



1. OBJETIVO

- 1.1 A utilização deste documento destina-se, única e exclusivamente, ao treinamento de candidatos à certificação no método de END e técnica descrita. A aplicação deste procedimento deve ser feita sob a supervisão do N3 responsável pelo treinamento.
- 1.2 Este documento não deve ser considerado como referência para qualquer trabalho de inspeção em campo.
- 1.3 Este procedimento estabelece as condições necessárias para a execução do ensaio não destrutivo por meio de ensaio radiográfico, através de Raios X e Raio Gama, para detecção de descontinuidades em juntas soldadas.

2. NORMAS DE REFERÊNCIA

- 2.1 ASME V , artigos 2 e 22, edição 2023.

3. MATERIAL E FAIXA DE ESPESSURAS

- 3.1 Material: aço carbono, aços de baixa liga e aços inoxidáveis.
- 3.2 Faixa de espessuras: 3 a 70,0 mm.
- 3.3 Faixa de diâmetros: ≥ 26 mm.

4. SAÚDE E SEGURANÇA

- 4.1 Antes da aplicação deste procedimento todas as pessoas envolvidas com a inspeção, devem estar familiarizadas com os conteúdos dos procedimentos de segurança local.
- 4.2 Quando da preparação dos produtos químicos utilizados no processamento do filme radiográfico, deve ser providenciada uma boa ventilação no local. É recomendável a utilização de máscaras ou respiradores e óculos de segurança. No caso específico do fixador, é recomendável a utilização de luvas para proteger a pele e aventais plásticos para proteger o trabalhador e suas vestimentas.
- 4.3 Os profissionais envolvidos nas atividades de execução das radiografias deverão atender aos requisitos da CNEN quanto à radioproteção.
- 4.4 Em função dos locais de inspeção e dos produtos a serem utilizados, o inspetor deve avaliar a necessidade de uso de EPI's apropriados.

5. TIPO DE FONTE

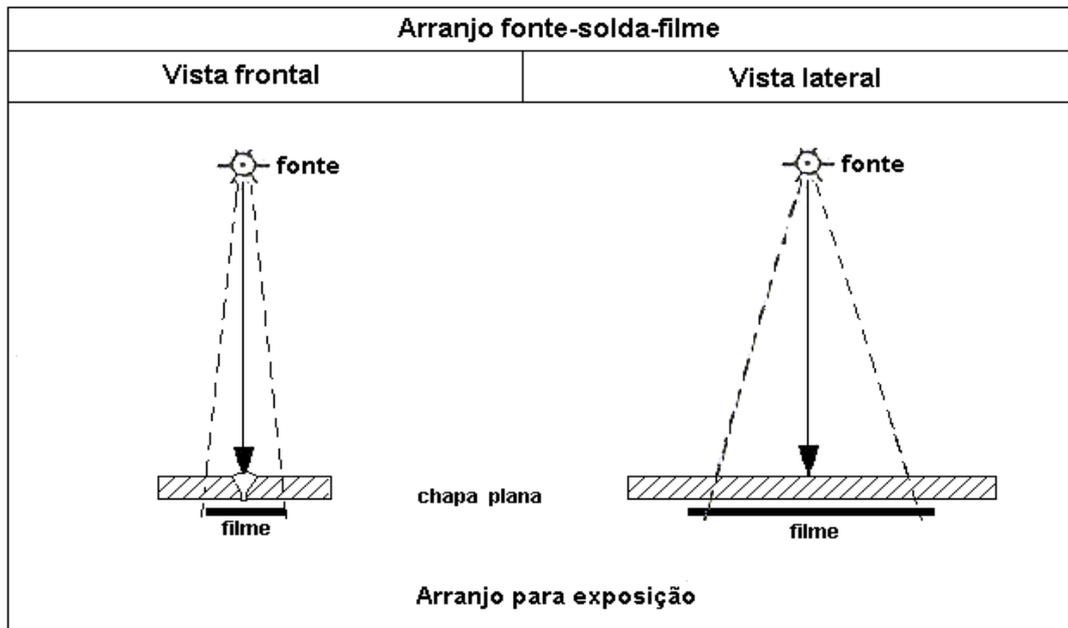
- 5.1 Radioisótopo: Iridio-192.
- 5.2 Equipamento gerador de raios X.

