

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

RADIOGRAFIA COM ELÉTRONS INDUZIDA POR NÊUTRONS

MARCOS LEANDRO GARCIA ANDRADE

Tese apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau
de “Doutor na Área de Tecnologia
Nuclear - Aplicações”

Orientador:
Dr. Reynaldo Pugliesi

São Paulo
2008

DEDICATÓRIA

A minha esposa **Paula**
Ao meu filho **Augusto**
Aos meus pais **José Carlos** (in memorian) e **Janete**

A **Deus**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, de algum modo, tenham participado na realização deste trabalho, dos quais particularmente destaco:

Prof. Dr. Reynaldo Pugliesi por sua dedicação na orientação deste trabalho, apoio e incentivo desde o início da minha formação científica.

IPEN pela oportunidade e permissão de realizar este trabalho em suas instalações, e apoio técnico-administrativo.

Aos amigos do **CRPq** e **Reator** pelo apoio e discussões técnicas importantes para a realização deste trabalho.

Aos amigos **Mário, Marco e Fábio** pela convivência e cooperação no grupo de trabalho.

A minha **mãe** e meus irmãos, **Paulus, Veridiana, e Juninho** pelo incentivo durante mais esta etapa vencida.

Ao meu sogro e sogra, **Shiguehiki e Claudete**, pelo incentivo e paciência durante todo esse tempo.

Especialmente à minha esposa, **Paula**, pelo apoio, incentivo, dedicação, compreensão e acima de tudo o seu amor durante todos esses anos de convivência e trabalho.

E acima de tudo e todos a **Deus**, por mais esta etapa vencida.

Marcos

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	i
LISTA DE FIGURAS	ii
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
INTRODUÇÃO	01
CAPÍTULO 1 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS	08
1.1 Nêutrons e a matéria.....	08
1.1.1 Interação nêutron – núcleo.....	09
1.1.2 Transmissão de nêutrons pela matéria.....	10
1.2 A Técnica da radiografia com nêutrons.....	11
1.2.1 Histórico.....	11
1.2.2 Conceitos básicos.....	12
1.2.3 Fonte de nêutrons.....	13
1.2.4 Colimador de nêutrons.....	14
1.2.5 Filtro contra a radiação - γ	15
1.2.6 Métodos para obtenção da imagem em radiografia com nêutrons.....	16
1.3 Elétrons e a matéria.....	18
1.3.1 Absorção de elétrons monoenergéticos.....	19
1.3.2 Absorção de partículas - β	20
1.3.3 A técnica da radiografia com elétrons.....	21
1.3.3.1 Transmissão.....	21
1.3.3.2 Emissão superficial.....	21
1.3.3.3 Auto – radiografia.....	21
1.4 Filmes e formação da imagem.....	22
1.4.1 Imagem latente.....	23
1.4.2 Imagem visível.....	24
1.4.2.1 Revelador.....	24
1.4.2.2 Banho de parada.....	25
1.4.2.3 Fixador.....	25

1.5 Imagem digital.....	26
1.6 Caracterização de técnicas radiográficas.....	26
1.6.1 Determinação do intervalo de exposição para se obter melhor contraste	27
1.6.2 Sensibilidade.....	27
1.6.3 Resolução.....	28
1.7 Considerações gerais a respeito da técnica da radiografia induzida.....	29
CAPÍTULO 2 – PARTE EXPERIMENTAL.....	31
2.1 Tela conversora e cassete para irradiação.....	31
2.2 Filme radiográfico.....	32
2.2.1 Revelação.....	33
2.3 Equipamento para radiografia com nêutrons.....	34
2.4 Obtenção de radiografia com elétrons induzida por nêutrons.....	39
2.5 Sistema digital para análise e processamento das imagens.....	41
CAPÍTULO 3 – OBTENÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	43
3.1 Caracterização da técnica da radiografia com elétrons induzida por nêutrons.....	43
3.1.1 Intervalo de exposição.....	43
3.1.2 Sensibilidade.....	45
3.1.3 Resolução.....	51
3.1.4 Influência das outras radiações na formação da imagem.....	55
3.1.5 Reprodutibilidade do sistema digital na determinação da intensidade da luz transmitida.....	58
3.2 Comparação com o sistema de leitura analógico.....	59
3.2.1 Intervalo de exposição.....	62
3.2.2 Sensibilidade.....	62
3.3 Comparação com as outras técnicas radiográficas.....	66
CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES.....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75

LISTA DE TABELAS

1.1 - Classificação dos nêutrons de acordo com sua energia cinética.....	10
2.1 - Valores do alcance dos elétrons na emulsão fotográfica e na base plástica.....	33
2.2 - Características do feixe de nêutrons extraído do arranjo experimental.....	39
3.1 - Valores do alcance dos elétrons de 72 keV e 150 keV nos materiais estudados.....	45
3.2 - Resultados obtidos para a espessura mínima detectável para os materiais estudados.....	51
3.3 - Valores médios de Ut em função da espessura da amostra de alumínio..	53
3.4 - Resultados obtidos para a espessura mínima detectável para os materiais estudados.....	65
4.1 - Resumo das condições e das características radiográficas da técnica (NIER).....	67

