Taubaté, que permitiu material e embasamento educacional para que soubéssemos fazer uma seleção apropriada para desenvolvimento deste.

Eu, David, agradeço a minha família, aos meus amigos, e a minha esposa Cristiane.

Eu, Jéssica, agradeço a minha mãe Patrícia, meu parceiro Victor, que dentro do lar respeitaram meu espaço de estudo e tiveram paciência com os momentos que pareciam que eu não seria capaz. A minha irmã Jacqueline, que mesmo morando em outro estado contribuiu com as vibrações positivas. Também ao meu gestor Vitor, que permitiu uma flexibilidade mais abrangente durante o expediente, para que eu pudesse disponibilizar meu tempo de trabalho para a edição deste material. À Francine, Jucy, Suscênia, Ramon e Tainá que me deram apoio emocional, dentro e fora do meu ambiente de trabalho. E por fim, agradeço ao David pela parceira e respeito.

## RESUMO

Como todos os setores nos dias atuais, a necessidade da capacitação profissional e tecnológica, para a competitividade existente no mercado e para atender à exigência de clientes e normas referente a qualidade é primordial. A área da inspeção de qualidade nas indústrias também é enquadrada nessa situação de atualização. Atualmente o ensaio radiográfico vem se adequando e aderindo à evolução digital, fazendo o uso de placas sensíveis à radiação, substituindo os filmes radiográficos, utilizando softwares para auxiliar o inspetor ou até mesmo a substituição, com laudos programados, de acordo com a programação do software. Outra questão é a forma de armazenamento das radiografias, além de ocupar espaço físico, será arquivada em memórias de servidores. Entretanto, esse avanço requer investimento em equipamento e na capacitação de profissionais do setor, para que a inspeção ocorra com qualidade, e atenda às exigências dos clientes e normas regulamentadoras. Dessa forma, presente trabalho tem como objetivo apresentar as diferenças e evoluções das técnicas de ensaio radiográfico convencional e digital, isso considerando a técnica que se enquadra melhor a possibilidade e recurso das empresas. A metodologia escolhida para a realização o trabalho foi utilizando de fontes de pesquisas, como livros, sites, e trabalhos de estudo já realizados voltados ao segmento. Após a realização de pesquisas, foi possível constatar que mesmo sendo um investimento relativamente alto, a técnica de radiografia digital tem grandes benefícios a um futuro próximo, como diminuição dos impactos ambientais, menor custo para conservação e armazenamento de filmes e maior assertividade, com isso tendo um retorno compensativo pelo o alto investimento.

**Palavras-chave:** Radiografia. Atualização. Qualidade.

## **ABSTRACT**

As all the fields nowadays, the necessity of professional and technological qualification, to the competitiveness existent in the market and to attend the order from clients and standards related to the quality is paramount. The area of quality inspection on industries is also framed in this updating situation. Nowadays the radiographic testing is adequating itself and getting to the digital evolution, getting the use of sensitive signs to radiation, replacing the radiographic movies, using softwares to help the inspector or even the replacement, computerized report, according to the planning of the software. Another issue is the way to store the radiographies, besides occupying physical space, it will be stored in servers memories. However, this advance requires investment in equipment and in the qualification of professionals from the area, so that the inspection can happen with quality, and responds properly to the orders from the clients and regulations. In this way, the goal is to present the differences and evolutions from the conventional and digital radiographic testing techniques, considering the testing technique that best fits the possibility and resource from the companies. The chosen methodology for this research was using sources, as books, websites and studies already made and related to the segment. After the researches, it was possible to check that even being a relatively big investment, the digital radiographic technique has big benefits to a close future, as the decrease of environmental impacts, less cost for conservation and storage of movies and bigger assertiveness, with that having a compensating feedback for the high investment.

**KEYWORDS:** Radiography. Update. Quality

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Arranjo geral de um ensaio radiográfico.....	16
Figura 2 – Primeira imagem digital.....	18
Figura 3 – Fenômenos bandas de Mach.....	19
Figura 4 – Fenômeno de contraste simultâneo.....	20
Figura 5 – Estrutura de um filme radiográfico.....	20
Figura 6 – Ampliação dos grãos de um filme radiográfico não processado... .....	21
Figura 7 – Densitometro portátil.....	21
Figura 8 – Demonstração de fita densitometrica.....	22
Figura 9 – Embalagem própria filme radiográfico.....	22
Figura 10 – Esquema de tubos cerâmicos de raios-x industrial.....	23
Figura 11 – Corte transversal do ânodo, na ampola de raios x.....	24
Figura 12 – Inspeção radiográfica de soldas.....	25
Figura 13 – Equipamentos de raios X panorâmicos.....	26
Figura 14 – Arranjo para digitalização da imagem latente presente em uma placa de fósforo.....	27
Figura 15 – Planta de uma câmera escura .....	31
Figura 16 – Processamento do filme radiográfico.....	34
Figura 17 – Processo manual .....	34
Figura 18 – Máquina de processamento automática dos filmes.....	35
Figura 19 – Detector plano modelo XRD0820 NA.....	36
Figura 20 – Imagem com a utilização de ferramentas do software.....	36
Figura 21 – Imagem sem a utilização de ferramentas do software.....	37

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Maior probabilidade de detecção (PoD) .....	40
--	----

## LISTA DE SÍMBOLOS

DR	Radiografia Direta
SNQC	Sistema Nacional de Qualificação e Certificação
CR	Radiografia Computadorizada
IP	Image Plate
DCA	Dispositivo de carga acoplada
CNEN	Comissão Nacional De Energia Nuclear

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1	Objetivos.....	17
1.1.1	Objetivos gerais.....	17
1.1.2	Objetivos específicos.....	17
1.1.3	Relevância do Estudo.....	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>18</b>
2.1	Radiografia convencional.....	18
2.2	Imagem Digital.....	18
2.3	Fenômenos visuais.....	19
2.4	Filme radiográfico.....	20
2.5	Radiografia Digital.....	22
2.6	Equipamentos emissores de raios-x na radiologia industrial.....	23
2.7	Radiografia Computadorizada.....	26
2.8	Elementos para funcionamento.....	27
2.9	Segurança.....	28
2.10	Impacto Ambiental.....	28
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>29</b>
3.1	Classificação dos métodos de pesquisa.....	29
3.2	De acordo com a abordagem.....	29
3.3	De acordo com o objetivo.....	29
3.4	De acordo com os procedimentos técnicos.....	29
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>31</b>
4.1	Técnica de Aplicação de Radiografia Digital.....	31
4.1.2	Segunda Etapa: Banho de Parada.....	32
4.1.3	Terceira Etapa: Fixação.....	32
4.1.4	Quarta Etapa: Lavagem Final.....	33
4.1.5	Quinta Etapa: Secagem do Filme.....	33
4.1.6	Armazenamento de Filmes Radiográficos.....	37
4.1.7	Técnica de aplicação da radiografia digital.....	37
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>40</b>