6. DIMENSÕES MÁXIMAS DA FONTE

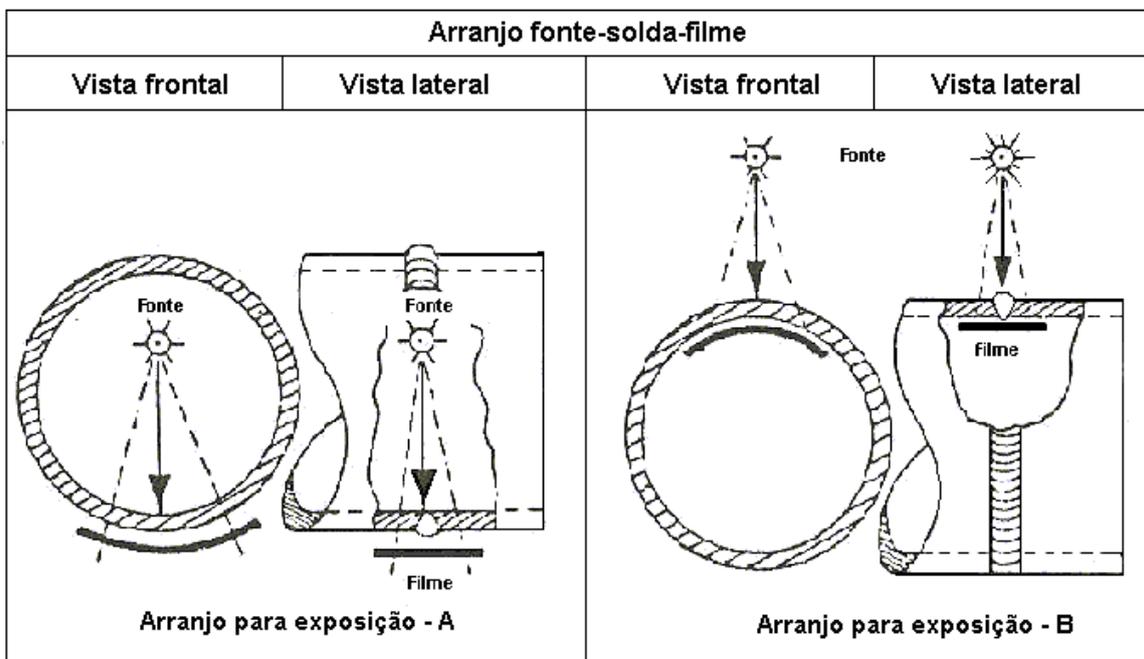
- 6.1 Raio Gama - 3,0 mm x 3,0 mm.
- 6.2 Raio X - Tamanho focal máximo do equipamento do Centro de Exames de Qualificação

