



**UNIDADE PORTÁTIL DE TÚLIO-170 PARA  
GAMAGRAFIA DE METAIS LEVES**

*A. C. PENTEADO FILHO  
W. SANCHEZ*

**PUBLICAÇÃO IEA N.º**  
Setembro — 1968

**174** ©

**INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA**  
Caixa Postal 11049 (Pinheiros)  
CIDADE UNIVERSITÁRIA "ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA"  
SÃO PAULO — BRASIL

UNIDADE PORTÁTIL DE TÚLIO-170 PARA GAMAGRAFIA DE METAIS LEVES

A.C. Penteado Filho

W. Sanchez

Divisão de Operação e Manutenção de Reatores

Instituto de Energia Atômica

São Paulo - Brasil

Publicação IEA Nº 174

Setembro - 1968

Comissão Nacional de Energia Nuclear

Presidente: Prof. Uriel da Costa Ribeiro

Universidade de São Paulo

Reitor: Prof.Dr. Luis Antonio da Gama e Silva

Instituto de Energia Atômica

Diretor: Prof. Rômulo Ribeiro Pieroni

Conselho Técnico-Científico do IEA

Prof.Dr. José Moura Gonçalves	}	pela USP
Prof.Dr. José Augusto Martins		
Prof.Dr. Rui Ribeiro Franco	}	pela CNEN
Prof.Dr. Theodoreto H.I. de Arruda Souto		

Divisões Didático-Científicas

Divisão de Física Nuclear -

Chefe: Prof.Dr. Marcello D.S. Santos

Divisão de Radioquímica -

Chefe: Prof.Dr. Fausto Walter de Lima

Divisão de Radiobiologia -

Chefe: Prof.Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni

Divisão de Metalurgia Nuclear -

Chefe: Prof.Dr. Tharcísio D.S. Santos

*Divisão de Engenharia Química -*

Chefe: Lic. Alcídio Abrão

Divisão de Engenharia Nuclear -

Chefe: Engº Pedro Bento de Camargo

Divisão de Operação e Manutenção de Reatores -

Chefe: Engº Azor Camargo Penteado Filho

Divisão de Física de Reatores -

Chefe: Prof.Dr. Paulo Saraiva de Toledo

Divisão de Ensino e Formação -

Chefe: Prof. Rui Ribeiro Franco

# UNIDADE PORTÁTIL DE TÚLIO-170 PARA GAMAGRAFIA DE METAIS LEVES <sup>(1)</sup>

A. C. PENTEADO FILHO <sup>(2)</sup>

W. SANCHEZ <sup>(3)</sup>

## RESUMO

Os ensaios não destrutivos tornaram-se essenciais no desenvolvimento da indústria moderna como meio de garantir melhor controle de eventuais defeitos. Entre os vários métodos de ensaios não destrutivos, vêm sendo mais utilizados os métodos radiográficos, tanto por raio-X como por raio gama. A grande maioria dos ensaios com raios gama é realizada empregando-se fontes de Co-60, Ir-192 e Tm-170, porque cobrem esses isótopos um intervalo desde frações de milímetro de espessura de ligas leves (alumínio, titânio) até cerca de 20 cm de aço. A Divisão de Operação e Manutenção de Reatores (DOMR) do Instituto de Energia Atômica de São Paulo tem-se dedicado à produção de fontes de Tm-170. Esse isótopo que emite raios gama de baixa energia (84 keV) possui meia-vida de 127 dias, e propicia radiografias equivalentes às produzidas pelas máquinas de raio-X de 100 kV. Uma unidade radiográfica portátil para utilização do Tm-170 foi projetada e construída para aplicações industriais. As fontes para gamagrafia são obtidas irradiando-se no reator pastilhas cilíndricas de  $Tm_2O_3$  com 4 mm de diâmetro e 4 mm de altura. Neste trabalho os autores descrevem a técnica adotada, ilustrada com diversas gamagrafias de soldas em alumínio, possibilidades atuais e futuras de produção das fontes de T-170, utilização, vantagens e limitações das mesmas. A sensibilidade é de 2% em soldas de alumínio, com espessuras até 2 cm. A densidade radiográfica no intervalo 0,7 a 1,0 parece dar melhores resultados com alumínio. Concluem que o baixo custo, a sensibilidade do método e a facilidade de transporte e de montagem do irradiador tornam o Tm-170 muito útil às indústrias que utilizam metais leves.

## 1. INTRODUÇÃO

Os ensaios não destrutivos tornaram-se essenciais no desenvolvimento da indústria moderna como meio de garantir melhor controle de eventuais defeitos. Entre os vários métodos de ensaios não destrutivos vêm sendo mais utilizados os métodos radiográficos tanto por raio-X como por raio gama. A gamagrafia é, pois, um método de ensaio não destrutivo que adota a propriedade de penetração dos raios gama para examinar o interior de materiais e conjuntos lacrados quando não fôr possível uma inspeção visual.

A variedade de materiais a ser ensaiada por métodos radiográficos e as condições em que esses ensaios devem ser realizados determinam, na maioria das vezes, a escolha entre o raio-X e o raio gama. Na realidade não existe competição entre esses dois processos, porque ambos se completam. Uma análise de suas características, vantagens e desvantagens pode ser efetuada levando-se em conta os seguintes aspectos:

a) *Aspecto econômico* — Quanto ao investimento inicial, considerando-se que para cada caso uma comparação específica deve ser feita, pode-se afirmar que as fontes de gamagrafia e seu equipamento auxiliar (blindagem e irradiador) custam bem menos que os aparelhos de raio-X. Há nítida vantagem da gamagrafia no que se refere à manutenção, pois não apresenta danos em transformadores de alta tensão, trocas de óleo para refrigeração, etc. Os isótopos radioativos dispensam qualquer fonte de alimentação elétrica que, além de influir no aspecto econômico, possibilita a execução de ensaios radiográficos em locais desprovidos de energia elétrica.

b) *Aspecto técnico* — A máquina de raio-X é bem mais versátil que as fontes de gamagrafia. Pode-se ajustar convenientemente a tensão e, portanto, a energia da radiação proveniente de um aparelho de raio-X, tornando-o muito útil para ensaiar uma variedade de materiais e, de acordo com suas características, obtém-se uma energia ótima para executar o ensaio. A fonte de gamagrafia, ao contrário, não apresenta mudanças no poder de penetração da sua radiação. A máquina de raio-X produz radiação mais intensa, possibilitando tempo de exposição menor do que o proporcionado pela fonte radioativa. O problema pode ser amenizado levando-se em conta que uma fonte de gamagrafia, emitindo raios gama em todas as direções, possibilita expor várias peças ao mesmo tempo uma vez coloca-

(1) Contribuição Técnica n.º 752. Apresentada ao XXII Congresso Anual da ABM; Vitória, ES; julho de 1967.