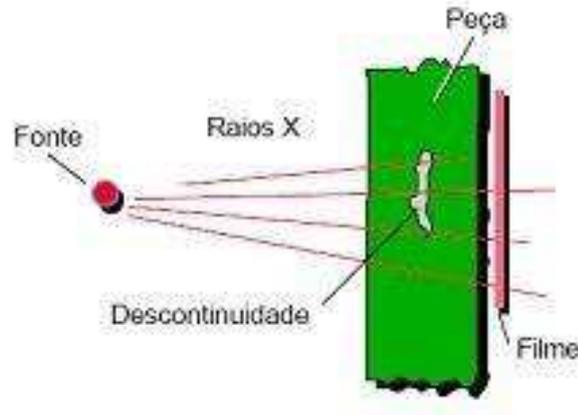
## 1 INTRODUÇÃO

As empresas nos dias atuais estão cada vez mais priorizando a qualidade de seus produtos e fornecedores, isso ocorre para atender as exigências feitas por clientes e as das normas que precisam ser atendidas de forma obrigatória. Os ramos de metalurgia, siderúrgica, aeronáutica, entre outros, utilizam a técnica de radiografia, que é uma forma de ensaio não-destrutivo que se baseia na absorção diferenciada da radiação penetrante na peça inspecionada. Por existir diferenças na composição da peça, material, ou em outras características, algumas regiões absorvem uma radiação diferente pela penetração. Existem alguns recursos que fazem a captação dessa diferença causada, como por exemplo, a utilização de um filme, ou de um tubo de imagem. Caso a radiação observada de absorção seja muito alta, é possível apontar que existe falha de continuidade ou interna.

Sua finalidade é descobrir se não há defeitos que possam acarretar em um eventual dano no produto que leve ao seu descarte. O ensaio possibilita realizar a visão interna da peça, onde o inspetor junto com uma norma ou um procedimento de fabricação verificará possíveis descontinuidades, que são falhas nas soldas ou chapas que, dependendo da aplicação, não são aceitas pelas normas e processos, impossibilitando seu uso até que ocorra a correção da peça ou desconsiderada.

Atualmente, grande parte das empresas busca utilizar o processo de filmes, que tenham os tratamentos dos filmes fotográficos que captam a radiação que é transmitida pelos raios-X ou raio gama, o que não é absorvido pela peça passa para o filme, conforme Figura 1.

**Figura 1 - Arranjo geral de um ensaio radiográfico**



**Fonte: Andreucci (2003)**

Após o processo de exposição da peça e do filme aos raios, o filme sofre o processo de revelação, fixação, lavagem, e com isso o inspetor leva o filme até o negatoscópio, que trata - se de uma caixa de luz com regulagem da densidade luminosa. Com o filme no negatoscópio é avaliado se há descontinuidades ou defeitos na amostra que foi radiografada, o inspetor pode utilizar como ferramentas para melhor visualização lupas, lentes de aumento e escalas.

É possível verificar que método é arcaico, já que trabalhos com plataformas digitais que possibilitam uma precisão maior.

Esse trabalho tem como objetivo apresentar o como inspetor pode melhorar qualidade e precisão no auxílio do laudo final, e também como o ecossistema pode ser preservado, já que com a utilização de placas eletrônicas, o descarte seria reduzido em grande escala, em que elas poderiam ser usadas em mais de um ensaio radiográfico, diferente do filme que em cada ensaio utilizaria um, e também auxiliariam as empresas na questão de armazenamento, pois por exigências das diferentes normas, os filmes devem ser armazenados por um período de tempo, e em um local que não seja danificado, já na digital será armazenado em um computador, servidor, ou semelhante.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho, consiste em apresentar o processo de evolução da radiografia digital, e a comparação entre os métodos existentes.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

O objetivo específico deste trabalho, consiste em apresentar a evolução, que busca assegurar uma qualidade mais avançada em resolução de imagem que causa uma leitura melhor, inspeção, agilidade no processo, segurança, preservação ao meio ambiente com melhor custo e benefício.

### **1.1.3 Relevância do Estudo**

O tema abordado neste trabalho tem como princípio a verificação do como o nível de crescimento, em se tratando de radiografia digital, aumentou. Tal crescimento foi benéfico para diversos ramos com geração de aumento produtivo, financeiro e da segurança. Com as empresas e ramos envolvidos, tendo como base o uso da radiologia, a proporção em qualidade do serviço seguiu as recomendações propostas pelo mercado, os clientes e as normas.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Radiografia Convencional

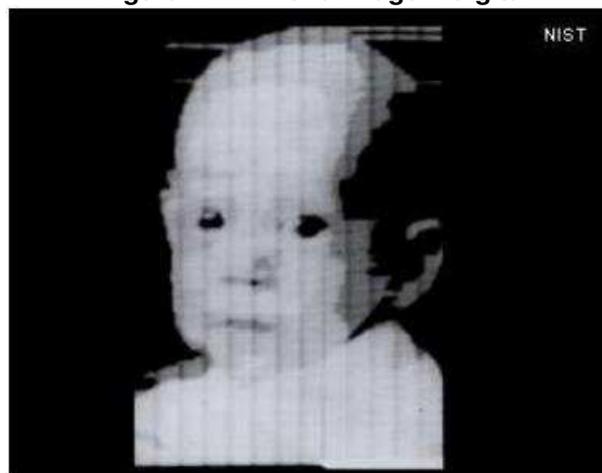
A radiografia convencional foi a primeira aplicação de imagem a ser introduzida. Para usá-la é necessária a utilização de um chassi com écran e filme radiográfico. O filme radiográfico é inserido dentro do chassi, e é posicionado dentro da gaveta bucky na mesa, dependendo do exame. O raio-x é lançado da ampola em direção a peça, a energia interage e atravessa seu corpo, chegando até o chassi, onde ocorre a interação com os haletos de prata do filme, formando uma imagem latente. A imagem obtida no exame já existe, porém, é invisível na imagem latente do filme. O objetivo do processamento radiográfico, que é realizado através de substâncias químicas, é transformar a imagem latente, em imagem visível (RUBENS, 2015).

### 2.2 Imagem Digital

A primeira imagem digital foi feita por Russell Kirsch, era a imagem de um bebê, a imagem foi feita através do escaneamento de uma foto 4x3, a imagem foi registra com 176 pixels de preto e branco.

O número de pixels é formado pelos números de bits, que se refere a números binários (exemplo 0,1), conseqüentemente os bits se referem a bytes, 1 byte é igual a 8 bits.