7. ESQUEMA INDICATIVO DO ARRANJO PARA EXPOSIÇÃO

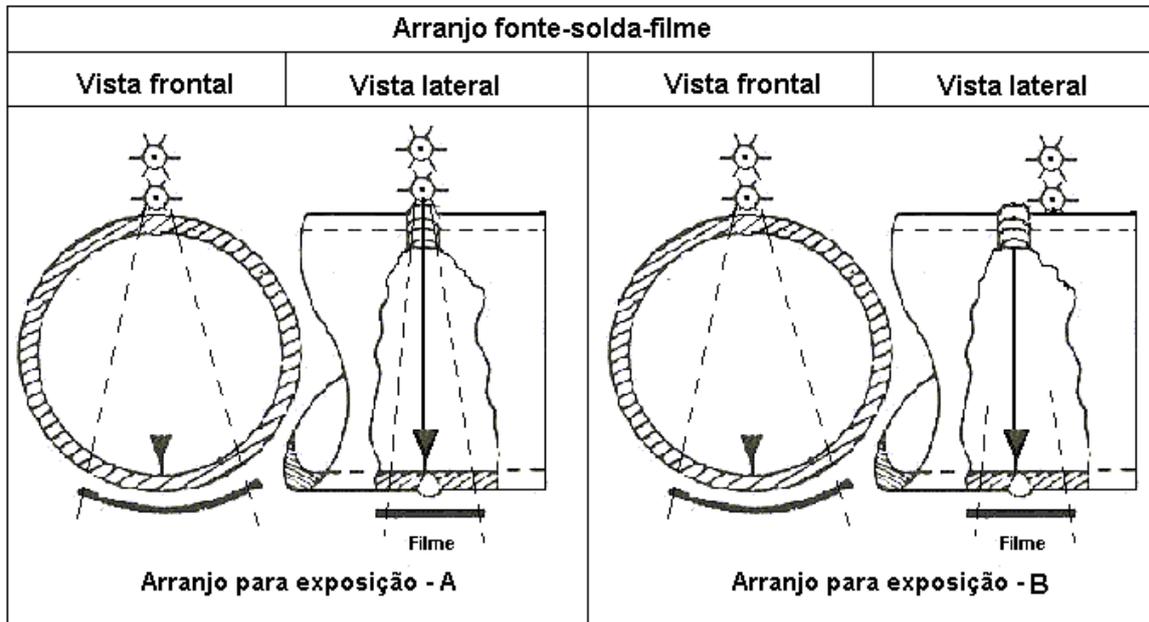
7.1 TÉCNICA RADIOGRÁFICA DE PAREDE SIMPLES E VISTA SIMPLES (PS-VS) – CHAPAS PLANAS



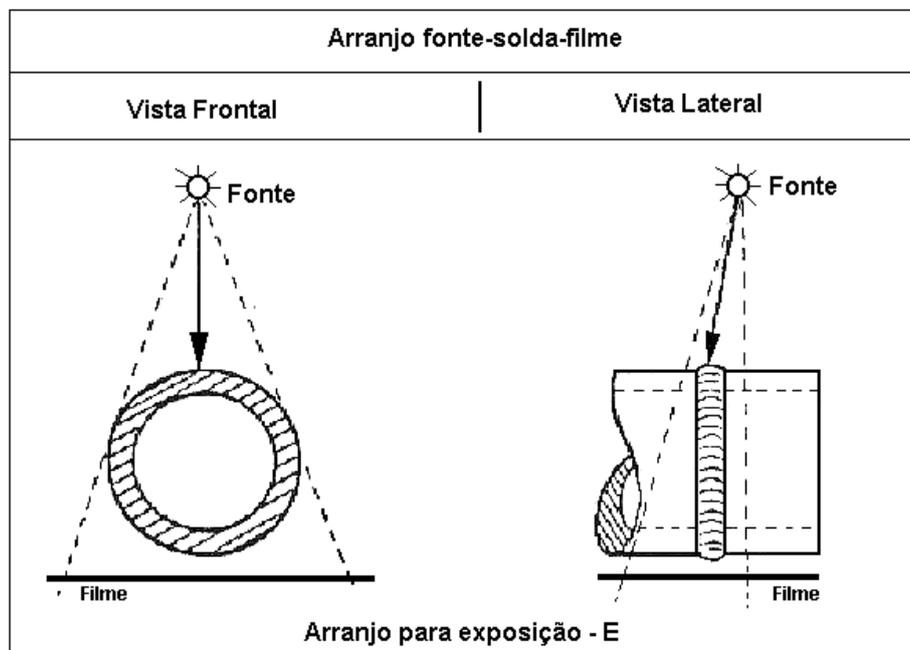
7.2 TÉCNICA RADIOGRÁFICA DE PAREDE SIMPLES E VISTA SIMPLES (PS-VS) – TUBULAÇÃO



7.3 TÉCNICA RADIOGRÁFICA DE PAREDE DUPLA E VISTA SIMPLES (PD-VS)



7.4 TÉCNICA RADIOGRÁFICA DE PAREDE DUPLA E VISTA DUPLA (PD-VD).



Obs.: Na imagem radiográfica a dimensão do eixo menor interno da elipse deve ficar entre 10 e 15 mm. Para o cálculo do ângulo (α) de abertura necessário para projeção e formação da elipse deve ser utilizado no cálculo da fórmula descrita em 13.3 o valor de 12 mm.