(2) Engenheiro Civil e Nuclear. Chefe da Divisão de Operação e Manutenção de Reatores, Instituto de Energia Atômica; São Paulo, SP.

(3) Licenciado em Física; Supervisor das Operações do IEAR-1; Divisão de Operação e Manutenção de Reatores; Instituto de Energia Atômica; São Paulo, SP.

das em círculo ao redor da fonte. A fonte de gamagrafia não necessita de aparelhagem complexa; ela vem simplesmente armazenada em blindagem de chumbo que, quando montada sobre rodas, possibilita fácil transporte. No caso particular do túlio-170 (Tm-170) essas blindagens são de dimensões bastante reduzidas, pesando apenas de 1 a 6 kg. Ao contrário da máquina de raio-X, a fonte de gamagrafia, graças a seu pequeno tamanho, pode ser facilmente conduzida a lugares de difícil acesso.

c) *Aspectos relacionados à segurança dos operadores* — As máquinas de raio-X e as fontes de gamagrafia apresentam problemas de proteção radiológica. O cumprimento fiel das normas de proteção radiológica reduz grandemente a possibilidade de acidentes graves nos dois processos. A máquina de raio-X, apenas quando em funcionamento, apresenta problemas dessa ordem, ao passo que a fonte radioativa, emitindo continuamente seus raios gama, necessitará permanecer em sua blindagem durante o tempo em que não estiver sendo empregada.

O efeito biológico da radiação depende apenas da dose recebida e não da qualidade da radiação. Devido aos diferentes poderes de penetração, a ionização causada no tecido humano é de densidade e distribuição diferentes, provocando em conseqüência efeitos diversos. Os efeitos biológicos podem ser somáticos e genéticos. Somáticos são os relacionados apenas com o indivíduo. Genéticos são aqueles que podem alterar as gerações futuras do indivíduo. A ionização causada no tecido vivo tem um efeito definido, pois faz com que as proteínas se transformem em substâncias estranhas ao organismo humano, na maioria das vezes, tóxicas. A água que constitui  $\frac{3}{4}$  do organismo se decompõe formando ions positivos, negativos e radicais ativos de grande poder de oxidação que destroem as proteínas.

Um controle eficiente da dose de radiação recebida pelos operadores (tanto de raio-X como de raio gama) deve ser efetuado através de uma ficha radiológica individual. Esse controle é feito através de dosímetros de bolso ou filmes dosimétricos, os quais possibilitam registrar a dose recebida que é posteriormente comparada com os máximos permissíveis elaborados pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica.

## 2. FONTES DE TÚLIO-170 PARA GAMAGRAFIA

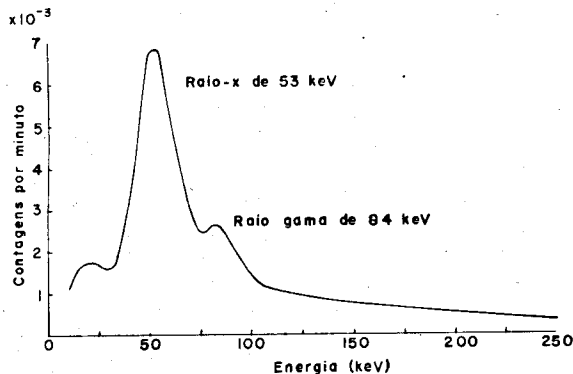
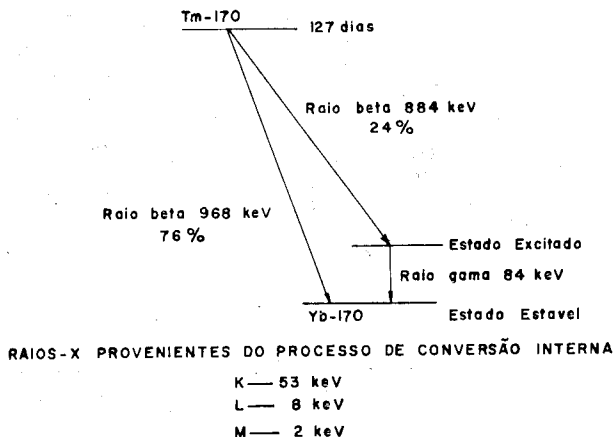
A grande maioria dos ensaios por gamagrafia é realizada empregando-se fontes de cobalto-60, irídio-192 e túlio-170 por cobrirem esses isótopos um intervalo desde frações de milíme-

tro de espessura de ligas leves (alumínio, titânio, magnésio) até cerca de 20 cm de aço. A Divisão de Operação e Manutenção de Reatores (DOMR) do Instituto de Energia Atômica de São Paulo tem-se dedicado à produção desses três tipos de fontes para gamagrafia. Outros tipos de fontes também têm sido produzidos e ensaiados como, por exemplo, os de európio 152-154, de itérbio-169 e de lutécio-177. Estes dois últimos tipos de fontes operam praticamente na mesma faixa de utilização do túlio-170, no entanto têm meias vidas mais curtas. Em soldas e fundições, o irídio-192 apresenta grande qualidade de imagem para espessuras de 6 a 50 mm de ferro ou material de densidade equivalente. Para peças de ferro ou aço de espessura acima de 50 mm os defeitos podem ser localizados por meio da radiação gama de alta energia do cobalto-60. Para materiais leves, de espessura equivalente até 2,5 cm de alumínio, utiliza-se o túlio-170.

