

# APLICAÇÃO DA TÉCNICA DA RADIOGRAFIA COM NÊUTRONS NA INSPEÇÃO DE EXPLOSIVOS E DE COMPONENTES PIROTÉCNICOS

Reynaldo Pugliesi; Mário O. de Menezes; Marcos L.G.Andrade;  
Marlete P.M. Assunção; \*João Egídio Lopes Júnior; \*Lafaiete M.Dias  
IPEN/CNEN-SP - TFF-C.Postal 11.049 - CEP 05422-970 - São Paulo - SP  
\*IAE-CTA -CEP 12225 - São José dos Campos - SP

## RESUMO

O IPEN-CNEN/SP e o IAE/CTA, realizaram um estudo conjunto referente ao controle de qualidade em 5 tipos de componentes pirotécnicos e em 12 tipos de explosivos empregados em foguetes e satélites, por meio da técnica da radiografia com nêutrons. Os ensaios radiográficos foram realizados na Supervisão de Física Nuclear do IPEN-CNEN/SP. O equipamento empregado está instalado junto ao Reator Nuclear de Pesquisas IEA-R1. As radiografias foram avaliadas por inspeção visual em um negatoscópio, bem como mediante o processamento digital das imagens registradas nos negativos. Pode-se constatar a viabilidade da técnica para esta finalidade bem como uma melhora significativa na qualidade dos resultados, devida ao processamento.

## INTRODUÇÃO

A radiografia com nêutrons é uma técnica de ensaios não destrutivos [1,2], que vem sendo desenvolvida pela Supervisão de Física Nuclear do IPEN-CNEN/SP com a finalidade de atender às necessidades de vários setores das comunidades científicas e industriais do país em termos de controle da qualidade de materiais, visando ampliar e complementar o campo de aplicação das técnicas convencionais de radiografia com raios-X e raios- $\gamma$ . As características dos processos de interação entre o nêutron e os materiais tornam esta técnica desejável para aplicações no setor nuclear, na inspeção de elementos combustíveis de reatores nucleares e de fontes radioativas; no setor aeroespacial, na inspeção de componentes pirotécnicos e de explosivos, pás de turbinas, corrosão em estruturas de aeronaves [3,4].

Os reatores nucleares são hoje as fontes mais abundantes de nêutrons para esta finalidade, propiciando, perante as outras disponíveis, a melhor opção para a obtenção de radiografias de qualidade em termos de resolução e contraste da imagem.

Pelo fato de o nêutron ser destituído de carga líquida, a técnica da radiografia com nêutrons emprega telas conversoras, cuja finalidade é gerar, por meio de reações nucleares, partículas ionizantes que, sensibilizando os filmes, formarão a imagem radiográfica. Estas telas são confeccionadas de materiais que possuem seção de choque elevada para absorção de nêutrons (Gd, Dy, B) e que fornecem uma atividade de radiações  $\beta$ ,  $\gamma$  ou elétrons também elevada. As reações nucleares que originam estas radiações podem ser prontas, e neste caso o filme deve ser exposto juntamente com a tela ao feixe de nêutrons (Método Direto), ou podem induzir uma atividade na tela, a qual após a exposição será colocada em contato com o filme para a transferência da radioatividade induzida (Método Indireto) [5].

As imagens radiográficas obtidas podem ser analisadas diretamente nos filmes através de um negatoscópio, ou mediante um processamento eletrônico que envolve a sua digitalização e posterior análise computacional.

O processamento da imagem pode ser dividido basicamente em quatro etapas: pré-processamento, realce, classificação e análise [6] das quais as duas primeiras foram empregadas no presente trabalho.

Pré-processamento é o tratamento inicial que se dá a uma imagem que permite, por exemplo, a redução do ruído, provocado por influências do sistema de detecção e registro da imagem.

O realce corresponde a um conjunto de técnicas destinadas a melhorar a discriminação visual dos objetos. Seu objetivo é sempre o de produzir uma imagem com maior conteúdo de informação para o interpretador. Um exemplo desse tratamento seria o aumento de contraste e o realce de bordas.

A classificação dos objetos na imagem necessita, a sua associação a temas ou a um padrão conhecido, e a sua análise é feita mediante o emprego algoritmos específicos.

O objetivo deste trabalho foi realizar ensaios radiográficos em componentes pirotécnicos e explosivos do IAE/CTA. Os resultados foram avaliados por inspeção visual dos negativos em um negatoscópio e pode-se constatar uma das características principais desta técnica, que é a possibilidade de se inspecionar materiais hidrogenados mesmo quando envoltos por espessas camadas de alguns metais. Alguns destes resultados foram também avaliados através de um processamento digital simples e a consequência foi uma melhora significativa na sua qualidade original.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Equipamento

O IPEN-CNEN/SP dispõe do Reator Nuclear de Pesquisas IEA-R1 que opera a uma potência de 2MW, com um fluxo de nêutrons térmicos de  $10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>.s em seu núcleo, o qual vem sendo empregado no desenvolvimento e aplicação desta técnica. O equipamento neutrongráfico, esquematizado na figura 1, foi inteiramente projetado e construído na Supervisão de Física Nuclear do IPEN-CNEN/SP e está instalado no canal de irradiação 08 do Reator IEA-R1 [7].