8. FILMES

Devem ser utilizados filmes radiográficos industriais de Classe I (baixa velocidade, contraste muito alto e granulação muito fina) ou de Classe II (média velocidade, contraste alto e granulação fina).

9. TELAS INTENSIFICADORAS

9.1 Material: Chumbo.

9.2 Quantidade: 02 (duas), uma em cada face do filme.

9.3 Dimensões: as mesmas dos filmes.

9.4 Espessuras: anterior: 0,127 mm (0,005").
posterior: 0,254 mm (0,010").

9.5 Identificação: as telas devem ser identificadas individualmente por números posicionados em baixo relevo por sinete, fora da área de interesse.

10. MARCADORES DE POSIÇÃO

10.1 Serão utilizadas, como marcadores de posição, caracteres de chumbo com altura máxima de 12mm.

10.2 Para a técnica PD-VD, serão utilizadas letras "A" e "B" de chumbo que serão posicionadas no lado da fonte e defasadas de 90 graus.

10.3 Para demais técnicas, será utilizada uma fita com algarismos de chumbo, fixados em intervalos regulares em ordem crescente, observando que:

- a) os marcadores de posição devem ser fixados na peça e nunca no chassi;
- b) para juntas circunferenciais, a fita deve ser enrolada à tubulação, sendo que os marcadores de posição posicionados no lado do filme;
- c) para o perfeito posicionamento da referência "0" (zero) da fita, deve ser marcada sobre a peça o ponto zero acrescentando-se uma seta 

11. DENSIDADE

11.1 *Raio Gama* - A densidade, medida na área de interesse e na região do IQI, deve ser no mínimo de 2,0 e no máximo 4,0 H-D para filmes avaliados individualmente.

11.2 *Raio X* - A densidade, medida na área de interesse e na região do IQI, deve ser no mínimo de 1,8 e no máximo 4,0 H-D para filmes avaliados individualmente.

11.3 A verificação da densidade deve ser efetuada por meio de densitômetro eletrônico aferido/calibrado.

11.4 A calibração, para uso, do densitômetro eletrônico que não possui iluminação própria deve ser efetuada por meio de fita densitométrica calibrada, exatamente na região do negatoscópio onde se pretende efetuar a medição de densidade e sem alteração posterior das condições de luminosidade do negatoscópio. Essa calibração deve ser feita no início de cada jornada de trabalho e a cada 8 horas contínuas de uso. O densitômetro é aceitável, para uso, se a leitura da densidade estiver dentro da tolerância de $\pm 0,05$ HD da densidade da fita densitométrica calibrada.

11.5 Caso a densidade em qualquer área de interesse da radiografia apresente uma variação maior que -15% ou +30% em relação a densidade medida no IQI (IQI de furo) ou a adjacente a este (IQI de arame), com as densidades dentro dos limites permitidos, IQI's adicionais deverão ser posicionados nestas regiões e a radiografia deverá ser refeita.

12. INDICADORES DA QUALIDADE DE IMAGEM (IQI)

12.1 Poderão ser utilizados indicadores da qualidade de imagem tipo ASME (de furo), tipo DIN ou ASTM (de arame).

12.2 A sensibilidade radiográfica deve ser verificada pelo uso de IQI, o qual deve apresentar na radiografia uma imagem perfeitamente definida, inclusive de seus números e letras de identificação, e o furo ou arame essencial bem visível.

12.3 Para IQI de arames, admite-se que o arame essencial é bem visível quando se visualiza, na área de interesse da radiografia, 10 mm do seu comprimento.

12.4 A seleção do tipo e do furo ou arame essencial devem ser de acordo com as tabelas de execução.

12.5 A espessura considerada para a determinação do arame ou furo essencial é:

- a) Solda com reforço: a espessura em que o IQI é baseado é a espessura nominal de uma parede mais o reforço estimado e que não exceda o máximo permitido. O cobre-junta não deve ser considerado como parte da espessura na seleção do IQI. A medida exata do reforço de solda não é requerida.
- b) Solda sem reforço: a espessura em que o IQI é baseado é a espessura nominal de uma parede. O cobre-junta não deve ser considerado como parte da espessura na seleção do IQI.