O túlio é um elemento estável da família das terras raras que ocorre na natureza, com número de massa 169. Por captura de neutrons, através de reações nucleares, forma-se o isótopo túlio-170, emissor de radiação gama de baixa energia. Sua meia-vida é de 127 dias, isto é, após esse período de tempo a atividade da fonte será reduzida pela metade. Os raios gama do túlio-170 são originados de um estado excitado do itérbio-170, o qual é formado através de 24% das transições beta do túlio-170 (energia máxima de 0,884 MeV). O restante 76% das transições beta (energia máxima de 0,968 MeV) vai diretamente para o estado base (estável) do itérbio-170. O estado excitado transforma-se no estado estável pela emissão de um raio gama de 84 keV de energia. Essa radiação gama e também os raios-X de 53 keV, resultantes do processo de conversão interna, constituem a radiação útil do túlio-170 e é obtida em somente 8% das desintegrações totais (fig. 1).

As fontes de túlio-170 são obtidas irradiando-se no reator pastilhas de  $Tm_2O_3$ . Esse óxido, fornecido pela Administração da Produção da Monazita (antiga Orquima S.A.), é submetido a secagem e armazenado em secador. Uma certa quantidade é introduzida em uma matriz cilíndrica, onde é processada a prensagem da mesma. Remove-se, a seguir, o miolo (cilindro prensado), medem-se as dimensões do mesmo (4 mm de diâmetro por 3 a 4 mm de altura), pesa-se e avalia-se a densidade final que oscila entre 5,2 a 6,4 g/cm<sup>3</sup>. Esse miolo de  $Tm_2O_3$  é, em seguida, introduzido dentro de um cilindro maior de alumínio; como espaçador coloca-se sobre o miolo um outro cilindro de alumínio (fig. 2) e processa-se à soldagem em argônio. Esse conjunto é depois colocado dentro de um

suporte (também de alumínio), cujas bordas são viradas com o auxílio de um tórno. Evita-se, assim, que o cilindro que contém o miolo possa desprender de dentro do suporte.



DISTRIBUIÇÃO ESPECTRAL DA RADIAÇÃO DO Tm-170

Fig. 1 — Esquema de decaimento e espectro de energia do túlio-170.

Após gravação da numeração e da identificação do isótopo no cabo do suporte, a fonte é submetida a ensaios de vedação, sendo mergulhada em parafina a 190°C. Depois deste exame, estando a fonte em perfeitas condições, ela é colocada em um elemento suporte (tipo estojo com prateleiras), que deverá ser introduzido no reator. Esse elemento de irradiação é convenientemente projetado no sentido de se aproveitar ao máximo o fluxo de neutrons do reator, reduzir o efeito negativo na reatividade e a influência na depressão local do fluxo. Essas fontes são periodicamente retiradas do reator e após um período de decaimento dos isótopos de vida curta do material estrutural (alumínio neste caso) procede-se à medida da "dose-rate" a várias distâncias. A "dose-rate" representa a dose em unidade de tempo, por exemplo, röntgen por

hora. Quando à distância de 1 metro uma fonte de túlio-170 fornece 0,0025 röntgen/hora, dizemos que ela está com atividade de 1 curie.

A quantidade de radiação é indicada pela unidade chamada *Curie*. Quando afirmamos que uma fonte possui atividade de 1 curie, queremos dizer que ela está decaindo em ritmo de 37 bilhões de desintegrações/segundo. Levando-se em conta as energias envolvidas em cada desintegração, obtém-se a dose geralmente expressa em röntgen. Essa unidade é utilizada na prática das gamagrafias e também em proteção radiológica.

As fontes produzidas pela DOMR possuem miolos relativamente grandes (a influência das dimensões do miolo ativo na qualidade da gamagrafia é bastante discutível), devido à necessidade de se obter, com o atual ritmo de operações do reator, maiores atividades. Atualmente o reator IEAR-1 funciona em média 8 horas por dia na potência de 2 MW, 4 dias por semana, ritmo este considerado modesto. A partir de 1968, com as modificações e reformas que estão

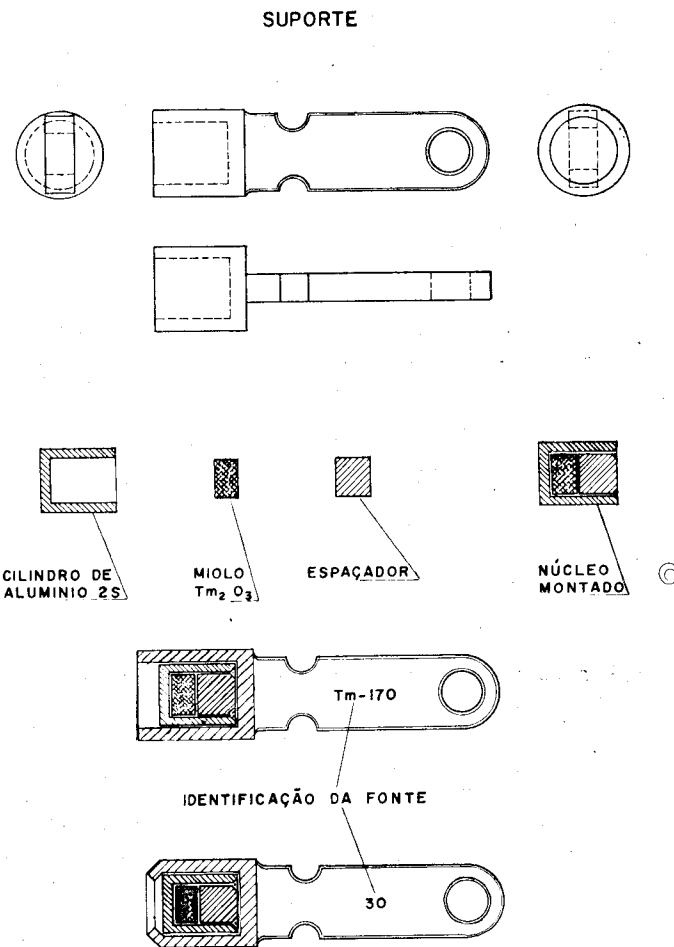


Fig. 2 — Desenho de montagem de fonte de túlio-170 para utilização em gamagrafia.

sendo programadas para o reator, êsse ritmo será aumentado, podendo-se prever uma produção de fontes de atividades bastante superiores às atuais.