LISTA DE FIGURAS

1.1 - Coeficientes de atenuação para nêutrons térmicos e raios - X em função do número atômico dos elementos.....	13
1.2 - Esquema de um colimador do tipo cônico divergente.....	14
1.3 - Resolução geométrica para um colimador tipo cônico divergente, mostrando o efeito da divergência angular.....	15
1.4 – Curva típica de transmissão para elétrons monoenergéticos, onde R_e é o alcance extrapolado.....	20
1.5 – Filme radiográfico convencional: lado esquerdo - a emulsão foi retirada para mostrar a base plástica; lado direito - mostra a emulsão depositada.....	22
2.1 - Cassete de alumínio com tela conversora de gadolínio.....	31
2.2 – Cubas com as soluções utilizadas no processo de revelação. Da direita para a esquerda: revelador (REV), banho de parada (BP), fixador (FIX), água corrente e agente químico (AQ)	34
2.3 - Esquema do arranjo experimental.....	36
2.4 - Interior da blindagem do arranjo experimental de radiografia com nêutrons.	38
2.5 - Visão externa do arranjo experimental de radiografia com nêutrons.....	38
2.6 - Diagrama esquemático demonstrando a obtenção de uma radiografia com elétrons induzida por nêutrons.....	40
2.7 - Fotografia do cassete mostrando a disposição da tela conversora, o filme e das amostras.....	40
2.8 - Sistema digital utilizado no trabalho.....	42
3.1 - Imagem digitalizada dos filmes Kodak AA, utilizados para a confecção da curva NC x E.....	44
3.2 - Comportamento do nível de cinza em função da exposição, destacando a região de melhor contraste.....	45
3.3 - Comportamento do nível de cinza em função da espessura para a amostra de alumínio.....	47
3.4 - Comportamento do nível de cinza em função da espessura para a amostra de makrofol – KG.....	47

3.5 - Comportamento do nível de cinza em função da espessura para a amostra de papel branco.....	48
3.6 - Comportamento do nível de cinza em função da espessura para a amostra de adesivo.....	48
3.7 - Comportamento da sensibilidade “ Δx ” em função da espessura para a amostra de alumínio.....	49
3.8 - Comportamento da sensibilidade “ Δx ” em função da espessura para a amostra de makrofol - KG.....	50
3.9 - Comportamento da sensibilidade “ Δx ” em função da espessura para a amostra de papel branco.....	50
3.10 - Comportamento da sensibilidade “ Δx ” em função da espessura para a amostra de adesivo.....	51
3.11 - Resultado típico da varredura obtido para espessura de 12 μm de alumínio.....	53
3.12 - Valores médios da resolução total em função da espessura do material alumínio.....	54
3.13 - Contribuições das outras radiações na formação da imagem radiográfica para a amostra de alumínio.....	56
3.14 - Contribuições das outras radiações na formação da imagem radiográfica para a amostra de makrofol - KG.....	57
3.15 - Contribuições das outras radiações na formação da imagem radiográfica para a amostra de papel branco.....	57
3.16 - Contribuições das outras radiações na formação da imagem radiográfica para a amostra de adesivo.....	58
3.17 - Negatoscópio utilizado neste trabalho para leitura da densidade ótica dos filmes irradiados.....	60
3.18 - Densitômetro ótico utilizado neste trabalho: a) visão superior; b) detalhe do leitor com 0,07 cm^2 de área.....	61
3.19 - Comportamento da densidade ótica em função da exposição para o sistema analógico, destacando a região de melhor contraste.....	62
3.20 - Sensibilidade em função da espessura da amostra de alumínio obtida para ambos os sistemas analógico e digital.....	63

3.21 - Sensibilidade em função da espessura da amostra de makrofol – KG obtida para ambos os sistemas analógico e digital.....	64
3.22 - Sensibilidade em função da espessura da amostra de papel branco obtida para ambos os sistemas analógico e digital.....	64
3.23 - Sensibilidade em função da espessura da amostra de adesivo obtida para ambos os sistemas analógico e digital.....	65
4.1 - Radiografias com elétrons induzidas por nêutrons de plantas.....	70
4.2 - Radiografias com elétrons induzidas por nêutrons. Cédula de R\$2,00: a) inteira; b) detalhe com a marca d'agua.....	71
4.3 - Radiografias com elétrons induzidas por nêutrons. Cédula de R\$50,00: a) inteira; b) detalhe com a marca d'agua.....	72
4.4 - Exemplos de radiografias com elétrons induzidas por nêutrons utilizando imaging plates - IP.....	73

RADIOGRAFIA COM ELÉTRONS INDUZIDA POR NÊUTRONS

Marcos Leandro Garcia Andrade

RESUMO

No presente trabalho foi desenvolvida uma nova técnica radiográfica que utiliza feixes de elétrons de baixa energia como radiação penetrante para inspecionar amostras finas com espessuras da ordem de micra. Esta técnica é denominada, radiografia com elétrons induzida por nêutrons e os feixes são obtidos mediante a irradiação de uma tela de gadolínio com nêutrons térmicos. Foram determinadas as condições ótimas para a obtenção de radiografias no filme convencional para raios - X, Kodak Industrex AA, utilizando um sistema digital para análise do grau de enegrecimento dos filmes. Todas as irradiações foram realizadas em um equipamento radiográfico instalado no canal de irradiação 08 do reator nuclear de pesquisas IEA-R1 do IPEN-CNEN/SP. O tempo de irradiação necessário para se obter a radiografia com o melhor contraste foi de 100 segundos e nesta condição foi possível discernir 1 μm em 24 μm de alumínio com uma resolução máxima de 32 μm . As imagens radiográficas obtidas no IPEN-CNEN/SP por esta técnica apresentam visualmente uma qualidade superior quando comparadas as obtidas pelas outras técnicas radiográficas usuais que utilizam elétrons como radiação penetrante e filmes para o registro da imagem. Além disto, o sistema digital propiciou uma maior praticidade referente à aquisição e a análise dos dados e uma melhor visualização das imagens radiográficas.

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