12.6 *Locação*

Para IQI de Furo (TIPO ASME).

- IQI deve ser posicionado na região central do filme, afastado no mínimo 3mm da região de interesse.
- Para o caso de reforço de solda não removido, um calço, de material radiograficamente similar ao do metal de solda, deve ser colocado sob o IQI.
- A espessura do calço deve ser selecionada de forma que a espessura total a ser radiografada abaixo do IQI, seja a mesma da espessura nominal de uma parede mais o reforço de solda máximo permitido.
- As dimensões do calço devem exceder as dimensões do IQI de tal forma que pelo menos três lados da imagem do IQI sejam visíveis na radiografia.

Para IQI de arame (tipo DIN ou ASTM).

- IQI deve ser posicionado na região central da radiografia sobre a solda, com seus arames perpendiculares a mesma.
- A identificação do IQI, e a letra "F", quando utilizada, não deve estar na área de interesse.

12.7 Deve ser utilizado um IQI por radiografia.

12.8 Para as técnicas PS/VS e PD/VD, o IQI deve ser posicionado no lado da fonte.

12.9 Para a técnica PD/VS, o IQI deve ser posicionado no lado do filme. Neste caso, deve ser fixada uma letra "F", de chumbo, adjacente à identificação do IQI, a qual deve ter uma altura mínima igual a identificação do IQI.



13. TABELA DE EXECUÇÃO

13.1 Para IQI, tipo ASME (de furo) e tipo DIN e ASTM (de arame).

Diâmetro Externo/ Chapa	Faixa de Espessuras (mm)		DFF Mínima (mm)	IQI			Técnica Radiográfica	Classe do Filme	
	Maior que	até		Furo ASME	Arame ASTM (Pol.- N°)	Arame DIN N°			Lado
Chapa	3,0	6,4	600	12-2T	0,008-5	13	fonte	PS/VS	classe I
	6,4	9,5	600	15-2T	0,010-6	12	fonte	PS/VS	classe II
	9,5	12,7	600	17-2T	0,013-7	11	fonte	PS/VS	classe II
	12,7	19,0	600	20-2T	0,016-8	10	fonte	PS/VS	classe II
	19,0	25,4	600	25-2T	0,020-9	9	fonte	PS/VS	classe II
	25,4	38,1	600	30-2T	0,025-10	8	fonte	PS/VS	classe II
	38,1	50,8	600	35-2T	0,032-11	7	fonte	PS/VS	classe II
	50,8	63,5	600	40-2T	0,040-12	6	fonte	PS/VS	classe II
	63,5	70,0	600	50-2T	0,050-13	5	fonte	PS/VS	classe II
≤ 89 mm	3,0	6,4	700	12-2T	0,008-5	13	fonte	PD/VD	classe I
	6,4	9,5	700	15-2T	0,010-6	12	fonte	PD/VD	classe II
	9,5	12,7	700	17-2T	0,013-7	11	fonte	PD/VD	classe II
	12,7	19,0	700	20-2T	0,016-8	10	fonte	PD/VD	classe II
	19,0	25,4	700	25-2T	0,020-9	9	fonte	PD/VD	classe II
> 89 mm	3,0	6,4	115	10-2T	0,006-4	14	filme	PD/VS	classe I
	6,4	9,5	170	12-2T	0,008-5	13	filme	PD/VS	classe I
	9,5	12,7	220	15-2T	0,010-6	12	filme	PD/VS	classe II
	12,7	19,0	220	17-2T	0,013-7	11	filme	PD/VS	classe II
	19,0	25,4	250	20-2T	0,016-8	10	filme	PD/VS	classe II
	25,4	38,1	370	25-2T	0,020-9	9	filme	PD/VS	classe II
	38,1	50,8	430	30-2T	0,025-10	8	filme	PD/VS	classe II