Existem vários modelos de fontes para gamagrafia padronizados segundo à procedência: americana, francesa, inglesa, canadense, etc. Para evitar diversificação ainda maior, escolhemos para nossas fontes modelos ingleses AEA (X-22, X-26 para Tm-170, Ir-192, Yb-169, Eu-152-154 e Lu-177 e X-36 para Co-60), por serem os mais simples e difundidos.

### 3. IRRADIADORES PORTÁTEIS PARA FONTES DE TÚLIO-170

Os irradiadores a serem utilizados são de dois tipos, dependendo das atividades das fontes. A figura 3 mostra um irradiador bastante simples e que vem sendo utilizado com as fontes atualmente disponíveis no IEA. Consta de uma esfera de chumbo que gira livremente dentro de um cilindro também de chumbo. Um eixo horizontal de latão que contém em uma das extremidades uma manivela, permite que a esfera seja girada de 180°. A fonte pròpriamente dita é presa a um suporte de latão que é encaixado na esfera de chumbo de forma que, quando estiver na posição indicada pelo esquema, a fonte está em posição para as exposições. Quando o tempo de exposição terminar a esfera é girada de 180° pela manivela e a radiação emitida pela fonte fica contida na blindagem. Estão sendo usados alguns irradiadores desse tipo, pesando apenas de 1 a 2 kg.

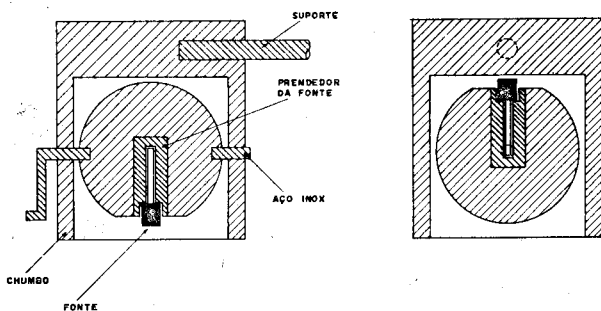


Fig. 3 — Esquema da unidade portátil para fonte de túlio-170, com atividade de até 4 curies.

A figura 4 apresenta um irradiador a ser usado com fontes de túlio-170 de maiores atividades ou com fontes de irídio-192 com cerca de 2 a 3 curies. Embora o irradiador seja de forma mais complexa e princípio básico de funcionamento é o mesmo. Conforme os esquemas apresentados, observa-se que êsses dois tipos de irradiadores são bastante versáteis, pequenos, le-

ves e não apresentam problemas no que se refere a transporte e às adaptações ou montagens para radiografias em qualquer local das fábricas ou laboratórios.

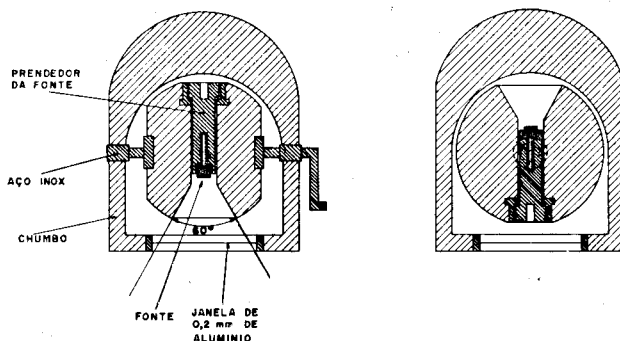


Fig. 4 — Esquema da unidade portátil para fonte de túlio-170, com maiores atividades da ordem de 8 curies.

### 4. TÉCNICAS PARA GAMAGRAFIA DE SOLDAS DE ALUMÍNIO

O desenvolvimento de novas técnicas de soldas de metais motivou uma alteração bem acentuada nos projetos mecânicos. Estas novas técnicas permitem reparos em peças e equipamentos com grande economia para a indústria. Um rigoroso controle de qualidade das soldas é indispensável, a fim de que seus defeitos possam ser localizados e reparados, evitando-se assim eventuais prejuízos e acidentes.

O ensaio das soldas, que foram corretamente executadas com materiais adequados, pode ser feito pela técnica da gamagrafia, cujo objetivo será o de constatar a presença ou ausência de descontinuidades e defeitos na massa do metal depositado e nas adjacências do metal base. A gamagrafia permite, pois, a documentação do ensaio com um registro completo da inspeção, fato não comum em outros métodos de ensaios não destrutivos.

Com a finalidade de divulgar as qualidades radiográficas das fontes de túlio-170, foi executada uma série de gamagrafias de juntas soldadas (de tópo) em chapas de alumínio fundido e laminado de espessura até 25 mm, as quais apresentavam descontinuidades sintéticas (artificiais) colocadas para a finalidade da pesquisa. As seguintes descontinuidades foram observadas: porosidade, inclusão de escórias, falta de fusão, falta de penetração, rachaduras e fissuras da solda, rachaduras no metal base e mordeduras.

A aparência da imagem do corpo ensaiado com os raios gama provenientes do túlio-170 pode ser descrita em termos do contraste e definição de pormenores no filme. Para êsses raios gama de 84 keV, a qualidade dessa imagem ra-

diográfica é afetada por muitas variáveis, tais como: característica dos filmes, composição, forma e dimensão do material ensaiado, natureza das "telas intensificadoras", configuração da descontinuidade e o posicionamento da fonte.

Em soldas, quando se deseja uma boa definição, o filme aconselhado é sempre o de granulação fina como, por exemplo, o EKC-AA e o Dupont-506. Nossos ensaios foram realizados com filme EKC-AA, cuja característica principal é o grão fino e alto contraste. Quando a granulação do filme se torna mais grossa, a nitidez de pormenores diminui. Um exemplo é indicado nas gamagrafias ilustrativas onde o mesmo ensaio foi executado com filmes de granulações diferentes como ilustra a figura 5. Filmes de granulação ultra-fina como o EKC-M e o Dupont-510 proporcionam melhor definição, mas sendo estes muito lentos requerem tempo de exposição longo.

