



AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE  
DE SÃO PAULO

**ANÁLISE DO ELEMENTO DE IRRADIAÇÃO DE BERÍLIO  
NO REATOR IEA-R1m**

**WALTER RICCI FILHO**

**Dissertação apresentada como parte dos  
requisitos para obtenção do Grau de  
Mestre em Ciências na Área de  
Tecnologia Nuclear - Reatores.**

**Orientador:  
Dr. João M. L. Moreira**

**São Paulo  
1998**

**INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES**

**AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

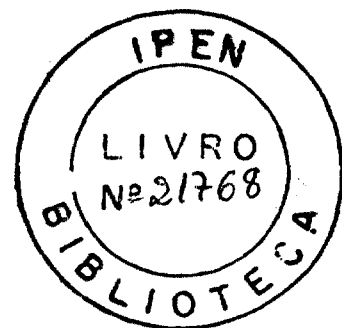
**ANÁLISE DO ELEMENTO DE IRRADIAÇÃO DE BERÍLIO NO  
REATOR IEA-R1m**

**WALTER RICCI FILHO**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências na Área de Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear.

Orientador: Dr. João M. L. Moreira

**SÃO PAULO  
1998**



A meus pais e esposa

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR/SP IRE

# **ANÁLISE DO ELEMENTO DE IRRADIAÇÃO DE BERÍLIO NO REATOR IEA-R1m**

**WALTER RICCI FILHO**

## **RESUMO**

No intuito de aumentar a produção de radioisótopos no Reator IEA-R1m, com ênfase ao  $^{99}\text{Mo}$ , decidiu-se adquirir um Elemento de Irradiação de Berílio e estudar os fatores que influenciam seu comportamento comparando com outros elementos de irradiação.

Com os resultados obtidos verifica-se algumas vantagens do Elemento de Irradiação de Berílio em relação aos outros elementos de irradiação para a produção de  $^{99}\text{Mo}$ : fluxo de nêutrons epitérmicos no Elemento de Irradiação de Berílio 17% superior que no Elemento de Irradiação de Grafita e aproximadamente 12% superior que no Elemento de Irradiação de Água; taxa de reação de nêutrons em fios de Molibdênio dentro de uma cápsula de irradiação contendo óxido de molibdênio no elemento de irradiação de berílio aproximadamente 5 % superior que no elemento de irradiação de água. O Elemento de Irradiação de Berílio apresenta, em relação aos outros elementos de irradiação, uma menor inserção de reatividade negativa no núcleo do reator promovendo, conseqüentemente, um menor consumo de combustível: -1636 pcm para o Elemento de Irradiação de Berílio, -2977 pcm para o Elemento de Irradiação de Água e -2568 pcm para o Elemento de Irradiação de Grafita.

Conclui-se que, para a produção de  $^{99}\text{Mo}$ , o Elemento de Irradiação de Berílio apresenta um ganho em atividade produzida de aproximadamente 12 %, resultando menor quantidade de combustível para a operação do reator, em relação aos elementos de irradiação já existentes no reator IEA-R1m.

# ANALYSIS IRRADIATION BERYLLIUM ELEMENT ANALYSIS IN THE IEA-R1m REACTOR

WALTER RICCI FILHO

## ABSTRACT

The IEA-R1 reactor at IPEN-São Paulo has undergone a modernization to increase its operating power to 5 MW, in order to allow a more efficient production of the  $^{99}\text{Mo}$  radioisotope. An irradiation element made of Be was acquired for the reactor and studies have been carried out to determine its performance when compared to other irradiators available in the reactor namely, the water and graphite irradiation elements.

The results obtained showed some advantages of the Beryllium irradiation element for producing  $^{99}\text{Mo}$ : the epithermal neutron flux in the Be irradiation element is approximately 17% greater than that in the graphite irradiation element and 12% greater than that of the water irradiation element; the neutron reaction rate in molybdenum wires inside an irradiation capsule filled with  $\text{MoO}_3$  5 % greater than that in the water irradiation element in the same conditions; the negative reactivity introduced in the reactor by the Be irradiation element is substantially smaller than those introduced by the other elements: -1636 pcm for the Be irradiator, -2977 for the water irradiator and -2568 pcm for the graphite irradiator.

