

# VIABILIDADE PARA A DETERMINAÇÃO DE SECCÕES DE CHOQUE MACROSCÓPICA DE MATERIAIS UTILIZANDO A TÉCNICA DA RADIOGRAFIA COM NÊUTRONS

Marcos L. G. Andrade, Reynaldo Pugliesi

Supervisão de Física Nuclear IPEN-CNEN/SP  
Caixa Postal 11049 Pinheiros  
05508-900 São Paulo-SP  
e-mail: mandrade@net.ipen.br

## RESUMO

Foram determinados valores de seções de choque macroscópicas totais efetiva para alguns materiais, empregando a técnica da radiografia com nêutrons. Os resultados obtidos foram comparados com os valores teóricos e demonstraram a viabilidade da técnica para esta finalidade. Foi também verificada a influência dos nêutrons espalhados nestes experimentos.

## I. INTRODUÇÃO

A determinação da seção de choque macroscópica, probabilidade de interação por unidade de caminho percorrido nos materiais, é muito importante em experimentos que envolvam absorção e espalhamento de nêutrons. Este trabalho tem por objetivo demonstrar a viabilidade de aplicação da Radiografia com Nêutrons como uma técnica alternativa para esta finalidade.

Nesta técnica a radiografia é obtida posicionando a amostra em estudo em um feixe homogêneo de nêutrons. O padrão de intensidade transmitido é registrado em um filme, convencional de raios-X, por meio de uma tela intermediária que converte a radiação neutrônica em outra ionizante capaz de sensibilizá-lo. Após um processo de revelação padrão o filme apresentará regiões com diferentes tons de enegrecimento quantificados pela grandeza denominada "densidade ótica", definida como:

$$Dop = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (1)$$

sendo  $I_0$  e  $I$  as intensidades de luz incidente e transmitida pelo filme enegrecido.

Teoricamente a transmissão de nêutrons pela matéria obedece à uma lei exponencial do tipo [1]:

$$T = T_0 * e^{-\Sigma * x} \quad (2)$$

onde  $T$  e  $T_0$  são as intensidades transmitida e incidente na amostra,  $\Sigma$  é a seção de choque macroscópica total

efetiva do material relativa ao espectro de nêutrons incidente e "x" a sua espessura.

Para a condição experimental em que "Dop" seja proporcional à "T" tem-se:

$$\ln Dop = \ln D_0 - \Sigma * x \quad (3)$$

Neste caso o valor de  $\Sigma$  pode ser obtido mediante o ajuste de uma função linear aos pontos experimentais que relacionam "Dop" e "x".

As expressões acima são válidas para o caso em que a medida de transmissão seja realizada em uma condição de boa geometria "bg" de irradiação o que significa que a intensidade transmitida deverá conter apenas os nêutrons que não sofreram interação ao atravessar a amostra. Experimentalmente esta condição é obtida mediante colimação adequada dos nêutrons que atingem a amostra e a eliminação daqueles espalhados por ela e pela blindagem ao seu redor.

Entretanto em geral na execução de uma radiografia as condições de irradiação são aquelas de má geometria "mg", pois para se otimizar a resolução da imagem, a amostra deverá ser radiografada o mais próximo possível do filme. Neste caso a intensidade transmitida é superior àquela prevista pela teoria, pois uma parte dos nêutrons espalhados contribuirá para a formação da imagem, e será dada por [1,2]:

$$T = T_0 * e^{-\Sigma_{mg} * x} \quad (4)$$

com  $\Sigma_{mg} < \Sigma_{bg}$ .

## II. PARTE EXPERIMENTAL

Foram determinados neste trabalho os valores experimentais para as secções de choque, nas condições de boa e de má geometria de irradiação, bem como aqueles teóricos para o espectro de nêutrons incidente na amostra, para quatro tipos de materiais.

Os procedimentos para a obtenção das radiografias em filmes já estão desenvolvidas no IPEN, que dispõe de um arranjo experimental instalado no canal de irradiação radial 08 do Reator Nuclear de pesquisas IEA-R1 que opera a uma potência de 2 MW, com um fluxo de nêutrons térmicos de  $\sim 10^{13}$  n/s.cm<sup>2</sup>, em seu núcleo. As características do feixe de nêutrons, extraído deste arranjo, estão mostradas na tabela 1:

TABELA 1. Principais características do feixe de nêutrons extraído do arranjo experimental [4].