**Figura 2 - Primeira imagem digital**

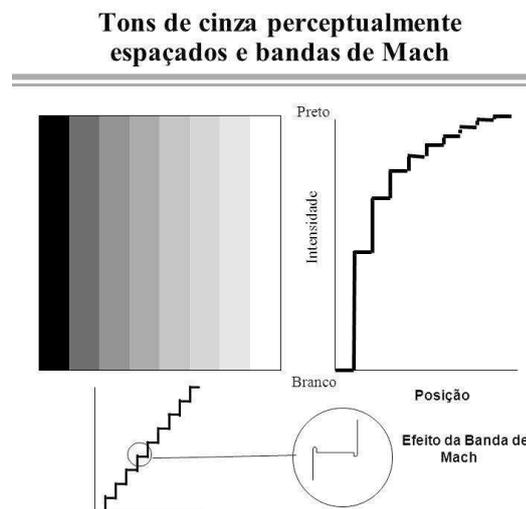


**Fonte: KIRSCH, 1957**

### 2.3 Fenômenos visuais

É demonstrado claramente que o brilho aparente não é só função da intensidade, através de dois fenômenos. O primeiro consiste no modo em que o sistema visual tende a subestimar a intensidade mais próxima do limite entre as regiões de diferentes intensidades, conforme figura apresentada abaixo. Conquanto a intensidade real da escala seja constante, a intensidade percebida pode aumentar especialmente perto dessa região. Este é chamado de “Bandas de Mach”, pois foi Ernst Mach que descreveu este fenômeno em 1865, conforme mostrado na Figura 3. (PRATT; 2001).

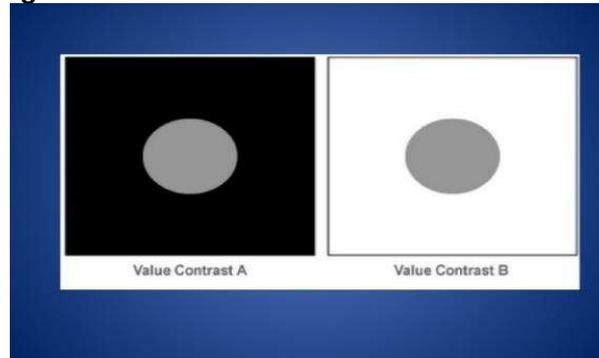
**Figura 3 - Fenômenos Bandas de Mach**



**Fonte: PRATT (2001)**

Já o segundo fenômeno, se difere por estar relacionado com o fato de que uma determinada região com brilho, não depende necessariamente de uma intensidade, esse fenômeno é chamado de contraste simultâneo, conforme é demonstrado na figura abaixo. Todos os quadrados do centro têm exatamente a mesma intensidade, no entanto, aparentam se tornar mais escuros quando a intensidade do quadrado do fundo se torna mais claro (PRATT; 2001).

**Figura 4 - Fenômeno de contraste simultâneo**

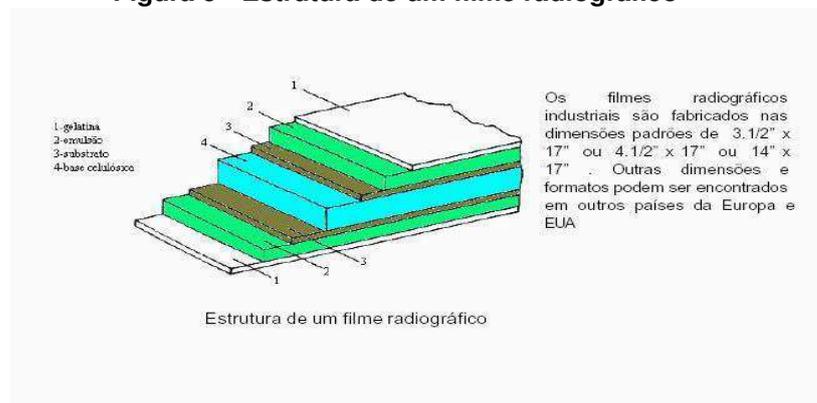


Fonte: PRATT, 2001

## 2.4 Filme radiográfico

Sua composição é formada por uma base com uma camada muito fina (espessura de 0,025 mm) de gelatina, que têm, dispersos em seu interior, um número grande de minúsculos cristais de brometo de prata e emulsão, A emulsão é colocada sobre uma base, feita geralmente de um derivado de celulose, transparente e de cor levemente azulada. A presença de cristais de brometo de prata na emulsão, tem a propriedade de quando atingido pela radiação ou luz, torna-se susceptível de reagir com produto químico denominado revelador, que atua sobre esses cristais provocando uma reação de redução que resulta em prata metálica negra. As regiões do filme, atingidos por uma quantidade maior de radiação apresentarão através do efeito do revelador, um número maior de grãos negros que regiões atingidas por radiação de menor intensidade, dessa forma, quando vistos sob a ação de uma fonte de luz, os filmes apresentarão áreas mais escuras e mais claras que irão compor a imagem do objeto radiografado (ANDREUCCI, 2004).

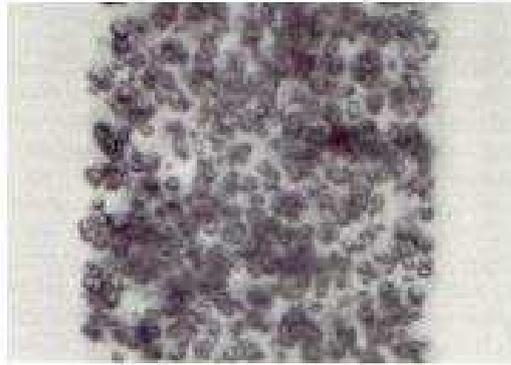
**Figura 5 - Estrutura de um filme radiográfico**



Fonte: ANDREUCCI, 2004

Os filmes são compostos por sais de pratas, que não são visíveis ao olho nu, mais quando agrupadas formam uma imagem, esse agrupamento também é chamado de “granulação”. Quanto maior os grãos dos filmes, mais rápido os filmes apresentam uma granulação acentuada diferente dos filmes mais lentos. O tempo que o filme é exposto a radiação também afeta na granulação, pois quanto mais tempo exposto maior a granulação fica.

**Figura 6 - Ampliação dos grãos de um filme radiográfico não processado**



**Fonte: Livro Kodak. Adaptado, 2004**

Os filmes radiográficos após serem expostos apresentam tonalidades em preto e mais claras, esse grau de enegrecimento chamamos de densidade. Para medir essa densidade a indústria utiliza um densitômetro eletrônico, de acordo com as normas regulamentadoras devem estar sempre calibrados.

**Figura 7 - Densitometro portátil**



**Fonte: ANDREUCCI, 2014**

Para garantir que o aparelho está calibrado deve ser utilizada uma fita densitométrica certificada por um órgão nacional ou internacional.

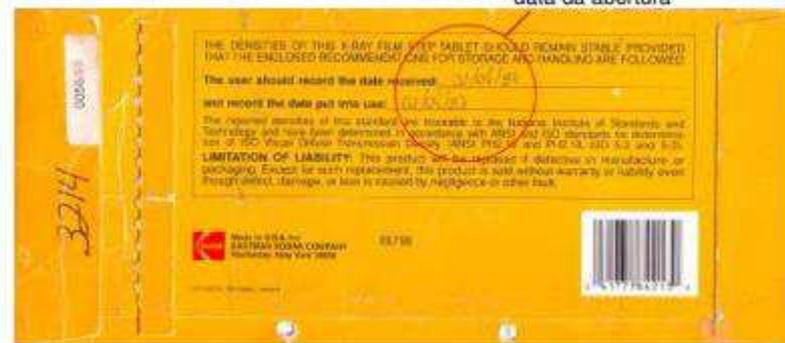
**Figura 8 - Demonstração de fita densitométrica**



**Fonte: ANDREUCCI, 2014**

Estas fitas possuem embalagens próprias e também uma vida útil com cerca de um ano após serem abertas. As embalagens devem atender a norma ASME Sec. V Art.2, na própria embalagem possui um campo para ser preenchido a data de abertura da embalagem, para que seja acompanhada a validade do mesmo.