It is possible to conclude that the production of the  $^{99}\text{Mo}$  radioisotope with the Be irradiation element can be increased by 12 % in the IEA-R1m reactor. It also requires less fuel for the reactor operation due to the smaller negative reactivity introduced in the reactor core.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares da Comissão Nacional de Energia Nuclear (IPEN/CNEN-SP), pelo fornecimento das instalações equipamentos, e pelos cursos de pós-graduação oferecidos.

Ao Centro tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP), pelo fornecimento das instalações e equipamentos.

Ao Prof. Dr. João Manoel Losada Moreira pela valiosa orientação, incentivo e auxílio no desenvolvimento e elaboração deste trabalho.

Aos pesquisadores da Divisão de Física de Reatores do IPEN/CNEN-SP.

Aos amigos e colegas da Divisão de Operação do Reator IEA-R1m, do Reator IPEN/MB-01 e da Oficina Mecânica.

A todos, enfim, que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

# ÍNDICE

<b>Seção</b>	<b>Descrição</b>	<b>Página</b>
<b><u>CAPÍTULO 1</u></b>		
	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b><u>CAPÍTULO 2</u></b>		
<b>O REATOR IEA-R1m E SEUS DISPOSITIVOS DE IRRADIAÇÃO</b>		
<b>2.1</b>	<b>Descrição do Reator IEA-R1m</b>	<b>5</b>
<b>2.2</b>	<b>Descrição dos dispositivos de irradiação do Reator IEA-R1m</b>	<b>7</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Elemento de irradiação de grafita.- EIGRA</b>	<b>7</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Elemento de Irradiação de Água – EIA</b>	<b>7</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Dispositivos especiais</b>	<b>7</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Irradiador de berílio</b>	<b>8</b>
<b><u>CAPÍTULO 3</u></b>		
<b>METODOLOGIA DE ANÁLISE UTILIZADA</b>		
<b>3.1</b>	<b>Considerações gerais a respeito do fluxo de nêutrons produzidos por um reator nuclear</b>	<b>17</b>

<b>3.1.1</b>	<b>Medida do fluxo de nêutrons</b>	<b>18</b>
<b>3.2</b>	<b>Medida do fluxo de nêutrons nos elementos de irradiação</b>	<b>19</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Detetores de ativação</b>	<b>25</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Dispositivos especiais para as medidas de taxa de reação nos irradiadores</b>	<b>27</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Procedimento experimental adotado durante as contagens das folhas/fios</b>	<b>28</b>
<b>3.3</b>	<b>Medida de reatividade dos elementos de irradiação</b>	<b>35</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Medida de reatividade pela técnica do período estável</b>	<b>36</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Medida de reatividade integral e diferencial das barras de controle</b>	<b>37</b>
<b>3.4</b>	<b>Descrição dos experimentos realizados</b>	<b>38</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Primeira Etapa</b>	<b>39</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Segunda Etapa</b>	<b>40</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Terceira Etapa</b>	<b>40</b>
<b>3.4.4</b>	<b>Verificação de segurança</b>	<b>47</b>