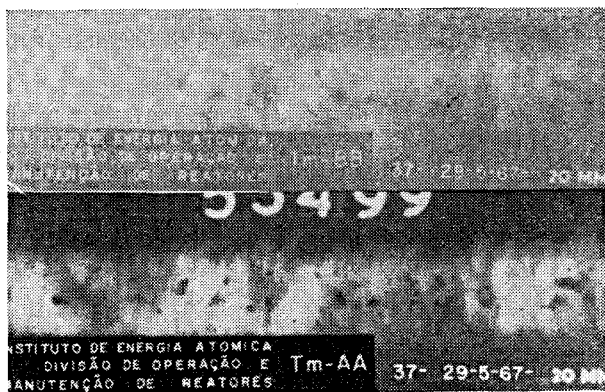


Fig. 5 — Influência do tipo de filme na qualidade radiográfica. A gamagrafia de baixo foi obtida com filme relativamente lento e de granulação fina. A gamagrafia de cima, do mesmo corpo de prova, foi obtida com filme rápido e de baixo contraste. (Reduzida no clichê).

A interpretação da gamagrafia é grandemente influenciada pela aparência da descontinuidade. Uma técnica precária em gamagrafia pode reduzir a aparência da imagem radiográfica, enquanto que uma boa técnica pode melhorá-la. Com raios gama de maior energia que a do túlio-170, a aparência radiográfica de uma dada descontinuidade nas soldas em alumínio, torna-se menos perceptível porque a radiação é mais penetrante e, portanto, diminui o contraste da peça. Fontes de irídio-192 e cobalto-60 que possuem raios gama de energias maiores que as do túlio-170 não se prestam a ensaios dessa natureza.

Outro fator que afeta a aparência das gamagrafias obtidas com túlio-170 é a variação da espessura do material ensaiado. Quando a espessura cresce, uma descontinuidade torna-se

menos perceptível na imagem radiográfica devido, principalmente, aos efeitos de penumbra e espalhamento da radiação gama.

Os melhores resultados obtidos com as gamagrafias das soldas em alumínio foram para espessuras compreendidas entre 6 e 20 mm; acima de 20 mm de espessura a qualidade radiográfica começa a diminuir. Abaixo de 6 mm, melhores resultados são conseguidos quando se utiliza um filme de granulação extra-fina e alto contraste como, por exemplo, o EKC-M e Dupont-510.

Quando o feixe de raios gama, proveniente da fonte de túlio-170, atinge a solda que estiver sendo ensaiada, uma parte é absorvida, outra refletida e o restante, atravessando essa solda, deixará impresso no filme radiográfico toda a sua estrutura interna.

A emulsão fotográfica absorve muito pouca radiação. Se durante a exposição o filme for deixado em contacto íntimo entre duas "telas" (de chumbo ou substância fluorescente como o tungstato de cálcio), um efeito fotográfico suplementar será obtido nas diversas camadas da emulsão fotográfica.

Nas gamagrafias de soldas em alumínio ensaiadas com o túlio-170, tanto as telas dianteiras como as posteriores eram de chumbo com espessura de 0,04 cm. A tela posterior pode ser de espessura maior, pois sua função principal é absorver a radiação espalhada, evitando que a gamagrafia fique embaçada e com pouca definição. Telas intensificadoras fluorescentes de tungstato de cálcio também foram usadas nas experiências.

A análise dos resultados obtidos indica que as telas de folhas de chumbo devem ser sempre usadas, desde que não haja presença de tempo de exposição. Sua relativa lentidão em comparação com as telas fluorescentes compensa a melhor qualidade de imagem obtida. O fator de intensificação das telas fluorescentes em relação às telas de chumbo de 0,04 cm de espessura é da ordem de 3.

Com a finalidade de atenuar as distorções, os elementos do sistema de exposição (fonte radioativa, filme, solda a ser ensaiada) devem ser arranjados de modo a se obter uma projeção central, isto é, a fonte deve estar sempre na perpendicular traçada a partir do meio do material a ser ensaiado. Isto nem sempre é possível devido à forma geométrica desses materiais ou ainda à dificuldade de acesso aos mesmos. Neste caso deve-se estudar uma posição vantajosa que permita diminuir as distorções de imagem. Quando possível, o filme deverá ficar bem próximo do material ensaiado. Aumentando-se a

distância filme-corpo de prova diminui consideravelmente a qualidade radiográfica. O emprêgo de chassis flexíveis que se amoldam a materiais de formas geométricas complexas auxiliam na obtenção de melhores resultados radiográficos.

Os tempos de exposição são facilmente calculados por meio da figura 6. Para uma fonte de túlio fornecendo 290 miliröntgen/hora a 50 cm, uma distância fonte-filme fixada em 60 cm, um filme EKC-AA colocado entre duas telas intensificadoras fluorescentes "Patterson" de alta velocidade, o tempo de exposição (em minutos) para uma determinada espessura de alumínio é dado diretamente em função da densidade radiográfica (escurecimento do filme).

A influência da densidade radiográfica sobre a detetabilidade das descontinuidades foi estudada. A densidade radiográfica no intervalo 0,7 e 1,0 parece dar os melhores resultados para sensibilidade de 2% nas soldas de alumínio. Em todos os ensaios foram usados Indicadores de Qualidade de Imagem (IQI) ou penetrômetros DIN e foram colocados sempre de tal forma que o plano dos mesmos fôsse perpendicular ao feixe de radiação gama.