Fluxo na amostra	$\sim 3 \times 10^6$ n/s.cm <sup>2</sup>
Razão n/γ	$> 5 \times 10^5$ n/cm <sup>2</sup> .mRem
Razão de colimação	60
Diâmetro útil de feixe	20cm

Os materiais utilizados nestes estudos possuem diferentes valores para a razão  $\Sigma(\text{esp.})/\Sigma(\text{abs.})$  e foram os seguintes: cádmio; ferro; cobre e lucite. As amostras utilizadas possuem o formato de lâminas com dimensões de 2cm x 1cm, que foram sobrepostas obtendo-se espessuras de 0 a 80 μm para o cádmio, 0 a 0,84cm para o lucite e 0 à 1,0cm para o ferro e cobre.

O método radiográfico utilizado foi o direto com conversor de gadolínio (esp=100μm), com filme kodak AA de emulsão dupla, o tempo de irradiação foi de 3,5 minutos e o processo de revelação o sugerido pelo fabricante.

Para o caso de  $\Sigma_{bg}$  foi construído um sistema de dois colimadores, constituído de tubos de alumínio com 1cm de diâmetro e 5cm de comprimento cada um, entre os quais as amostras são posicionadas e mantidas em um firme contato durante a irradiação. Suas paredes externas são revestidas por 1mm de cádmio com a finalidade de se minimizar a detecção dos nêutrons espalhados.

A obtenção dos valores de  $\Sigma_{mg}$  e de  $\Sigma_{bg}$  foi feita mediante o acompanhamento de leituras de densidades óticas em função da espessura das amostras radiografadas. Destes valores foi subtraída a contribuição devida à radiação de fundo. Aos pontos experimentais foram ajustadas, por mínimos quadrados, funções lineares onde o coeficiente angular é o valor da secção de choque [4].

## III. RESULTADOS e DISCUSSÕES

Nas figuras de 1 a 4 estão apresentados os comportamentos da densidade ótica em função da

espessura para os materiais estudados. Os resultados experimentais obtidos para  $\Sigma_{mg}$  e  $\Sigma_{bg}$ , bem como os valores teóricos para  $\Sigma$ , estes últimos calculados por meio de um software desenvolvido pelo grupo de trabalho, estão apresentados na tabela 2.

Os resultados das secções de choque  $\Sigma_{mg}$  para os materiais lucite, ferro e cobre são, de acordo com o previsto, menores do que os de  $\Sigma_{bg}$ , por causa da contribuição dos nêutrons espalhados [5].

A comparação entre os valores obtidos para  $\Sigma_{bg}$  e  $\Sigma$  demonstram a viabilidade da presente técnica, de radiografia com nêutrons, para a determinação de secções de choque macroscópicas.

Os valores obtidos para  $\Sigma_{bg}$  e  $\Sigma_{mg}$  para o cádmio deverão ser refeitos já que para um material essencialmente absorvedor não existe a contribuição dos nêutrons espalhados e neste caso estes valores deveriam concordar dentro dos erros das medidas. Além disto o valor de  $\Sigma_{bg}$  está abaixo do calculado teoricamente. Estas discrepâncias são atribuídas a pequenas variações: no primeiro caso referente ao posicionamento das amostras no ato das radiografias e no segundo no espectro de nêutrons incidente na amostra uma vez que na região térmica a sua secção de choque apresenta um comportamento muito íngreme.

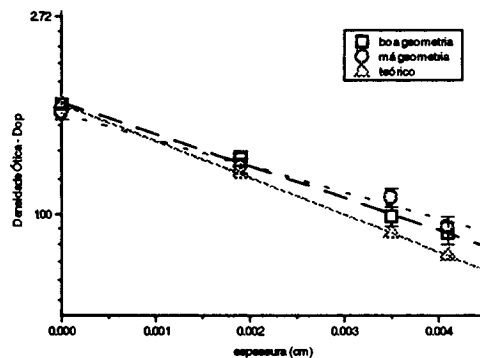


Figura 1: Comportamento da densidade ótica em função da espessura para o material cádmio.

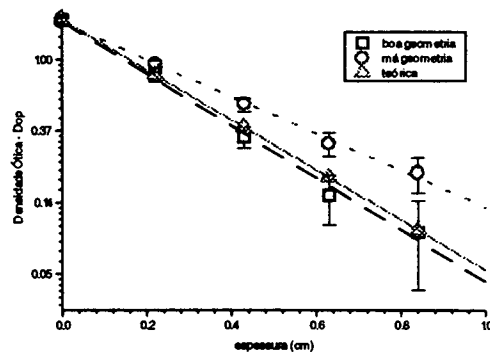


Figura 2: Comportamento da densidade ótica em função da espessura para o material lucite.