## CAPÍTULO 4

### **MEDIDAS DE MAPEAMENTO DE FLUXO AXIAL E RADIAL NO ELEMENTO DE IRRADIAÇÃO.**

<b>4.1</b>	Medida de reatividade introduzida no núcleo do reator pelos elementos de irradiação	<b>49</b>
<b>4.2</b>	Medidas de taxas de reação axial nos elementos de irradiação	<b>50</b>
<b>4.2.1</b>	Medidas das taxas de reação axial no EIBe nas posições 45 da PM e 65 da PM com detectores de Au e Au/Cd	<b>50</b>
<b>4.2.2</b>	Medidas das taxas de reação axial no EIBe na posição 65 da PM utilizando fios de molibdênio	<b>57</b>
<b>4.2.3</b>	Medida das taxas de reação axial nos elementos de irradiação EIBe, EIA e EIGRA	<b>61</b>
<b>4.3</b>	Medida de taxas de reação radial dentro das cápsulas nas posições 45 PM e 65 PM nos elementos de irradiação EIBe, EIA e EIGRA	<b>66</b>
<b>4.3.1</b>	Diferença entre as taxas de reação obtidas nos canais A e B nas posições 45 PM e 65 PM	<b>66</b>
<b>4.3.2</b>	Medidas das taxas de reação radial dentro das cápsulas de irradiação utilizando folhas de alumínio dopada com ouro	<b>67</b>
<b>4.3.3</b>	Medidas das taxas de reação radial dentro das cápsulas de irradiação utilizando fios de molibdênio	<b>70</b>
<b>4.4</b>	Melhorias na irradiação de cápsulas dentro dos elementos de irradiação	<b>75</b>

**CAPÍTULO 5**

<b>CONCLUSÃO</b>	<b>77</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>134</b>

# ÍNDICE DE APÊNDICES

<b>Apêndice</b>	<b>Descrição</b>	<b>Página</b>
<b>Apêndice A</b>	Desenvolvimento matemático da Equação 3.2	<b>80</b>
<b>Apêndice B</b>	Avaliação de segurança realizada para o experimento no Reator IEA-R1m	<b>82</b>
<b>1</b>	Excesso de reatividade do núcleo	<b>82</b>
<b>2</b>	Desligamento seguro do reator	<b>82</b>
<b>3</b>	Critérios para ganho de reatividade em mudanças de configuração	<b>83</b>
<b>4</b>	Reatividade inserida pelas amostras de MoO <sub>3</sub>	<b>84</b>
<b>5</b>	Avaliação de segurança realizadas para o experimento no Reator IEA-R1m	<b>85</b>
<b>Apêndice C</b>	Dados obtidos durante os experimentos	<b>87</b>
<b>1</b>	Análise de erro das medidas experimentais	<b>88</b>
<b>Apêndice D</b>	Rotina experimental	<b>112</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela</b>	<b>Descrição</b>	<b>Página</b>
<b>Tabela 2.1</b>	Seções de choque do $^{98}\text{Mo}$ para os 4 grupos de energia considerados	<b>16</b>
<b>Tabela 3.1</b>	Características físicas dos materiais utilizados como detetor de ativação no Reator IEA-R1m	<b>26</b>
<b>Tabela 3.2</b>	Características nucleares dos materiais utilizados como detetor de ativação no Reator IEA-R1m	<b>26</b>
<b>Tabela 3.3</b>	Síntese dos experimentos realizados nos três elementos de irradiação do Reator IEA-R1m	<b>42</b>
<b>Tabela 4.1</b>	Reatividade negativa inserida no núcleo pelos elementos de irradiação na posição 65 da placa matriz, 3. <sup>a</sup> Etapa (07/07/1997) das medidas experimentais, configuração 189	<b>49</b>
<b>Tabela 4.2</b>	Taxas de reação média nas posições de maior fluxo no EIBe localizado nas posições 45 PM e 65 PM	<b>55</b>
<b>Tabela 4.3</b>	Taxas de reação axial total e epitérmica ao longo do elemento de irradiação nas posições 45 PM e 65 PM e seus respectivos ganhos	<b>56</b>
<b>Tabela 4.4</b>	Taxas de reação axial total e epitérmica no EIBe posição 65 PM com fios de Molibdênio	<b>60</b>
<b>Tabela 4.5</b>	Taxas de reação axial total e epitérmica dos elementos de irradiação EIBe e EIA na posição 65 PM	<b>65</b>
<b>Tabela 4.6</b>	Taxas de reação axial total e epitérmica dos elementos de irradiação EIBe e EIGRA posição 65 PM	<b>65</b>