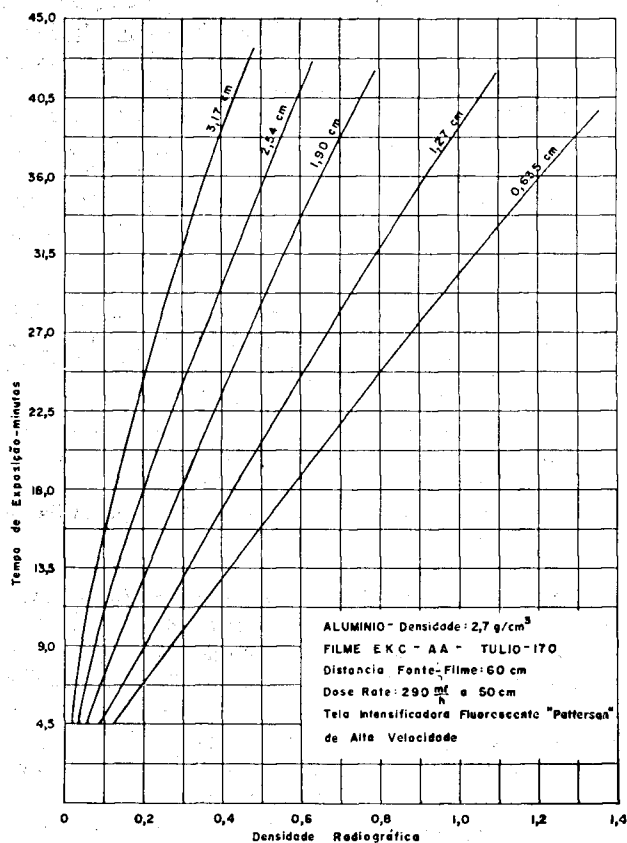


Fig. 6 — Gráfico para a determinação do tempo de exposição para obtenção de gamagrafia de peças de alumínio, utilizando-se fonte de túlio-170.

É conveniente ressaltar, entretanto, que mesmo que certo fio do penetrômetro seja visível na gamagrafia, uma descontinuidade do mesmo diâmetro pode não aparecer. Esses penetrômetros tem bordos bem definidos e em consequência provocam uma mudança brusca no escurecimento do filme, enquanto que uma descontinuidade com os contornos indefinidos apresenta mudança gradual de escurecimento e que pode passar sem ser observada.

## 5. CONCLUSÕES

1. Os resultados obtidos comprovam que a radiação gama do túlio-170 pode proporcionar radiografias industriais equivalentes às produzidas pelo aparelho de raio-X de 100 kV.

2. Os melhores resultados com gamagrafia de solda em alumínio foram obtidos para espessuras compreendidas entre 6 e 20 mm, empregando-se filmes de granulação fina. A sensibilidade de 2% nas soldas foram conseguidas utilizando-se o intervalo 0,7 a 1,0 de densidade radiográfica.

3. Quanto ao aspecto econômico, considerando o investimento inicial, conclui-se que a fonte de gamagrafia de túlio-170 e seu equipamento auxiliar (blindagem e irradiador) custa aproximadamente 1/10 do valor de um aparelho de raio-X industrial de 100 kV.

4. A facilidade de transporte da fonte e seu equipamento auxiliar (pêso máximo de 6 kg) para lugares de difícil acesso faz com que o túlio-170 possa desempenhar papel muito importante no controle de qualidade das indústrias que utilizam ligas leves.

5. Há facilidade de obtenção de fontes de túlio-170 no Instituto de Energia Atômica de São Paulo. Quando a fonte atingir uma atividade reduzida, pode-se reativá-la até que sua efetividade seja readquirida.

## BIBLIOGRAFIA

1. REEDER, S. D. — Experience with Thulium Radiography at the MTR. IDO-16333, 1967.
2. MAYNEORD, W. V. — Radiography with Tm-170 and Xe-133. Brit. J. Radiol., 29:277-285.
3. PENTEADO FILHO, A. C. & SANCHEZ, W — Gamagrafia na Indústria, no Laboratório e Produção de Fontes no reator IEAR-1. Congresso da S.B.P.C., Blumenau, 1966
4. Symposium on Physics and Nondestructive Testing, ANL — 6346 (1960).
5. SANCHEZ, W. & PENTEADO FILHO, A. C. — Gamagrafia. Publicação IEA n.º 8, 1967.
6. WEST, R. — Low Energy Gamma-Ray Sources. Nucleonics, p. 20, fevereiro, 1963.

## DISCUSSÃO

JUAN NICOLAS BAEZ <sup>(1)</sup> — Em primeiro lugar desejo felicitar os autores pela cuidadosa apresentação deste trabalho. Sobretudo sinto que é muito honesto da sua parte não haverem se fanatizado com o emprego dos radioisótopos para radiografia gamagráfica industrial. Pessoalmente tive, tempos atrás, a tarefa de divulgar também o uso de radioisótopos, que no caso era cobalto-60, em Santa Fé, na República Argentina. Estou plenamente de acordo com os autores, de que se tem de andar com muito cuidado. Mostraram eles que o radioisótopo não é uma panacéia, mas uma arma muito importante que facilita muitas soluções, porém quando a sua aplicação é correta e quando são empregados no momento apropriado.

Uma das coisas que se tem de levar em conta, e não sei se os autores estarão de acordo com isso, é com respeito à parte técnica: o raio-X tem espectro contínuo de radiação e isso facilita e aumenta o contraste radiográfico.

VLADIMYR SANCHEZ <sup>(2)</sup> — Esse aspecto é verdadeiro. No momento estamos pesquisando com mistura de isótopos, a fim de obtermos espectros mais complexos de radiação para uso em gamagrafia. Assim sendo, dependendo das misturas, poderíamos obter espectros que proporcionassem qualidade radiográfica praticamente equivalente ao raio-X. Nossas experiências giram em torno da mistura cobalto-60, európio 152-154, a qual proporciona uma gama muito grande de energia que vai desde aproximadamente 1,33 MeV até 35 keV. Com essa mistura esperamos conseguir melhor qualidade radiográfica.

J. N. BAEZ — Perfeitamente, a única coisa difícil será chegar ao espectro contínuo.

W. SANCHEZ — Embora tenhamos uma série de picos de energia não chega a ser um espectro de raio-X.

J. N. BAEZ — Estou de acordo. Outra coisa que deve ser levada em consideração é que, atualmente, existem equipes que estão produzindo raio-X que irradiam em  $2\pi$ . Permita-me perguntar a razão pela qual não mencionam o céσιο-137?

W. SANCHEZ — Não se mencionou por ser ele produto de fissão. Não temos meios de preparar fontes desse tipo de produto que só é possível em centros nucleares mais avançados, isto é, com reatores de alta potência, como ocorre nos Estados Unidos, França e Inglaterra. Haveria necessidade de importar esses isótopos. A finalidade do Instituto de Energia Atômica de São Paulo é divulgar os isótopos que ele pode produzir, evitando assim que as indústrias tenham trabalho, perda de tempo e gastos com importação.