**Figura 9 - Embalagem própria filme radiográfico**  
data da abertura



**Fonte: ANDREUCCI, 2014**

## 2.5 Radiografia Digital

A radiografia industrial, é um tipo de receptor, denominada pela sigla DR, e é um modo de experimento não destrutivo que serve para identificar defeitos internos em componentes metálicos, que podem soldados ou fundidos, que possam comprometer seu desempenho mecânico quando sujeito a pressão ou esforço.

Investimentos no setor petróleo e petroquímico tem sido uma constante e irreversível nos últimos anos, garantindo as encomendas às fabricas e consequentemente manutenção do mercado de trabalho existente. Esta área é a que emprega maior grupo de pessoal, mas é também onde é requerido maior

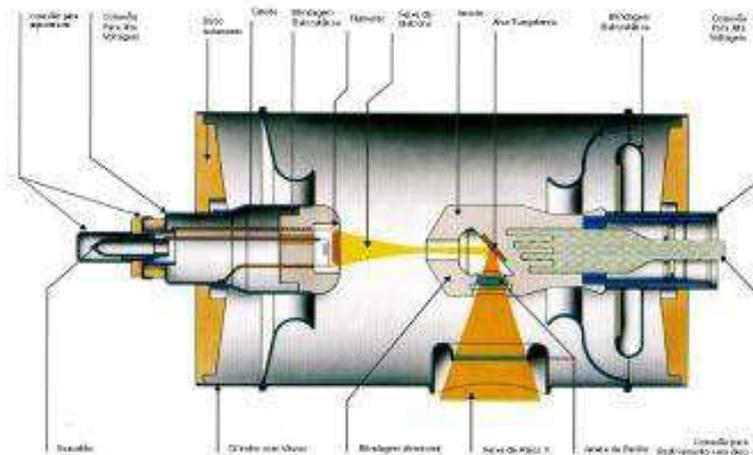
qualificação. Para tanto, a ABENDE através do SNQC, vem qualificando e certificando profissionais nesta área com reconhecimento nacional, sendo obrigatório este certificado em empresas fornecedoras de componentes para indústria de petróleo (ANDREUCCI, 2008).

## 2.6 Equipamentos emissores de raios-x na radiologia industrial

Na indústria a geração do raio-x se trata do uso de uma ampola de vidro, que é chamada de tubo de Coolidge, formada por 2 eletrodos: ânodo e cátodo.

Os eletrodos recebem uma descarga de energia de milhares de volts, onde o ânodo ligado ao polo positivo e o cátodo ao polo negativo, o “alvo” que está localizado junto ao ânodo é constituído de tungstênio o “alvo” é o local onde a descarga de energia atinge, por esse motivo é composto de um metal resistente a calor, já o cátodo é formado por um filamento, parecido com a de uma lâmpada incandescente, onde conduz corrente elétrica.

**Figura 10 - Esquema de tubos cerâmicos de raios-x industrial**



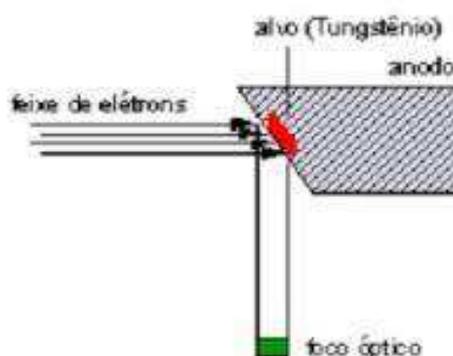
**Fonte: ANDREUCCI, 2014**

Ao ligar o sistema, o filamento que está conduzindo a corrente elétrica começa a aquecer e com isso gerar elétrons que vão de encontro com o alvo, pois são atraídos pela diferença de polaridades. Ao atingir o alvo de tungstênio os elétrons são desacelerados pelos átomos do alvo, com isso a energia cinética se transforma em raios-x.

A superfície do alvo deve ter uma área relativamente grande para suportar o aquecimento evitando assim que o ânodo seja danificado.

O foco óptico está relacionado a nitidez que a imagem terá, sendo que quanto menor for o foco óptico maior será a nitidez. Cada aparelho de Raio-X contém as especificações referente ao foco óptico.

**Figura 11 - Corte transversal do ânodo, na ampola de Raios X**



**Fonte: ANDREUCCI, 2007**

Como o ânodo sofre uma grande alteração de temperatura necessita de um sistema de refrigeração eficaz para que não seja danificado e que tenha vida útil elevada, atualmente existem três métodos de refrigeração, sendo elas a irradiação, convecção e circulação forçada de água.

**Irradiação:** O bloco de tungstênio se aquece e com isso o calor se irradia.

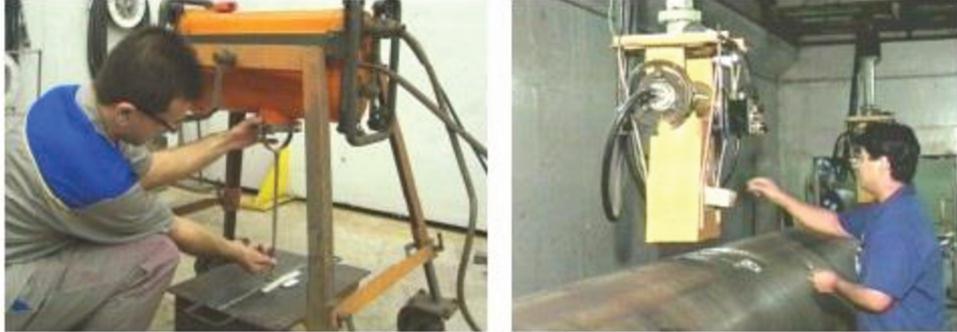
**Convecção:** O calor irradiado passa pelo filamento de cobre que está coberto por gás ou óleo, que com isso sofre a refrigeração natural ou por circulação. Este método não é o melhor para operação constante ou que o aparelho fique exposto ao sol.

**Forçada de água:** Para aparelhos de uso constante e expostos ao sol este método é o mais eficaz, já que há a circulação de água na serpentina interna.

Para realizar a melhor escolha do aparelho Raio-X a ser utilizado ou comprado por uma empresa deve se levar em conta, que tipo de material será submetido ao ensaio, e sua densidade, já que de acordo com a densidade do material se caracteriza a quantidade de tensão e corrente necessária que o aparelho deve possuir, a qualidade de imagem que deseja ter para melhor visualização que o

filme fotográfico terá, com isso o tamanho do ponto focal e tipo de feixe de radiação o aparelho deve ter, e também o local a ser realizado o ensaio pois existem aparelhos portáteis e fixos em um local.