<b>Tabela 4.7</b>	Gradiente radial das taxas de reação nas posições 45 PM e 65 PM	<b>67</b>
<b>Tabela 4.8</b>	Medidas da depressão de fluxo dentro da cápsula padrão com MoO <sub>3</sub> nas 2 etapas iniciais	<b>69</b>
<b>Tabela 4.9</b>	Medidas da depressão de fluxo dentro da cápsula padrão nas prateleiras 5, 6 e 7 utilizando fios de molibdênio	<b>74</b>
<b>Tabela B.1</b>	Valores de reatividade de barra e margem de desligamento para as 3 configurações do experimento	<b>84</b>
<b>Tabela B.2</b>	Comparação entre os excessos de reatividade previstos por cálculo e medidos para as várias configurações do núcleo utilizados no experimento	<b>86</b>
<b>Tabela C.1</b>	Taxa de reação total nas folhas de ouro no EIBe, canal A e B, detetor NaI, experimento A1 e A2, posição 45 PM Figura 4.1	<b>90</b>
<b>Figura C.2</b>	Taxa de reação nas folhas de ouro cobertas com cádmio no EIBe, canal A e B, detetor HPGe, experimento A1 e A2, posição 45 PM, Figura 4.2	<b>90</b>
<b>Tabela C.3</b>	Taxa de reação nas folhas de ouro coberta com cádmio no EIBe, canal A e B, detetor NaI, experimento A1 e A2, posição 45 PM Figura 4.3	<b>91</b>
<b>Tabela C.4</b>	Taxa de reação nas folhas de índio cobertas com cádmio no EIBe, canal A e B, detetor NaI, experimento A3, posição 45 PM, Figura 4.4	<b>91</b>
<b>Tabela C.5</b>	Taxa de reação nas folhas de índio cobertas com cádmio no EIBe, canal A e B, detetor NaI, experimento A3, posição 45 PM, Figura 4.5	<b>92</b>
<b>Tabela C.18</b>	Taxa de reação radial total nas folhas de Alumínio dopado com ouro dentro da cápsula padrão com amostra de MoO <sub>3</sub> no EIBe, canal A, detetor NaI, experimento R1, posição 45 PM, Figura 4.18	<b>92</b>

<b>Tabela C.6</b>	Taxa de reação total nas folhas de ouro no EIBe, canal A e B, detetor NaI, experimento A4, posição 65 PM, Figura 4.6	<b>93</b>
<b>Tabela C.7</b>	Taxa de reação nas folhas de ouro cobertas com cádmio no EIBe, canal A e B, detetor NaI, experimento A4, posição 65 PM, Figura 4.7	<b>93</b>
<b>Tabela C.8</b>	Taxa de reação total no fio de molibdênio no EIBe, canal A, detetor NaI, experimento A5, posição 65 PM, Figura 4.8	<b>94</b>
<b>Tabela C.9</b>	Taxa de reação total no fio de molibdênio no EIBe, canal B, detetor NaI, experimento A4, posição 65 PM, Figura 4.9	<b>96</b>
<b>Tabela C.10</b>	Taxa de reação no fio de molibdênio coberto com cádmio no EIBe, canal A, detetor NaI, experimento A6, posição 65 PM, Figura 4.10	<b>98</b>
<b>Tabela C.11</b>	Taxa de reação no fio de molibdênio coberto com cádmio no EIBe, canal B, detetor NaI, experimento A6, posição 65 PM, Figura 4.11	<b>100</b>
<b>Tabela C.19</b>	Taxa de reação radial nas folhas de alumínio dopadas com ouro dentro da cápsula padrão com MoO <sub>3</sub> no EIBe, canal A, detetor NaI, experimento R2, posição 65 PM, Figura 4.19	<b>101</b>
<b>Tabela C.12</b>	Taxa de reação total de folhas de ouro no EIBe, canal A, detetor NaI, experimento A7, posição 65 PM, Figura 4.12	<b>102</b>
<b>Tabela C.13</b>	Taxa de reação total de folhas de ouro cobertas com cádmio no EIBe, canal A, detetor NaI, experimento A7, posição 65 PM, Figura 4.13	<b>103</b>
<b>Tabela C.14</b>	Taxa de reação das folhas de ouro no EIA, canal A, detetor NaI, experimento A8, posição 65 PM, Figura 4.14	<b>104</b>
<b>Tabela C.15</b>	Taxa de reação nas folhas de ouro cobertas com cádmio no EIA, canal A, detetor NaI, experimento A8, posição 65 PM, Figura 4.15	<b>105</b>