J. N. BAEZ — Vou permitir-me continuar, porque o tema é para mim muito interessante. Que atividade para o Tm obtém os Senhores com o reator? Com que fonte podem trabalhar?

W. SANCHEZ — A medida exata da atividade do Tm-170 é muito complexa, devido aos problemas de baixa energia, mas avaliamos as fontes produzidas na ordem de 5 a 8 curies.

J. N. BAEZ — Para divulgação de uso de radioisótopos como Tm, o que não é muito conhecido como o Senhor mesmo assinalou, já realizaram diagramas de exposição para películas diversas, comercialmente usadas no Brasil?

W. SANCHEZ — Sim. Realizamos ensaios e fizemos gráficos de exposição com todos os tipos de filmes radiográficos atualmente existentes no mercado.

J. N. BAEZ — Quando se trabalha com fontes de tamanho mais ou menos grandes, de 4 a 6 mm, temos que usar distância fonte-filme relativamente grande. Como se comporta a lei do inverso do quadrado da distância em relação a energia do Tm?

W. SANCHEZ — Sem dúvida. Tratando-se de radiação gama de baixa energia, à medida que aumentamos a distância fonte-filme aumenta a absorção da radiação no próprio ar, daí verificar-se uma distorção na lei do inverso do quadrado da distância.

J. N. BAEZ — Finalmente interessa-me saber sobre os estudos que os Senhores fazem para utilizar fontes de grande extensão, quais os meios em que se tem pensado. Não sei se esta pergunta escapa ao tema que está sendo tratado, mas tendo em conta que a emissão num átomo radioativo é  $4\pi$ , isto não teria interesse comercial?

W. SANCHEZ — Em nossas primeiras experiências usamos itérbio-169 que é um isótopo de energia praticamente equivalente a do túlio-170. Uma solução ativa de itérbio-169 é depositada uniformemente sobre uma placa de alumínio. Entre o objeto a ser ensaiado e a placa coloca-se um reticulado de aço inoxidável para funcionar como colimador. Na saída do colimador os feixes de raios gama são praticamente paralelos. Variando-se a distância objeto-colimador varia-se a área de exposição.

J. N. BAEZ — Uma espécie de "grade"?

W. SANCHEZ — Certo. Esse reticulado poderia também ser feito com urânio.

J. N. BAEZ — A idéia é também empregar um tipo de "grade" que é usado para eliminar o raio-X, a fim de evitar efeito de dispersão quando se quer radiografia de muito alta sensibilidade e definição. Essa "grade" tem duas pás móveis para evitar a superposição continuada no mesmo lugar e impedir que ele se projete e deixe passar os raios paralelos. Essa é a experiência que os Senhores esperam aplicar?

W. SANCHEZ — Exatamente.

PAULO ROBERTO FURTADO MAZERON <sup>(3)</sup> — Gostaria de solicitar ao autor que nos desse idéia do grau de aceitação atual das indústrias do País, por essa técnica de gamagrafia. Em outras palavras, qual o número aproximado de indústrias que se valem atualmente dessas fontes radioativas produzidas pelo Instituto de Energia Atômica?

W. SANCHEZ — Não temos um controle específico, porque só há pouco tempo é que entrou em vigor uma lei da Comissão Nacional de Energia Nuclear sobre o controle de materiais radioativos existentes no País. Só no futuro é que poderemos afirmar com segurança. Contudo eu poderia citar algumas firmas que adquirem fontes radioativas no IEA, entre elas a Metalltest, IMEEL, Gamatec, Brown Boveri, Mecânica Pesada, SOTELCA, Aços Villares.

(1) Engenheiro Químico; Pesquisador da Comisión Nacional de Energia Atômica; Buenos Aires, Argentina.

(2) Membro da ABM e co-autor da CT. Licenciado em Física; Divisão de Operação e Manutenção de Reatores do IEA; São Paulo, SP.

(3) Membro da ABM. Engenheiro de Minas e Metalurgia; Professor assistente da Escola de Engenharia da UFRS; Porto Alegre, RS.

ETTORE BRESCIANI FILHO (4) — A comparação de vida média entre os isótopos radioativos, do ponto de vista industrial, também é importante?

W. SANCHEZ — O Tm-170 tem meia vida de 4 meses. Pelas nossas experiências, uma fonte radioativa de até 1,5 curie de Tm proporciona tempo de exposição razoável. Uma fonte de 8 curies de Tm pode ser usada sem reativar, durante 12 meses. Agora, o cobalto e o európio têm meias vidas maiores, sem levarmos em conta o cézio que é produto de fissão e tem meia vida de 30 anos. O európio tem meia vida de 12 anos e o cobalto de 5,3 anos. Tanto o európio como o cobalto devem ser usados para ensaios de materiais com densidade acima de 7. Gostaria de aproveitar a ocasião e reafirmar outra vez que a gamagrafia é um processo eficiente, mas deve ser empregada por pessoas conhecedoras da técnica. Caso contrário, não se obtém resultado satisfatório.

FERNANDO SERVOS DA CRUZ (5) — Um dos problemas que temos tido na interpretação de radiografias com a gamagrafia é o de negatoscópio, porque esse aparelho, com luz fluorescente, não é eficiente. Para essa radiografia deve ser usada luz incandescente?

W. SANCHEZ — Sim, pode ser usada, mas mesmo o negatoscópio comum apresenta resultados satisfatórios desde que o ensaio tenha sido realizado corretamente. Boa visibilidade é obtida com gamagrafias em aço de espessura entre uma e duas polegadas, usando-se o irídio-192 como fonte de radiação.

F. SERVOS DA CRUZ — E abaixo disso até 3/8?

W. SANCHEZ — Também o negatoscópio comum presta-se a essa interpretação, desde que a densidade radiográfica esteja num intervalo de 1,5 a 2 e a fonte adequada ao ensaio. Qual o isótopo usado?

F. SERVOS DA CRUZ — Da Metaltest.

W. SANCHEZ — Essa firma às vezes usa cobalto e às vezes usa outro tipo de isótopo. Obtendo-se densidade de 1,5 para espessura de 0,8 cm de aço, os Senhores conseguem bons resultados num negatoscópio comum usando irídio-192.