## REFERÊNCIAS

- [1] H. Kobayashi; H. Wakao; Y. Ikeda; K. Ohokubo/ A. Tsuruno. Macroscopic Cross Section Measurements and Defect Detection in Materials Using Neutron Radiography Technique. J. of Nuclear Science and Technology 29 (11) pp 1045-1053, 1992.
- [2] M. O. Menezes. Desenvolvimento e Aplicação da Técnica da Radiografia com Nêutrons por Conversão Direta e Indireta. Dissertação de Mestrado-IPEN-CNEN/SP-1994.
- [3] M. P. M. Assunção. Desenvolvimento da Técnica da Radiografia com Nêutrons pelo Método do Registro de Traços. Dissertação de Mestrado-IPEN-CNEN/SP-1992.
- [4] M.O. de Menezes, R. Pugliesi, M.L.G. Andrade, M.A.S. Pereira. Effect of the Scattered Neutrons in Radiography Sensitivity. Fifth World Conference on Neutron Radiography, Berlin - Germany, 1996.
- [5] Berger H. Neutron Radiography, methods, capabilities and applications. New York, Elsevier, 1965.

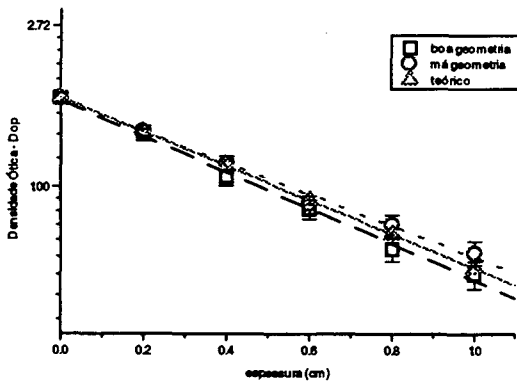


Figura 3: Comportamento da densidade ótica em função da espessura para o material ferro.

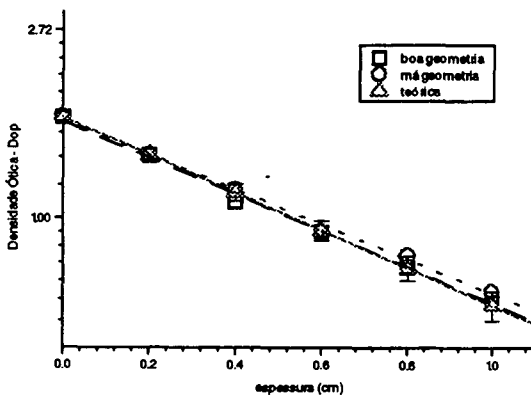


Figura 4: Comportamento da densidade ótica em função da espessura para o material cobre.

TABELA 2 - Resultados obtidos de  $\Sigma_{mg}$ ,  $\Sigma_{bg}$  e  $\Sigma$  para os materiais em estudos.

Material	$\Sigma_{mg} - \text{cm}^{-1}$	$\Sigma_{bg} - \text{cm}^{-1}$	$\Sigma - \text{cm}^{-1}$
Cádmio	$133 \pm 12$	$164 \pm 8$	187
Lucite	$2,59 \pm 0,09$	$3,64 \pm 0,17$	3,5
Ferro	$0,98 \pm 0,04$	$1,12 \pm 0,04$	1,06
Cobre	$0,92 \pm 0,03$	$0,97 \pm 0,03$	1,00

## IV. CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados na tabela 2 podemos concluir que: 1) a comparação entre os resultados de  $\Sigma_{bg}$  e  $\Sigma$  demonstra a viabilidade da técnica da radiografia com nêutrons para a determinação de seções de choque macroscópicas; 2) os valores obtidos para  $\Sigma_{mg}$  mostram uma contribuição significativa dos nêutrons espalhados pelas amostras neste tipo de medida.

## ABSTRACT

The macroscopic cross sections for some materials by means of the neutron radiography technique were determined. The obtained results were compared with the theoretical ones and shown the viability of this technique for such purpose. The influence of scattered neutrons in the results were also verified.