<b>Tabela C.16</b>	Taxa de reação total nas folhas de ouro no EIGRA, canal A, detetor NaI, experimento A9, posição 65 PM, Figura 4.16	<b>106</b>
<b>Tabela C.17</b>	Taxa de reação total de folhas de ouro cobertas com cádmio no EIGRA, canal A, detetor NaI, experimento A9, posição 65 PM, Figura 4.17	<b>107</b>
<b>Tabela C.20</b>	Taxa de reação radial nos fios de molibdênio no EIBe, canal A, detetor NaI, experimento R3, posição 65 PM, Figura 4.20	<b>108</b>
<b>Tabela C.21</b>	Taxa de reação radial nos fios de molibdênio no EIBe, canal A, detetor NaI, experimento R3, posição 65 PM, Figura 4.20	<b>108</b>
<b>Tabela C.22</b>	Taxa de reação radial nos fios de molibdênio no EIBe, canal A, detetor NaI, experimento R3, posição 65 PM, Figura 4.20	<b>109</b>
<b>Tabela C.23</b>	Taxa de reação radial nas amostras de $\text{MoO}_3$ no EIA, canal A, detetor NaI – 1ª Contagem, experimento R4, posição 65 PM, Figura 4.21	<b>109</b>
<b>Tabela C.24</b>	Taxa de reação radial nas amostras de $\text{MoO}_3$ no EIA, canal A, detetor NaI – 2ª Contagem, experimento R4, posição 65 PM, Figura 4.21	<b>110</b>
<b>Tabela C.25</b>	Taxa de reação radial nas amostras de $\text{MoO}_3$ no EIGRA, canal A, detetor NaI – Posição 14 do EIGRA, experimento R5, posição 65 PM, Figura 4.22	<b>110</b>
<b>Tabela C.26</b>	Taxa de reação radial nas amostras de $\text{MoO}_3$ no EIGRA, canal A, detetor NaI – Posição 17 do EIGRA, experimento R5, posição 65 PM, Figura 4.22	<b>111</b>
<b>Tabela C.27</b>	Taxa de reação radial nas amostras de $\text{MoO}_3$ no EIGRA, canal A, detetor NaI – Posição 20 do EIGRA, experimento R5, posição 65 PM, Figura 4.22	<b>111</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Descrição</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1.1</b>	Número de amostras irradiadas nos últimos anos diretamente no núcleo do reator (EIA, EIGRA, Dispositivos Especiais) e no sistema pneumático de irradiações	<b>02</b>
<b>Figura 2.1</b>	Vista isométrica da piscina do Reator IEA-R1m	<b>10</b>
<b>Figura 2.2</b>	Vista tridimensional do núcleo do Reator IEA-R1m sobre a placa matriz	<b>11</b>
<b>Figura 2.3</b>	Elemento Combustível Padrão (EC)	<b>12</b>
<b>Figura 2.4</b>	Elemento de irradiação, EIGRA. As 24 cápsulas são irradiadas na posição horizontal	<b>13</b>
<b>Figura 2.5</b>	Elemento de Irradiação de Água, que pode conter no seu interior 2 Elementos de Irradiação Refrigerado a Água	<b>14</b>
<b>Figura 2.6</b>	Elemento de Irradiação de Berílio, EIBe	<b>15</b>
<b>Figura 2.7</b>	Seção de choque de captura do $^{98}\text{Mo}$	<b>16</b>
<b>Figura 3.1</b>	Cápsula padrão de alumínio	<b>29</b>
<b>Figura 3.2</b>	Esquema de como foi montada a cápsula padrão para medida da taxa de reação dentro da amostra com folhas de alumínio dopadas com ouro	<b>30</b>
<b>Figura 3.3</b>	Esquema referente a montagem da cápsula padrão utilizada para medida da taxa de reação dentro da amostra com fios de molibdênio	<b>31</b>
<b>Figura 3.4</b>	Dispositivo de lucite para irradiação de fios de molibdênio	<b>32</b>