HELITON MOTTA HAYDT (6) — Agora, falando em nome do Instituto de Energia Atômica, devo salientar que temos imensa satisfação em que os interessados da indústria nos procurem para informações. Realmente há firmas que estão procurando importar fontes radioativas, porque não têm idéia da capacidade do Instituto de Energia Atômica de São Paulo, ou do que é possível realizar dentro de nosso Estado; por essa razão, se entendem diretamente com outras firmas e compram material apenas através delas. Estou certo de que o Eng.º A. C. Pentecost Filho e o Licenciado Wladimir Sanchez estão prontos a prestar quaisquer informações e esclarecerem qualquer dúvida e a dizerem quais as possibilidades nesse intercâmbio, de modo que as firmas possam realmente ter o melhor resultado no desenvolvimento de ensaios não destrutivos.

J. N. BÁEZ — O Senhor acaba de mencionar que algumas firmas tratam de importar radioisótopos. No

Brasil pode-se fazer importação de pastilhas radioativas, sem intervenção de organismo federal, como do Conselho de Energia Atômica?

W. SANCHEZ — Atualmente não é possível. Anteriormente poder-se-ia fazer importação. As firmas importavam diretamente esses isótopos e essa importação acabava não sendo do conhecimento da Comissão. Posteriormente, com a nova legislação, importação é feita com o conhecimento da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

J. N. BÁEZ — Esse é um ponto em que se atua da mesma forma na República Argentina, no momento. Mas para se ter a fonte na fábrica deve existir um responsável que tenha feito um dos cursos que supomos seja como os que os Senhores mencionaram, curso de treinamento breve, onde se dão conhecimentos básicos para poder operar os equipamentos, com segurança. Para os interessados em usar equipamento de radioisótopo, creio pessoalmente que é mais seguro do ponto de vista de saúde, do que o equipamento de raio-X; pelo menos são melhor controláveis e ademais as exigências que se cerca aquilo que se tem entre as mãos, dão garantia àqueles que entram no reator. Não ocorre assim com equipamento de raio-X, que é usado sem se ter idéia do perigo que pode ocorrer ao operário que está nas proximidades. Pensamos pelo menos em nosso País que o uso do radioisótopo é mais perigoso, porque mais controlado, quando o raio-X, em matéria de periculosidade, é pior do que aquele.

W. SANCHEZ — Estamos no Instituto de Energia Atômica prontos a receber quaisquer pessoas que queiram se dedicar ao conhecimento de técnicas de isótopos, principalmente a da gamagrafia. Poderiam entrar em contacto conosco; daríamos o curso e demais instruções necessárias para que o pessoal possa trabalhar convenientemente com os isótopos.

E. BRESCIANI FILHO — Complementando sua sugestão, proporia que a própria ABM desse um curso de breve duração, e de acordo com o Instituto de Energia Atômica, sobre aplicação de gamagrafia industrial. Acredito que haveria um número muito grande de interessados. Talvez um curso de uma semana, com visitas e demonstrações práticas no próprio Instituto.

H. MOTTA HAYDT — No ano passado, houve um curso patrocinado pela ABM, sobre essa parte de gamagrafia. Este ano será dado outro curso sobre outros setores e outros campos. Mas, no Instituto de Energia Atômica temos satisfação em receber e dar orientação a qualquer dos interessados.

E. BRESCIANI FILHO — Referia-me a um curso mais profundo, abordando apenas a parte de gamagrafia; no citado curso de ABM foram abordados vários temas. Agora, seria somente isto, mais intenso, do ponto de vista industrial.

H. MOTTA HAYDT — Havendo várias firmas interessadas, talvez fosse mais fácil dirigirem-se ao Instituto diretamente e realizar lá mesmo o curso, como é feito para médicos e para outras profissões. Assim como há cursos para médicos pode haver para engenheiros nesse campo especializado.

W. SANCHEZ — Estamos tentando entrar em contacto com a indústria porque não é só a gamagrafia que lhes pode trazer benefícios. Há outras aplicações também, tais, como: medidores de espessura, de nível, de vasão, de corrosão, que podem interessar muito às indústrias nacionais. Cada técnica poderia, então, ser discutida, aprendendo-se a maneira correta de utilização dos isótopos. Isso poderia proporcionar às indústrias brasileiras grande economia.

(4) Membro da ABM. Engenheiro; Docente da Escola Politécnica da USP e da Faculdade de Engenharia Industrial; Consultor do CEBRACO; São Paulo, SP.

(5) Engenheiro Mecânico da Divisão de Materiais do Departamento Industrial da PETROBRAS; Rio de Janeiro, GB.

(6) Membro da ABM e na Presidência da sessão; Engenheiro Metalurgista; Divisão de Metalurgia Nuclear do IEA; São Paulo, SP.

## A B S T R A C T

One portable radiographical unit for the utilization on the Tm-170 was perfect-ed and constructed for industrial applications. That isotope which emits gamma-rays of low energy (84 keV) possesses half-life of 127 days and propitiates radiographies equivalent to those produced by X-ray machines of 100 kV. Is described the adopted technique, the present and future possibilities of production of the sources of Tm-170, utilization, advantages and limitations of same. The low cost, the sensitivi-ty of the method and the easiness of transportation and mounting of the irradiator, make the Tm-170 useful to the industries which utilize light metals.

## R É S U M É

Un ensemble radiographique transportable pour l'utilisation du Tm-170 a été pro-jeté et construit en vue d'applications industrielles. Cet isotope qui émet des .. rayons  $\gamma$  de basse énergie (84 keV) a une période de 127 jours et des propriétés ra-diographiques équivalentes à celles produites par des générateurs de R.X. de 100 kV. Il est décrit la technique adoptée, les possibilités présentes et futures de produc-tion des sources de Tm-170, leur utilisation, leurs avantages et les restrictions dans leur emploi. Le prix peu élevé, la sensibilité de la méthode, la facilité du transport et du montage de la tête qui contient la source rendent le Tm-170 très com-mode pour les industries qui utilisent des métaux légers.