13.2 *Quantidade de filmes e Sobreposição*

Diâmetro externo (mm)	Quantidade de Filmes	Dimensões dos Filmes	Sobreposição Mínima (mm)	Sobreposição Real (mm)
26,6 a 89	2	89 ou 114 x 216	-	-
114	4	89 ou 114 x 216	30	126
168	4	89 ou 114 x 216	30	84
219	4	89 ou 114 x 216	30	43
230	4	89 ou 114 x 432	30	251
270	4	89 ou 114 x 432	30	219
275	4	89 ou 114 x 432	30	216
324	4	89 ou 114 x 432	30	177
410	4	89 ou 114 x 432	30	110
Chapa	ver nota (2)	89 ou 114 x 432	ver nota (1)	ver nota (3)

NOTAS:

(1). Fórmula para cálculo de sobreposição mínima para chapa.

$$S \text{ min} = \frac{C \cdot e}{DFF} + 6 \text{ mm}$$

(2). Fórmula para cálculo de quantidade de filmes para chapa.

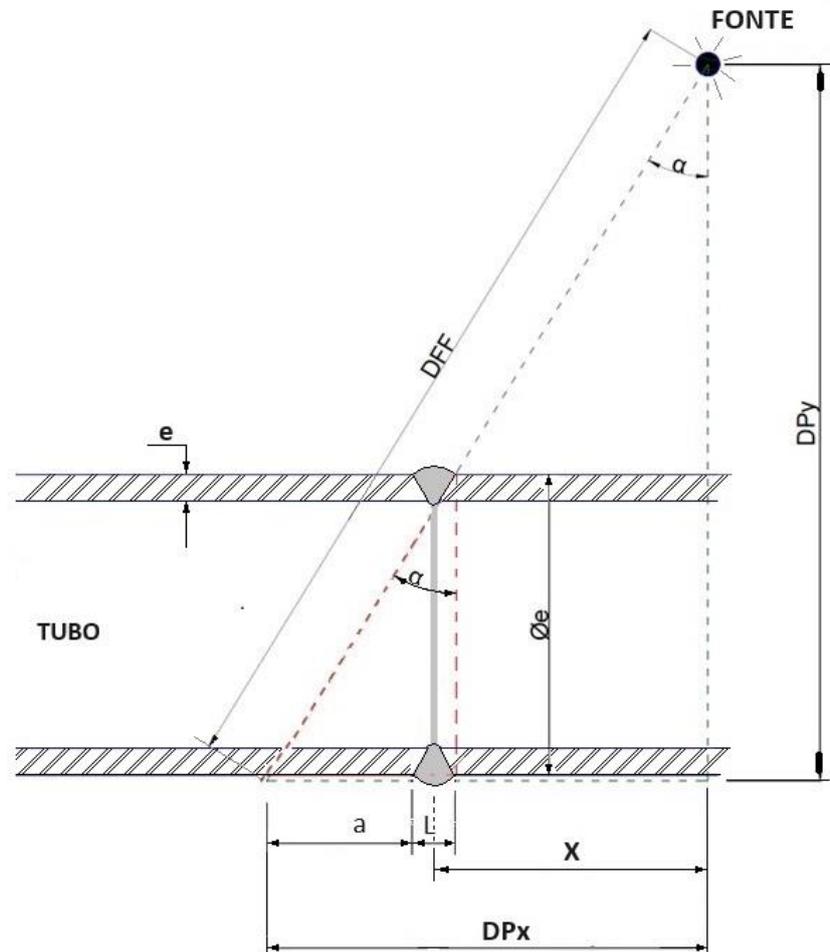
$$NF = \frac{CH}{C - S \text{ min}}$$

(3). Fórmula para sobreposição real para chapa.

$$S = \frac{(C \times NF) - CH}{NF + 1}$$

e = espessura de chapas (mm);
 C = comprimento do filme (mm);
 NF = quantidade de filme;
 CH = comprimento da chapa (mm);
 DFF = distância fonte filme (mm).