<b>Figura 3.5</b>	Esquema da cápsula padrão referente a montagem das folhas de ouro/índio	<b>33</b>
<b>Figura 3.6</b>	Diagrama de bloco do arranjo experimental utilizado para medida de ativação via captura	<b>34</b>
<b>Figura 3.7</b>	Laboratório de contagem do Reator IPEN/MB-01	<b>34</b>
<b>Figura 3.8</b>	Arranjo do núcleo do Reator IEA-R1m – configuração 184 com o EIBe na posição 45 da placa matriz – 1.º. Etapa	<b>43</b>
<b>Figura 3.9</b>	Arranjo do núcleo do Reator IEA-R1m – configuração 190 com o EIBe na posição 65 da placa matriz – 2.º. e 3.º. Etapa	<b>44</b>
<b>Figura 3.10</b>	Arranjo do núcleo do Reator IEA-R1m – configuração 190 com o EIBe na posição 65 da placa matriz – 3.º. Etapa	<b>45</b>
<b>Figura 3.11</b>	Arranjo do núcleo do Reator IEA-R1m – configuração 190 com o EIGRA na posição 65 da placa matriz – 3.º. Etapa	<b>46</b>
<b>Figura 4.1</b>	Taxa de reação nas folhas de ouro no EIBe, canal A e B, experimento A1, posição 54 PM, detetor NaI, Tabela C.1	<b>51</b>
<b>Figura 4.2</b>	Taxa de reação nas folhas de ouro cobertas com cádmio no EIBe, canal A e B	<b>52</b>
<b>Figura 4.3</b>	Taxa de reação nas folhas de ouro cobertas com cádmio no EIBe, canal A e B, experimento A2, posição 45 PM, detetor NaI, Tabela C.3	<b>52</b>
<b>Figura 4.4</b>	Taxa de reação nas folhas de índio cobertas com cádmio no EIBe, canal A e B, experimento A3, posição 45 PM, detetor NaI, Tabela C.4	<b>53</b>
<b>Figura 4.5</b>	Taxa de reação nas folhas de índio cobertas com cádmio no EIBe, canal A e B, experimento A3, posição 45 PM, detetor NaI, Tabela C.5	<b>53</b>
<b>Figura 4.6</b>	Taxa de reação nas folhas de ouro no EIBe, canal A e B, experimento A4, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.6	<b>54</b>

<b>Figura 4.7</b>	Taxa de reação nas folhas de ouro cobertas com cádmio no EIBe, canal A e B, experimento A4, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.7	<b>54</b>
<b>Figura 4.8</b>	Taxa de reação no fio de molibdênio no EIBe, canal A, experimento A5, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.8	<b>58</b>
<b>Figura 4.9</b>	Taxa de reação no fio de molibdênio no EIBe, canal B, experimento A5, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.9	<b>58</b>
<b>Figura 4.10</b>	Taxa de reação no fio de molibdênio coberto com cádmio no EIBe, canal A, experimento A6, detetor NaI, Tabela C.10	<b>59</b>
<b>Figura 4.11</b>	Taxa de reação no fio de molibdênio coberto com cádmio no EIBe, canal B, experimento A6, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.11	<b>59</b>
<b>Figura 4.12</b>	Taxa de reação nas folhas de ouro no EIBe, canal A, experimento A7, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.12	<b>61</b>
<b>Figura 4.13</b>	Taxa de reação nas folhas de ouro cobertas com cádmio no EIBe, canal A, experimento A7, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.13	<b>62</b>
<b>Figura 4.14</b>	Taxa de reação nas folhas de ouro no EIA, canal A, experimento A8, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.14	<b>62</b>
<b>Figura 4.15</b>	Taxa de reação nas folhas de ouro cobertas com cádmio no EIA, canal A, experimento A8, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.15	<b>63</b>
<b>Figura 4.16</b>	Taxa de reação nas folhas de ouro no EIGRA, canal A, experimento A9, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.16	<b>63</b>
<b>Figura 4.17</b>	Taxa de reação nas folhas de ouro cobertas com cádmio no EIGRA, canal A, experimento A9, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.17	<b>64</b>