**Figura 12 - Inspeção radiográfica de soldas (CONFAB)**



**Fonte: MOREIRA, 2007**

Os feixes de raio-x se caracterizam por 2 grandezas: qualidade e intensidade de radiação.

Como vimos anteriormente o raio-x é gerado após a desaceleração que o elétron sofre ao se chocar no alvo. Para mensurar essa energia que o elétron adquiri no campo elétrico entre cátodo e ânodo utilizamos a seguinte equação:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = e \cdot V \quad (1)$$

V= diferença de potencial aplicada entre o cátodo e o ânodo;

M= massa do elétron;

V= velocidade do elétron quando atinge o alvo;

E= carga do elétron, constante= $1,6 \times 10^{-19}$  C

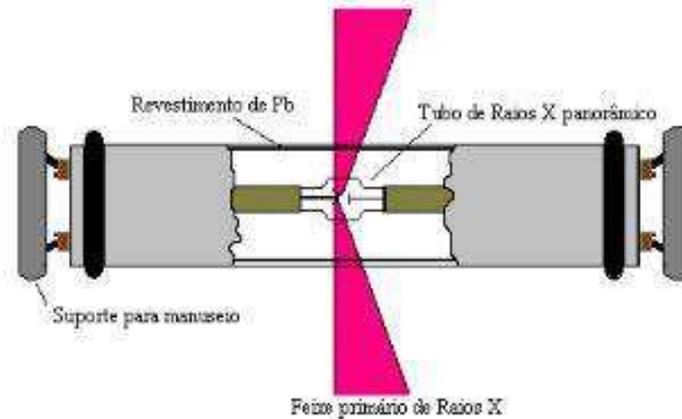
O comprimento de onda é que determina a quantidade de radiação que será penetrada pelo material que está sendo ensaiado, quanto menor o comprimento da onda maior a penetração no material, seguindo isso um material de grande espessura deve ser submetido ao uma grande energia de radiação onde teremos um comprimento de onda pequena, já um material de espessura fina pouca energia e um comprimento de onda maior. Para determina o comprimento de onda em relação a energia utilizada no aparelho, se utiliza da seguinte equação:

$$\lambda_{\min} = \frac{12.412,5}{V} \text{ Angstroms.} \quad (II)$$

V= diferença de potencial aplicada entre o cátodo e o ânodo, em Volts.

Um outro tipo de aparelho de Raio-X que é utilizado é o de Raio -X panorâmico, que como pode ser visto na figura abaixo, emite aos feixes de radiação em dois sentidos e não apenas em um como o anterior. Este aparelho é mais utilizado em inspeção de tubulações e em soldas circulares, pois em apenas um ensaio já se pode obter as imagens de praticamente toda a circunferência.

**Figura 13 - Equipamentos de raios x panorâmicos**



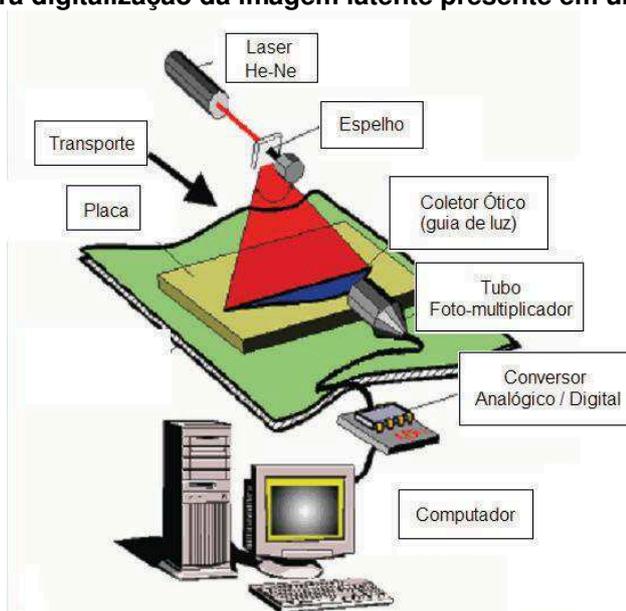
Fonte: ANDREUCCI, 2003

## 2.7 Radiografia Computadorizada

A radiografia computadorizada, é um outro tipo de receptor denominado pela sigla CR, e é uma forma de se expor um ensaio que faz a utilização de uma placa detectora, (do inglês, image plate – IP), como meio de formar a imagem pela sensibilidade ionizada.

A imagem na radiografia computadorizada, é composta por placa de fósforo que permanece latente até a digitalização que necessita do uso de um computador e um scanner. As imagens cedidas podem ser reutilizáveis, possuem flexibilidades, acompanhadas de uma leitura indireta, é possível ver a transmissão da imagem através da tela do computador, gerando menos problemas quanto a armazenamentos de arquivos físicos.

**Figura 14 - Arranjo para digitalização da imagem latente presente em uma placa de fósforo**



Fonte: OLIVEIRA DAVI, 2007. Adaptado

## 2.8 Elementos para funcionamento

Com o crescimento da tecnologia computacional foi possível identificar um sistema que permite a obtenção da imagem. Esse sistema, é composto por três componentes. A captura, que recebe a imagem digital, tem a nomenclatura de dispositivo de carga acoplada (DCA), onde é constituído por itens sensíveis a luz. Sensibilidade esta que tem a capacidade de capturar as baixas variações de ondas eletromagnéticas, detectando baixos estímulos de radiação. Ele também realiza a captura de uma grande faixa de energia, representando assim, uma detecção de estímulos muito baixos e altos, respectivamente com imagens claras e imagens escuras. (RUBENS, 2015)

O acoplamento relaciona uma ligação entre a captura e o elemento de detecção, através dos dados coletados acontece a troca de informações.

A detecção é a realização o de leituras das informações, transformadas em imagens por meio computacional, capturadas pelo DCA. (RUBENS, 2015)

A radiografia digital faz o uso de uma placa de imagem, ao invés de um cassete carregado de filme, para obter a imagem. A placa é colocada em leitor de radiografia computadorizada e é digitalizada. As imagens são exibidas em um monitor e podem ser alteradas digitalmente, transferidas ou armazenadas.

## **2.9 Segurança**

A Comissão Nacional de Energia Nuclear, implantou normas para que os procedimentos para a aquisição de fontes radioativas e ou aparelhos de raios X utilizados na radiografia digital sejam seguidas, usaremos neste instrumento:

CNEN-NN-6.04: “Funcionamento de Serviços de Radiografia Industrial. ”

CNEN-NN-3.01: “Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica”

Com o avanço do uso da radiografia digital, a radiação foi reduzida, a frequente exposição aos raios, eram altamente prejudiciais à saúde, principalmente em casos que os testes precisavam ser repetidos. (COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR – CNEN, 1989,2005)

## **2.10 Impacto Ambiental**

O uso de filmes radiográficos em indústrias e até mesmo em hospitais são responsáveis por gerar toneladas de resíduos que afetam na saúde dos seres vivos e natureza. Isso tudo é devido alta quantidade de prata concentrada nos filmes, como o descarte incorreto destes filmes estes resíduos vão para o meio ambiente, fazendo assim a contaminação. Com o descarte correto dos filmes a prata e até o plástico do filme podem ser recicláveis, e na questão da prata vendida e reutilizada.