O arranjo é constituído por dois colimadores: o primeiro do tipo cônico convergente de grafita e o segundo do tipo cônico divergente de carbeto de boro e parafina. Este sistema de colimação possui duas finalidades: aumentar a densidade do feixe de nêutrons e propiciar a este feixe a forma cônica divergente. Após a colimação, o feixe de nêutrons é filtrado por 20cm de bismuto policristalino que, além de reduzir a contribuição da radiação  $\gamma$  oriunda do reator no local da irradiação, distorce o espectro térmico Maxwelliano de nêutrons, de modo que a sua intensidade máxima esteja próxima a 2meV. Nesta região de energia, a seção de choque total para o hidrogênio é elevada para 64barns, enquanto que a do ferro e a do chumbo, por exemplo, são reduzidas para 7barns e 1,5barns, respectivamente [8]. Assim, as características deste espectro resultante são ideais para o tipo de estudo realizado neste trabalho porque, além de elevar

e elevar o poder de penetração dos nêutrons no material do invólucro dos componentes pirotécnicos, eleva também a sensibilidade do método para os materiais explosivos situados em seu interior. Ambos os colimadores e o filtro estão instalados no interior de um tubo de alumínio com 2,40m de comprimento. A posição de irradiação das amostras localiza-se na abertura de saída deste tubo, na qual o porta-amostras é posicionado por controle semi-automático.

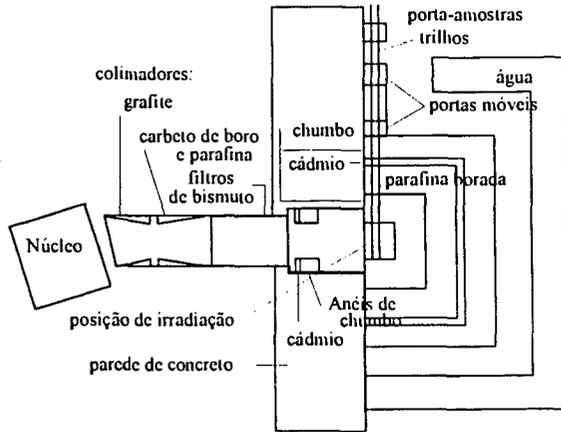


Figura 1 - Diagrama Esquemático do Equipamento Neutrográfico

A tabela I resume as principais características do feixe de nêutrons extraído deste arranjo.

**TABELA I - Características do Feixe de Nêutrons.**

Fluxo de Nêutrons na amostra	$3 \times 10^6$ n/cm <sup>2</sup> .s
Razão de colimação - L/D	55
Razão n/γ	$> 5 \cdot 10^5$ n/cm <sup>2</sup> .mRem
Diâmetro do feixe	20cm
Razão de Cádmio(para o Ouro)	150

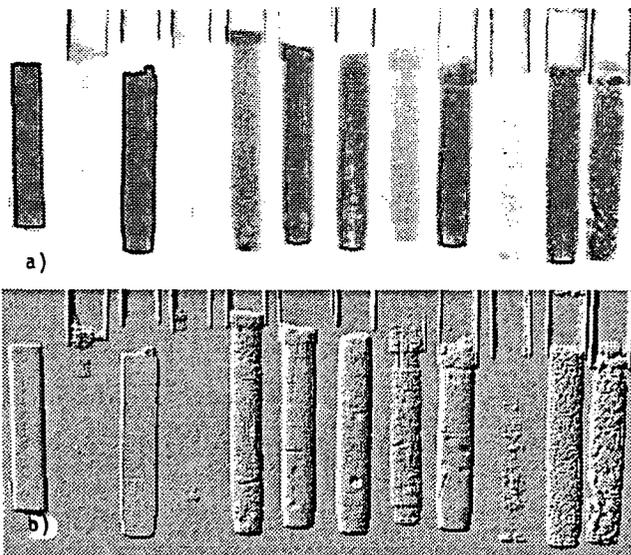


Figura 1  
a- Reprodução da radiografia dos materiais relacionados de e) a i) encapsulados nos mesmos recipientes de alumínio empregados no teste de temperatura. Tempo de Exposição = 3min.  
b- O mesmo resultado de la processado matematicamente. Importante a visualização dos defeitos simulados (bolhas com diâmetro médio de 1,5mm e trincas com 100μm de espessura).