- Figura 4.18** Taxa de reação radial nas folhas de alumínio dopado com ouro dentro da cápsula padrão com amostra de  $\text{MoO}_3$  no EIBe, canal A, experimento R1, posição 45 PM, detetor NaI, Tabela C.18 68
- Figura 4.19** Taxa de reação radial nas folhas de alumínio dopadas com ouro, Figura 9, dentro da cápsula padrão com  $\text{MoO}_3$  no EIBe, canal A, experimento R2, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.19 69
- Figura 4.20** Taxa de reação radial nos fios de molibdênio no EIBe, canal A, experimento R3, posição 65 PM, detetor NaI, posição 5 do EIRA – Tabela C.20 71
- Figura 4.21** Taxa de reação radial nas amostras de  $\text{MoO}_3$  no EIA, canal A, experimento R4, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.23 e C.24 72
- Figura 4.22** Taxa de reação radial nas amostras de  $\text{MoO}_3$  no EIGRA, canal A, experimento R5, posição 65 PM, detetor NaI – Posição 14, 17 e 20 do EIGRA, Tabela C.25, C.26 e C.27 73
- Figura 4.23** Proposta de um novo Elemento de Irradiação de Berílio onde as cápsulas de irradiação ficam na posição horizontal de maior fluxo de nêutrons 76

## LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Descrição
<b>BC</b>	<b>Barra de controle</b>
<b>Be</b>	<b>Berílio</b>
<b>BH</b>	<b>Beam Holes (tubo colimador)</b>
<b>BS#1</b>	<b>Barra de Segurança 1</b>
<b>BS#2</b>	<b>Barra de Segurança 2</b>
<b>BS#3</b>	<b>Barra de Segurança 3</b>
<b>CERCA</b>	<b>Compagnie pour L'étude et la Réalisation de Combustibles Atomiques</b>
<b>cm</b>	<b>Centímetro</b>
<b>CNEN</b>	<b>Comissão Nacional de Energia Nuclear</b>
<b>EC</b>	<b>Elemento Combustível</b>
<b>EIA</b>	<b>Elemento de Irradiação de Água</b>
<b>EIBe</b>	<b>Elemento de Irradiação de Berílio</b>
<b>EIF</b>	<b>Elemento de Irradiação de Fios</b>
<b>EIGRA</b>	<b>Elemento de Irradiação de Grafita Refrigerado a Água</b>
<b>EIRA</b>	<b>Elemento de Irradiação Refrigerado a Água</b>
<b>EIS</b>	<b>Elemento de Irradiação de Silício</b>
<b>EIX</b>	<b>Elemento de Irradiação de Xenônio</b>
<b>HAMMER-TECHNION</b>	<b>Heterogeneous analysis by multigroup methods of exponentials and reactors</b>
<b>HPGE</b>	<b>High-Purity Germanium</b>
<b>IPEN</b>	<b>Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares</b>
<b>m</b>	<b>Metro</b>
<b>mm</b>	<b>Milímetro</b>
<b>Mo</b>	<b>Molibdênio</b>
<b>MTR</b>	<b>Material Test Reactor</b>
<b>MW</b>	<b>Mega Watts</b>
<b>n/cm<sup>2</sup>s</b>	<b>Neutron por centímetro ao quadrado por segundo</b>
<b>NaI</b>	<b>Iodeto de Sódio – detetor</b>
<b>pcm</b>	<b>Partes por cem mil</b>
<b>REATOR IEA-R1m</b>	<b>Reator Instituto de Energia Atômica – reator 1 modificado</b>
<b>Tc</b>	<b>Tecnécio</b>

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

Os nêutrons podem ativar isótopos estáveis para produzir isótopos instáveis cujos decaimentos emitem radiações que tem aplicações diversas na medicina, agricultura e indústria. Existem diferentes tipos de fontes de nêutrons sendo uma delas reatores nucleares de pesquisa.