Com a técnica da radiografia computadorizada estes descartes são eliminados, já seu arquivamento é todo em arquivo eletrônico, sem gerar qualquer resíduo que impactasse no meio ambiente.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 Classificação dos métodos de pesquisa**

A pesquisa define-se pelo o procedimento que utiliza do processo sistemático e da razão, com o propósito de possibilitar a argumentação em relação aos problemas que foram apresentados. O trabalho científico é iniciado quando não se tem informação capaz de satisfazer, por isso tem a necessidade coletá-las para que sejam resolvidos os problemas ou informações que possam existir, mas precisa ter uma linha de organização durante o processo de análise (GIL, 1991)

O desenvolvimento de uma pesquisa, é baseado em várias etapas, que vai do início da elaboração do tema a ser analisado, até a etapa na qual se apresenta os resultados e conclusões (SILVA; MENEZES, 2005).

#### **3.2 De acordo com a abordagem**

Quando é definido o problema do estudo, a próxima etapa deverá ser a escolha do modelo de pesquisa na qual irá encaminhar as ações posteriores, podendo ter a classificação do problema como qualitativo ou quantitativo (GIL, 1991)

A busca é considerada quantitativa, na qual se possui problemas que pode ou não serem medido buscando análises e soluções, com o uso de estatísticas e ferramentas da qualidade (SILVA; MENEZES, 2005).

#### **3.3 De acordo com o objetivo**

Por meio dos objetivos, essas pesquisas podem ser classificadas, como por exemplo: a Exploratória, Explicativa e Descritiva (GIL, 1991).

O objetivo das exploratórias é proporcionar uma maior familiaridade com tal problema e fazer com que ele seja atingido, tendo em vista que também pode ser realizado com base em hipóteses ou intuições que inclui levantamento bibliográfico, citações e exemplos que possam contribuir para que o assunto seja compreendido. Já nas bibliográficas e os estudos de caso são usados na aplicação nas pesquisas exploratórias, explorando a intuição do pesquisador (GIL, 1991).

A pesquisa explicativa visa a identificação e explicação das causas de um tipo

de problema na qual será feito o estudo, onde se expõe a realidade do caso ao fazer a explicação da razão das coisas.

A descritiva tem como principal objetivo fazer a descrição detalhada do objeto de estudo, sendo utilizado coleta e levantar dados qualitativos, dando ênfase aos quantitativos (GIL, 1991).

### **3.4 De acordo com os procedimentos técnicos**

Os métodos fundamentados em conhecimento científico têm as seguintes classificações: primeiramente, pode ser classificada como uma pesquisa bibliográfica no qual se desenvolve com base nos materiais que já tiveram elaboração, aonde se utiliza artigos científicos e livros; Pesquisa documental, parecido com a bibliográfica, mas se refere a materiais na qual não foi feita uma avaliação crítica, e pôr último a experimental, que estabelece algumas formas para que se possa controlar e fazer a observação dos resultados que as informações originam (GIL,1991).

## 4. Desenvolvimento

### 4.1 Técnica de aplicação da radiografia convencional

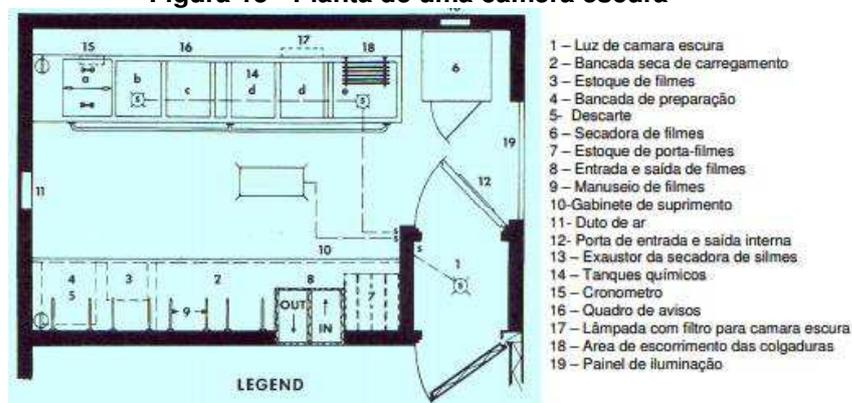
#### 4.1.1 Preparação do Local

O local que o filme será manuseado e revelado deve ser uma sala escura que só terá a iluminação de luz negra enquanto o filme estar fora da embalagem e ainda “virgem”, em ter sido exposto a radiação, e também deve estar sempre limpo com rigorosidade, tanto os equipamentos, bancadas e tanques, e só poderão ser utilizados para a finalidade de revelação dos filmes, qualquer outro tipo de líquido deve estar estritamente condicionado propriamente, sem que possa ocorrer sua mistura com a solução do tanque, para que não haja sua contaminação.

Este local deve atender a norma ASTM SE- 999, nela se especifica as recomendações para o manuseio e processamentos dos filmes radiográficos. Outra norma utilizada é a ASTM E- 1254, ela indica as questões de armazenamento dos filmes virgens, e a questão de limpeza do local e higienização das pessoas envolvidas nos processos.

Para a obtenção de uma imagem radiográfica de qualidade temos cinco processos: revelação, banho de prata, fixação, lavagem final e secagem.

**Figura 15 - Planta de uma câmara escura**



Fonte: Abendi, 2007

#### **4.1.2 Primeira Etapa: Revelação do Filme**

São utilizadas matérias químicas que reagem na redução dos sais de prata que tiveram reação com a radiação, após essa reação a prata metálica é escurecida e com isso a imagem radiográfica se torna visível. Essa redução se dá através de agentes reveladores ou desenvolvedores.

Os agentes reveladores se caracterizam pelos componentes que estão na solução, já que existem vários tipos de agentes. Dois exemplos de agentes químicos reveladores comercializados são o hidroquinoma e o metol (Paula Leite, 1973; Halmshaw). Para que o processo de redução de sais de pratas seja mais rápido, é adicionado aceleradores. Estes por sua vez têm a função de acelerar a velocidade de redução, utiliza-se carbonato de cálcio ou de potássio. Outra substância utilizada na solução é o sulfato de sódio, com a função de conservação, já que o filme pode sofrer a oxidação.

Na revelação é necessário também levar em conta questões como temperatura do revelador, tempo e agitação da solução. A temperatura é proporcional à velocidade de revelação, quanto maior a temperatura mais rápido será a revelação do filme, assim a temperatura deve estar sempre acima de 20°C. Os fornecedores de filmes radiográficos disponibilizam tabelas que informam o tempo necessário para revelação de acordo com a temperatura exigida, já que se o filme ultrapassar o tempo recomendado, a imagem pode sofrer alterações que dificultaram o laudo e até mesmo a visualização.

A solução deve estar em constante agitação, assim como o filme, para garantir que todo o filme tenha a reação química de redução dos sais de pratas.