O processamento das imagens foi feito através de um equipamento eletrônico composto por um "scanner" de 300dpi da Hewlett-Packard, que opera por reflexão e por um computador PC386/40MHz equipado com monitor de alta resolução, coprocessador matemático e impressoras HP Laser III. Foram utilizados dois softwares, um deles desenvolvido pelo IAE-CTA.[6]

### Testes preliminares

Estes testes foram realizados para se verificar possíveis elevações de temperatura nos materiais explosivos que seriam submetidos ao processo radiográfico.

Foram depositados aproximadamente 1,5g de cada um dos materiais explosivos relacionados abaixo em recipientes cilíndricos de alumínio, abertos em uma das extremidades, possuindo diâmetro interno de 6,7mm e altura de 48mm. Cada um dos materiais foi exposto ao feixe de nêutrons durante um intervalo de tempo de 35min (superior ao necessário para a obtenção das radiografias). A temperatura foi monitorada mediante o emprego de um termo-par inserido nos próprios materiais e não foi observada qualquer variação superior a 0,5°C.

Os materiais avaliados foram: a) MTV; b) Pólvora Negra; c) Boro Nitrato de Potássio; d) composição para pastilhas de KClO<sub>4</sub>; e) Nitropenta; f) RDX-recristalizado; g) Composto-B; h) KClO<sub>4</sub>; i) HMX; j) MTV-granulado; k) Composto B5; l) TNT.

### RESULTADOS E COMENTÁRIOS

As radiografias foram obtidas pelo Método Direto empregando-se uma tela de Gadolínio (seção de choque de absorção  $\sigma_{abs} \approx 66.500$  barns) de espessura 0,127mm com o filme Kodak-AA - "double coated". O processo de revelação foi o padrão para este tipo de filme. O tempo médio de exposição foi de 4min e nesta condição a densidade ótica para o feixe direto (sem amostra) foi  $D \approx 3,0$ .

Foram obtidas diversas radiografias dos componentes pirotécnicos e dos materiais explosivos citados, inclusive com a simulação de defeitos como bolhas e trincas. As figuras 1a, 2, 3, e, 4a são reproduções das fotografias dos negativos e as 1b, 4b, e 4c reproduções, resultantes dos processamentos feitos a partir das imagens contidas nestas fotografias e mediante as seguintes operações matemáticas: realce de contraste; filtros passa alta e passa baixa; operações entre imagens.

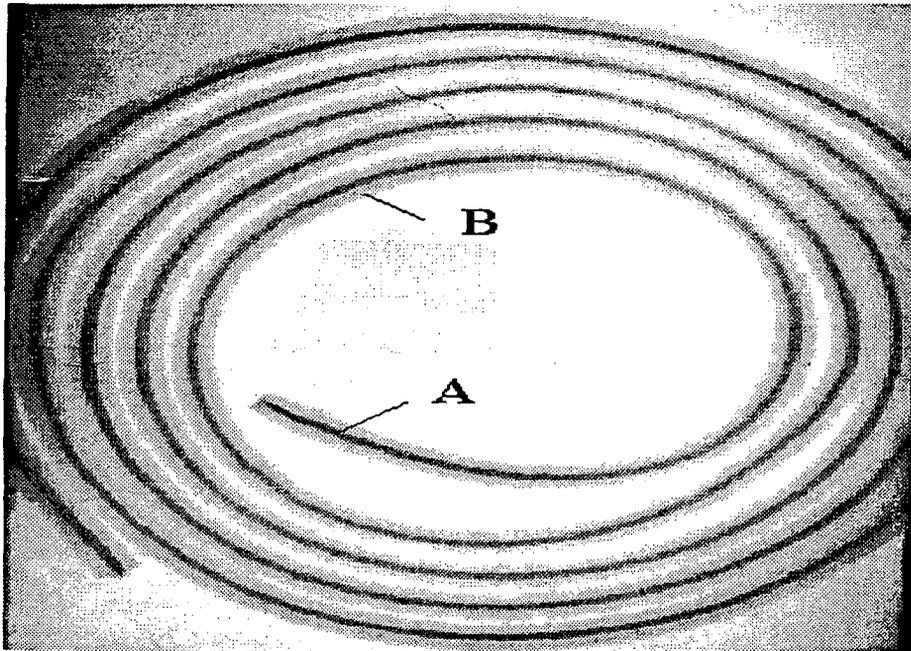


Figura 2- Reprodução da radiografia de uma cinta de chumbo(carga oca) explosivo RDX; B) chumbo. Observe fita adesiva empregada para a sua fixação. Tempo de Exposição = 2min.