13.3 Cálculo da abertura da Elipse



$$\alpha = \text{arc tan} \frac{(L + a)}{\text{Øe}}$$

$$DPy = \cos \alpha \times DFF$$

$$DPx = \text{sen} \alpha \times DFF$$

$$X = DPx - a - (L \div 2)$$

- α = ângulo de abertura elipse;
- L = largura da face de solda (mm);
- a = abertura da elipse (mm);
- Øe = diâmetro externo (mm);
- DPx = distância projetada horizontal (mm);
- DPy = distância projetada vertical (mm);
- DFF = distância fonte filme (mm);
- X = distância projetada vertical até centro da solda (mm).



14. IDENTIFICAÇÃO DAS RADIOGRAFIAS

- 14.1 As radiografias deverão ser identificadas através da imagem radiográfica obtida de uma etiqueta preenchida a lápis, posicionada sobre uma tela de tungstato de cálcio, fixada entre as telas intensificadoras e fora da região de interesse. O material utilizado para a etiqueta pode ser de papel vegetal, ou qualquer outro material que em conjunto com a tela de tungstato de cálcio permita a passagem da luz em quantidade suficiente para a identificação do filme.
- 14.2 Devem constar, no mínimo, as seguintes informações na etiqueta de identificação:
- identificação do corpo de prova;
 - espessura;
 - material;
 - posição de filme;
 - técnica radiográfica;
 - identificação do candidato;
 - data;
 - identificação do Centro de Exames de Qualificação;
 - identificação da Empresa.
- 14.3 Na capa do filme devem constar, no mínimo, as seguintes informações:
- identificação do corpo de prova;
 - espessura;
 - material;
 - posição do filme;
 - técnica radiográfica;
 - identificação do candidato;
 - data;
 - identificação do Centro de Exames de Qualificação;
 - identificação da empresa;
 - distância fonte-filme;
 - marca comercial e tipo de filme;
 - densidade;
 - indicador da qualidade de imagem com furo ou arame visível;
 - visto do candidato.

15. ESTADO DA SUPERFÍCIE

A superfície da região a ser ensaiada deve estar livre de irregularidades que possam mascarar ou serem confundidas com descontinuidades.

16. PROCESSAMENTO DOS FILMES

- 16.1 Os filmes deverão ser processados através do processo manual.
- 16.2 **PREPARAÇÃO** - Antes do início da revelação, as colgaduras devem ser carregadas e as soluções convenientemente agitadas. O distanciamento mínimo entre as colgaduras, deve ser 12,7 mm
- 16.3 **REVELAÇÃO** - O tempo de revelação, função da temperatura do revelador, devendo ser seguidas as orientações dos fabricantes. Quando não houver orientação do fabricante, será utilizada a tabela abaixo.



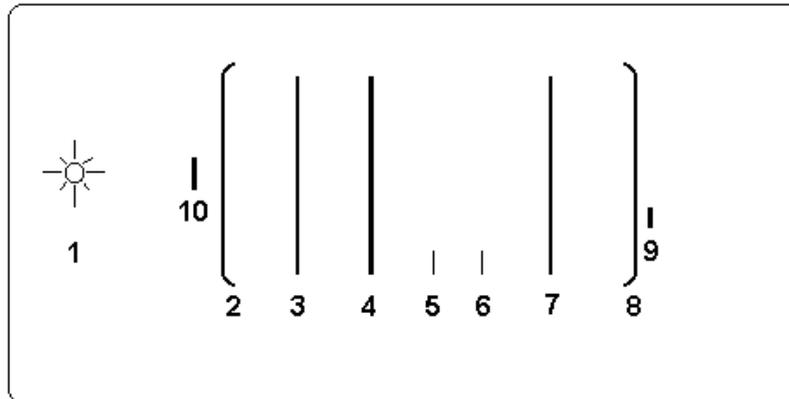
TEMPO DE REVELAÇÃO (min)

TEMPERATURA (° C)	Tempo normal	Tempo máximo
15	9,0	15,0
16	8,0	14,0
17	7,0	12,0
18	6,0	10,0
19	5,5	9,0
20	5,0	8,0
21	4,5	7,0
22	4,0	6,0
23	3,5	5,5
24	3,0	5,0