#### **4.1.3 Segunda Etapa: Banho de Parada**

A finalidade desta é evitar a contaminação da solução de fixação e fazer com que a solução de revelação pare com o processo de redução, tem o propósito de preservar-se de uma possível desigualdade de revelação, ocasionando manchas, acontecerá sempre após a revelação.

Neste banho são utilizadas soluções a base de ácido acético ou ácido glacial (ácido acético puro). Com a aplicação do ácido glacial, é preciso fazer o uso de EPI'S e equipamentos de proteção, para evitar danos à saúde da pessoa que está realizando o procedimento de banho. A solução tem um prazo de uso, com a utilização frequente da solução ela vai sofrendo a degradação. A verificação dessa degradação é feita através da luz ultravioleta, com ela é possível identificar se a solução está mais escura, com isso há necessidade de troca da solução. Esta solução também pode ser substituída por água pura em abundância durante alguns minutos.

#### **4.1.4 Terceira Etapa: Fixação**

Nesta etapa realiza a extração dos sais de pratas que não foram submetidos a radiação, e reduzidos durante o processo de revelação, com isso somente os sais de pratas revelados se fixam no filme. É dividida em duas partes; na primeira é retirado todos os sais de pratas que não foram reduzidos no processo de revelação, e na segunda parte ocorre o endurecimento da camada gelatinosa do filme.

Assim como na fase da revelação, a etapa de fixação também necessita de um tempo de exposição na solução, geralmente o tempo de fixação é o dobro do tempo utilizado na etapa de revelação, mas isso nem sempre é aplicável, mas é fundamental seguir as instruções dos fornecedores. Como na revelação o filme e a solução também devem estar em constante agitação, para que todo filme sofra o processo.

#### **4.1.5 Quarta Etapa: Lavagem Final**

O filme é colocado na água corrente por um tempo de 30 minutos mais ou menos, para realizar a extração da solução de fixação, caso seja a realizada a lavagem de mais de um filme o tanque de lavagem deve ser de um tamanho que atenda todos os filmes, e a vazão da água deve ser de 4 a 8 vezes o volume do tanque (Andreucci, 2006).

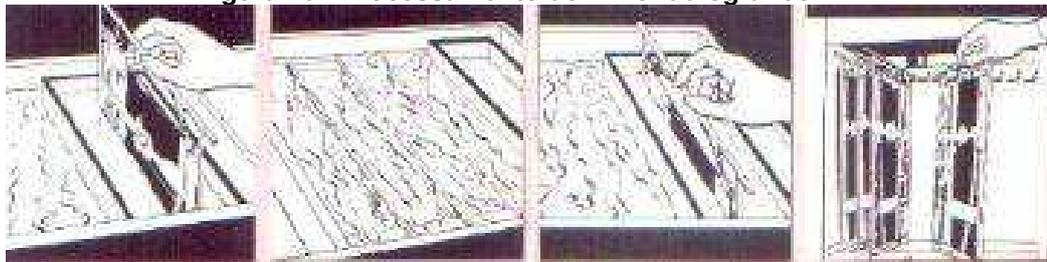
A temperatura assim como na etapa de fixação deve estar em torno de 20°C, se houver aumento dessa temperatura pode ocasionar a danificação do filme, ou se a temperatura for menor a lavagem será ineficiente.

#### **4.1.6 Quinta Etapa: Secagem do Filme**

Esta é a última etapa para a obtenção de uma imagem radiográfica de qualidade. Nesta etapa, a secagem por ser através do ar quente ou temperatura ambiente, mas para maior agilidade e qualidade é recomendado ar quente.

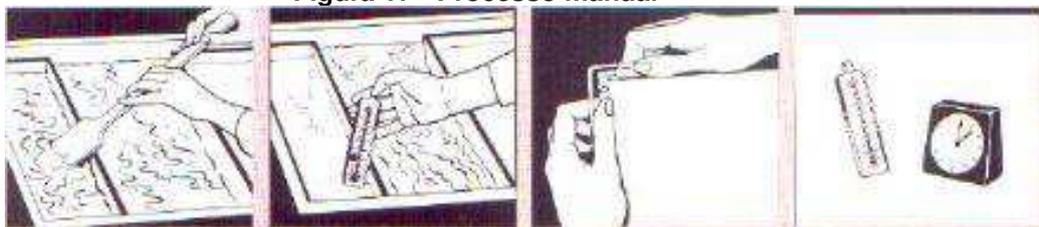
Também existe a possibilidade que todas estas etapas serem realizadas em um processador automático, o que facilita na questão de espaço da sala, já que não há a necessidade de tanques, que ocupam um grande espaço. Além do espaço também há ganho na qualidade, pois esses processadores atendem as normas, em todas as questões, desde a agitação das soluções e filmes, quanto a questão de manter a temperatura adequada. Outros ganhos são na questão de tempo de revelação, dos processos realizados em cerca de 15 minutos, produtividade e custos.

**Figura 16 - Processamento do filme radiográfico**



Fonte: ANDREUCCI, 2004 – Adaptado

**Figura 17 - Processo manual**



Fonte: ANDREUCCI, 2004

**Figura 18 - Máquina de processamento automática dos filmes**



**Fonte: GE Inspection Technologies**

#### 4.1.7 Armazenamento de Filmes Radiográficos

As indústrias nos dias atuais seguindo normas de qualidade, devem manter seus filmes radiográficos em perfeitas condições de avaliações por um período de mais ou menos 5 anos, isso se deve pelo fato de que se neste período o produto apresente algum tipo de falha, o filme garante que não saiu de fábrica com este problema. Geralmente as empresas utilizam um contêiner, com ou sem ar condicionado, de acordo com a ANVISA e a fornecedora de filmes KODAK, devem permanecer em um ambiente com temperatura de 10°C à 24°C com umidade relativa de 30% a 50%.

#### 4.1.8 Técnica de aplicação da radiografia digital

Diferente da técnica convencional que utiliza se filmes para captam as energias da radiação, na digital se utiliza placa eletrônicas. Estas por sua vez recebem a radiação, logo em seguida essa placa transmite a imagem radiográfica, para um servidor, fazendo assim o inspetor ter uma imagem radiográfica em tempo real, com isso ganhando se tempo de produtividade. Outra vantagem em relação a técnica convencional é que de acordo com o tempo e exposição e ou formato da peça que está sendo radiografada, o filme radiográfico pode ficar muito escuro ou muito claro, o que dificulta o laudo do inspetor, ou até mesmo impossibilita uma inspeção que demonstra confiabilidade, já com a utilização de placas eletrônicas, onde também podem ser chamadas de detectores planos, utiliza se softwares que

possuem ferramentas para melhorar a qualidade da imagem, focar em uma determinada descontinuidade.

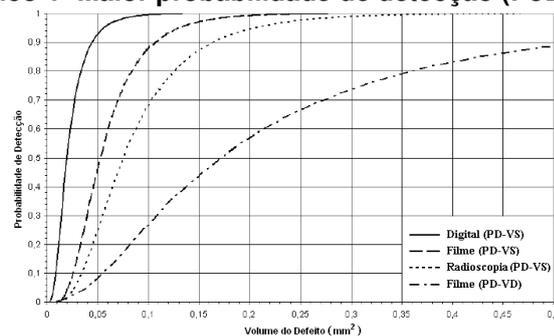
**Figura 19 - Detector Plano modelo XRD0820 NA**



**Fonte: MOREIRA, 2008**

Estes detectores também apresentam uma maior sensibilidade a detecção de descontinuidades e defeitos milimétricos em relação os filmes fotográficos.