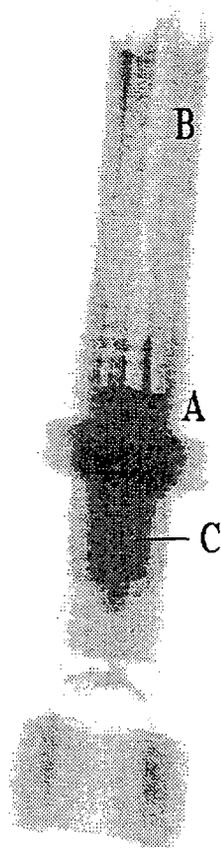


Figura 3- Reprodução de radiografia de parafuso de aço com carga explosiva. A)invólucro de aço; B)material explosivo; C) adesivo  
Tempo de Exposição = 6min.

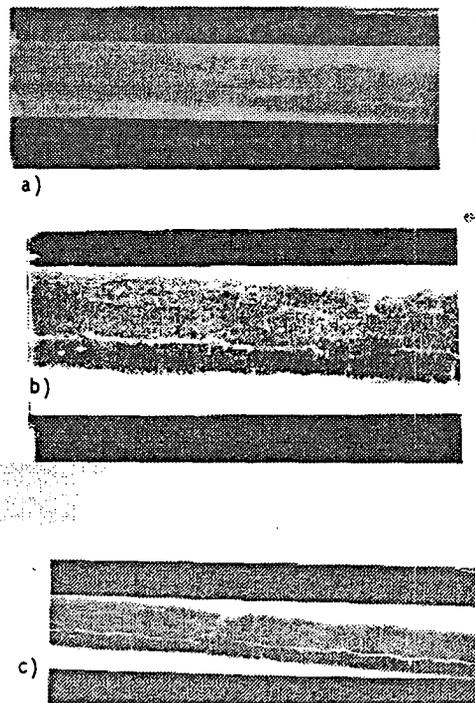


Figura 4  
a- Reprodução de radiografia de cinta de chumbo(carga oca) com espessura de 13mm (10mm de chumbo, 3mm de RDX). Tempo de Exposição = 3min.  
b- O mesmo que 4a, processado matematicamente. Importante a visualização das trincas existentes ao longo do centro e nas laterais do material explosivo.  
c- O mesmo que 4b sem "zoom"

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho corroboram uma das características principais da técnica da radiografia com nêutrons que é a sua aplicação na investigação de substâncias hidrogenadas mesmo quando encapsuladas por alguns metais. Os testes preliminares realizados demonstraram não haver qualquer elevação na temperatura dos materiais estudados, mesmo após uma exposição ao feixe de nêutrons de 35 minutos, o que vem a propiciar a inspeção de componentes mais espessos, no presente equipamento. As figuras 1, 2, 3, e 4, são apenas reproduções dos originais e portanto não representam os resultados reais observados visualmente dos negativos e da tela do computador. Mesmo nestas condições é possível a observação de trincas e bolhas simuladas em alguns dos materiais (fig 1) bem como uma trinca ao longo do material explosivo inserido na cinta de chumbo (causada durante a sua fabricação), apresentada na figura 4.

## REFERÊNCIAS

- [1] SPOWART, A.R. Neutron Radiography. *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, 5:497-510, 1972
- [2] HAWKESWORTH, M.R. Neutron Radiography Equipments and Methods. *Atomic Energy Review*, 15(2):169-220, 1977
- [3] FROMM, D.A., BARTON, J.P. Aircraft neutron Radiography-An Overview. In: *Third World Conference on Neutron Radiography*. (Osaka, JAPAN May, 14-18, 1989), Boston, J.P.Barton, 1990, pp 29-34
- [4] WHITTEMORE, W.L., NIR-EL, Y. Cold Neutrons for Neutron Radiography. *Ibid*, pp 145-158
- [5] BERGER, H. *Neutron Radiography: Methods, Capabilities and Applications*, New York, NY, Elsevier, 1965,
- [6] GONZALEZ, R.C., WOODS, R.E., *Digital Image Processing*, New York, NY, Addison-Wesley Pub. Co., 1992, 705 pg.
- [7] MENEZES, M.O., *Desenvolvimento e Aplicação da Técnica da Radiografia com Nêutrons por Conversão Direta e Indireta*, Dissertação de Mestrado, IPEN/CNEN-SP, 1994.
- [8] MUGHABGHAB, S.F., GARBER, D.I. *Neutron Cross Sections Vol I: Resonance Parameters*. Springfield. NTIS, 1973(BNL - 325 )

## ABSTRACT

The IPEN-CNEN/SP and the IAE/CTA performed a study concerning the quality control of pyrotechnique devices and explosives employed in rocket and satellite, by means of the neutron radiography technique. The radiographs were performed in a facility installed at the radial beam hole 08 of the IEA-R1 Nuclear Research Reactor of the IPEN-CNEN/SP. The results were evaluated by visual inspection as well as by digital image processing and demonstrated the technique's viability for this purpose and an improvement of the quality results due to this processing.