- 16.4 **AGITAÇÃO** - Os filmes devem ser agitados horizontal e verticalmente, considerando-se como ideal a agitação por 15 segundos, a cada minuto de revelação.
- 16.5 **BANHO INTERRUPTOR OU BANHO DE PARADA** - Após o término da revelação, a atividade remanescente do revelador na emulsão deve ser neutralizada por um banho interruptor ácido, durante um período de 30 a 60 segundos. Esta interrupção pode ser obtida por lavagem com agitação intensa na água limpa.
- 16.6 **FIXAÇÃO** - Os filmes não devem tocar-se, uns aos outros, quando no fixador. As colgaduras devem ser agitadas verticalmente, durante aproximadamente 10 segundos, e novamente, ao fim de cada minuto, para garantir uma fixação uniforme. Os filmes devem permanecer no fixador pelo dobro do tempo de revelação, porém, não mais do que 15 minutos.
- 16.7 **LAVAGEM** - Após a fixação, os filmes devem ser imersos em tanque de água corrente, por um período entre 20 e 40 minutos, para lavagem final.
- 16.8 **AGENTE UMEDECEDOR** - Após a lavagem, os filmes deverão ser imersos em um agente umedecedor, durante aproximadamente 30 segundos. Esta operação permitirá que a água escorra uniformemente do filme, facilitando uma secagem rápida e uniforme.
- 16.9 **SECAGEM** - Os filmes, em seguida, devem ser secos em estufa elétrica, tomando-se o cuidado para não haver contato entre os mesmos. A estufa será ligada, inicialmente, durante 30 minutos com ventilação a frio, e posteriormente a secagem será completada com ar quente durante 15 minutos.
- 16.10 Os seguintes cuidados adicionais devem ser seguidos:
- Cada banho deve ser preparado em um recipiente individual, o qual deve ser utilizado exclusivamente para este banho;
 - Cada banho deve ter um bastão para agitação que deve ser identificado para que não haja troca;
 - Os filmes devem ser manipulados pelas bordas e com as mãos limpas e secas;
 - Devem ser evitados dobramentos severos, pressões excessivas e um manuseio grosseiro;
 - As radiografias devem estar livres de manchas de qualquer origem até o ponto em que estas possam mascarar ou serem confundidas com a imagem de qualquer descontinuidade, na área de interesse.

17. REQUISITOS ADICIONAIS

17.1 *Arranjo do chassi* - O arranjo deverá seguir o esquema abaixo:



Onde:

- (1). fonte;
- (2). chassi anterior;
- (3). tela anterior;
- (4). filme;
- (5). etiqueta;
- (6). tela de tungstato de cálcio;
- (7). tela posterior;
- (8). chassi posterior;
- (9). letra de chumbo "B";
- (10). IQI.

17.2 *Seqüência da execução do ensaio.*

- a) Verificar material, dimensões, condições de limpeza e preparação da superfície do corpo de prova a ser ensaiado;
- b) Definir técnica radiográfica, distância fonte-filme, quantidade e tipo de filmes e IQI conforme tabelas de execução;
- c) Definir o tempo de exposição;
- d) Preparar a etiqueta de identificação da radiografia e montar o chassi;
- e) Montar o arranjo de exposição, preparar equipamentos e tomar providências quanto a radioproteção;
- f) Expor os filmes;
- g) Processar os filmes e verificar a qualidade destes;
- h) Preparar as capas dos filmes;
- i) Preparar relatório final.

17.3 *Radiação Retroespalhada*

Deve ser fixada, por trás do chassi, uma letra "B" de chumbo com dimensões mínimas de 13 mm de altura e 1,6 mm de espessura para verificação da proteção contra radiações dispersas por trás do chassi, a qual não deve aparecer na radiografia como uma imagem clara num fundo escuro, pois, caso isto aconteça, a proteção dada é caracterizada como insuficiente. Uma imagem escura da letra "B" num fundo mais claro não implica na rejeição da radiografia.

17.4 *Proteção Radiológica.*

Deverão ser seguidas as normas e orientações da CNEN, bem como o plano de radioproteção aplicável.

18. Formulário de Registro de Resultados

Deverá ser preenchido o formulário de registro de resultados conforme modelo mostrado no Anexo 1.