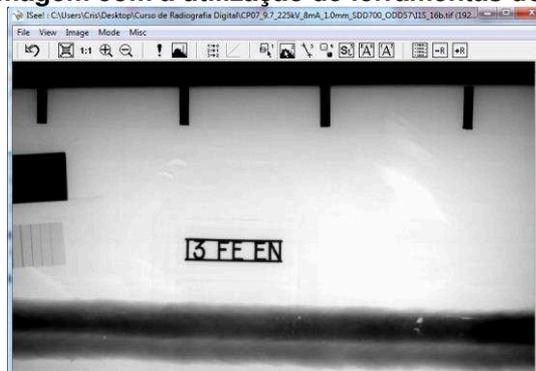
**Gráfico 1- Maior probabilidade de detecção (PoD)**



**Fonte: MOREIRA, 2013**

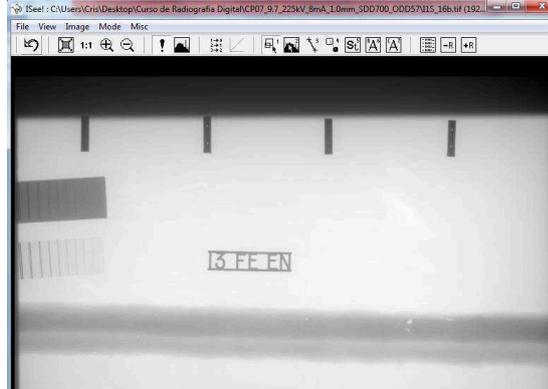
Um software utilizado para a inspeção de radiografia digital é o ISee! Que possibilita a formatação de imagens, como o contraste das imagens, zoom em um ponto específico, e também permite o arquivamento das imagens formatadas.

**Figura 20 - Imagem com a utilização de ferramentas do software**



**Fonte: Moreira, 2007**

**Figura 11 - Imagem sem a utilização de ferramentas do software**



**Fonte: Moreira, 2007**

As imagens obtidas pelos detectores planos podem ser facilmente armazenadas como arquivos em servidores e aparelhos de armazenamento de arquivos eletrônicos, o que facilita e deixa com maior praticidade para uma futura pesquisa caso seja necessário.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com os apontamentos feitos de cada processo é possível identificar, que a radiografia convencional tem a vantagem de possuir uma tecnologia bem estabelecida. Ela realiza suas operações com equipamentos mais simples e mais baratos. Não requer nenhum conhecimento especializado para executá-la, é necessário apenas que, o filme seja bem posicionado assim como a peça, para que a emissão do raio-X ocorra dentro de um tempo justo. Suas desvantagens, mesmo sendo um método simples, para que uma boa imagem seja gerada na radiografia convencional, é necessário a emissão da quantidade correta de radiação. Um erro na dosagem pode gerar uma imagem muito ou pouco penetrada, que não permitirá a identificação de trincas com segurança.

Mas mesmo com a técnica perfeita, considerando que a nitidez e o contraste da imagem radiográfica convencional são naturalmente mais baixos, a peça acaba se expondo a uma quantidade maior de radiação do que no caso da radiografia digital para que uma imagem da mesma qualidade seja feita. O processo de revelação do filme, além de ser uma etapa a mais (que, portanto, necessita da contratação de mais profissionais), gera substâncias tóxicas que contribuem para a poluição do ambiente. E o próprio filme acaba sendo descartado ao longo dos anos, contribuindo para a geração de lixo. No mais, embora o processo de revelação seja feito em menos de uma hora, não se compara com a agilidade do sistema digital, que consegue gerar a imagem no computador em apenas alguns segundos.

A radiografia digital em seu crescimento, tem as vantagens de facilidade da exibição da imagem, redução das dosagens de raios-x, uma praticidade no processamento da imagem, aquisição, armazenamento e recuperação da imagem.

Por ser superior em relação a nitidez, contraste, diferenciação de densidades e aos detalhes, a imagem que é gerada pelo sistema digital exige uma exposição menos rigorosa em relação à radiografia convencional. Isso já representa uma diminuição dos riscos e ainda torna o ambiente para o mais seguro para o técnico que realiza a operação. Não faz o uso de filmes e substâncias poluentes, tornando-a mais sustentável. Como desvantagens, a radiografia digital tem um investimento maior em termos de equipamentos e de atualização dos técnicos.

## 6. CONCLUSÃO

A radiografia trará maiores sensibilidades e agregará ferramentas aos relatórios em filtros, zoom, ajustes de contrastes, etc. O reconhecimento de defeitos se dará de modo automático, e desta forma a probabilidade de erros e falhas humanas serão minimizadas.

O impacto ambiental será menor, quanto aos produtos, embalagens plásticas, filmes, papéis, a sua forma de armazenamento e manuseio será otimizada, por arquivos digitais, mantêm os mesmos níveis de integridade obtidas pelas técnicas baseadas em filme, e ainda ganha todos os benefícios associados com o armazenamento de dados e sistemas de recuperação, também manterá os níveis de segurança e disponibilidade oferecidas pelo teste com filmes, que estiveram em uso por muitos anos.

As imagens poderão ser disponibilizadas em uma fração do tempo anteriormente tomada pelo filme e, geralmente, em um nível inferior de exposição e com um aumento da penumbra do detector em relação ao filme.

## 7. REFERÊNCIAS

ANDREUCCI, R. **Radiologia industrial**, 6ª edição, Julho, 2003.

ANDREUCCI, R. **Radiologia industrial**, Ed. Janeiro, editora Abende, 2007.

ANDREUCCI, R. **Radiologia industrial**, Ed. Julho, editora Abende, 2014.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, CNEN-NN-3.01, Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica D.O.U, Janeiro, 2006. 17 p.

**Componentes da radiografia convencional: sistema tela-filme.** Disponível em <<https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/medicina/componentes-da-radiografia-convencional-sistema-tela-filme/35817> > Acesso: 15. ago 2018, 22:57

MOREIRA, E. **Aplicação Da Radiografia Digital utilizando detectores planos para Inspeção de Soldas de Gasodutos e Oleodutos.** Taubaté, 2007

**Radiografia Industrial: Conheça As Aplicações E O Mercado De Trabalho.** Disponível em < <http://radiologia.blog.br/radiologia-industrial/radiografia-industrial-conheca-as-aplicacoes-e-o-mercado-de-trabalho> > Acesso: 18. ago 2018, 14:35

**Sistema Pacs: Diferenças entre radiografia digital e convencional** <<http://www.mv.com.br/pt/blog/sistema-pacs--diferencas-entre-radiografia-digital-e-convencional> > Acesso: 16. ago 2018, 01:16

Telecurso 2000. **Radiografia Industrial. Aula 23**, São Paulo 2011