Este trabalho faz parte de um programa de pesquisa e desenvolvimento para obtenção de novos materiais ainda não disponíveis no país e procurados pela comunidade médica; para a nacionalização total da produção de radioisótopos, radiofármacos e outros insumos visando suprir às necessidades de hospitais, clínicas e centros de pesquisa. Dentro deste programa o Reator IEA-R1m passou por reformas buscando atender as esses propósitos, teve sua potência de operação aumentada de 2 para 5 MW e adquiriu-se um irradiador de Berílio. A Figura 1.1 mostra a importância do reator na produção de radioisótopos e o número de amostras irradiadas nos últimos anos.

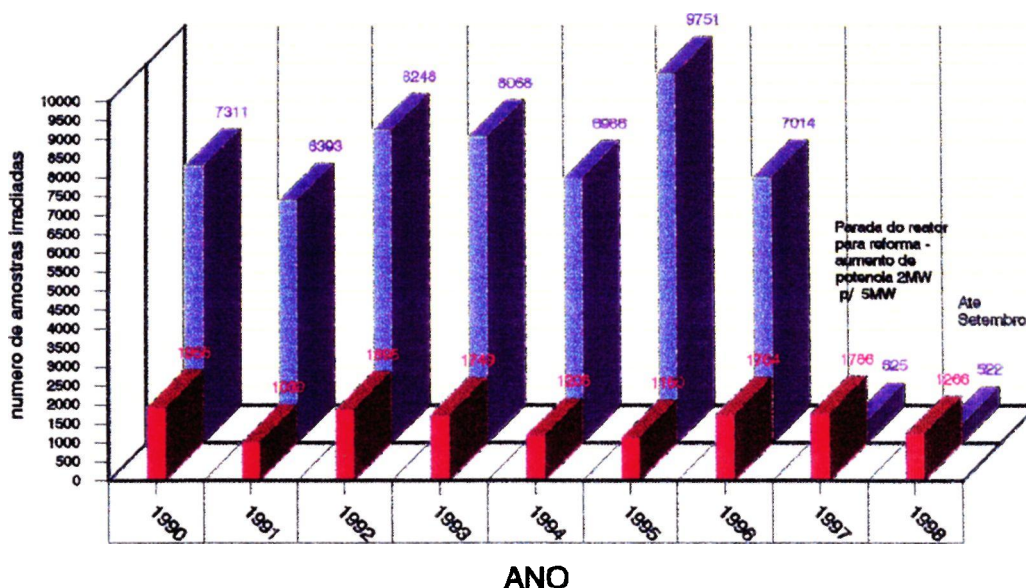
Uma das várias utilizações propostas para o reator é a produção de  $^{99}\text{Mo}$  em um irradiador de Berílio, de procedência francesa - CERCA, a partir da irradiação de óxido de molibdênio. O irradiador de Be, ocupa o espaço de um elemento combustível e consiste de um paralelepípedo com dois orifícios de 3,3 cm alinhados em diagonal constituindo as posições de irradiação. Este trabalho visa estudar a produção de  $^{99}\text{Mo}$  [YAMAGUCHI, MENDONÇA, SANTOS, OSSO JUNIOR, 1997] no irradiador de Be comparando-o com outros elementos de irradiação existentes no reator IEA-R1, quais sejam: Elemento de Irradiação de Água e Elemento de Irradiação de Grafita.

Na medicina os isótopos utilizados, denominados radioisótopos, podem ser usados de duas maneiras: como traçadores na diagnose ou como fonte de energia na terapia. Os radioisótopos são usados como traçadores ou marcadores devido a duas importantes propriedades: possuem comportamento químico idêntico ao de isótopos estáveis do mesmo elemento e apresentam emissão espontânea de radiação que pode ser detectada indicando assim sua localização e quantificação. Os radioisótopos encontram variadas aplicações por serem detectáveis após absorção ou espalhamento pela matéria, por quebrarem moléculas, ionizarem átomos ou moléculas formando íons e iniciando assim reações químicas ou biológicas. São portanto, utilizados para

destruir tecidos, especialmente os cancerosos, ou para suprimir alguma função orgânica.

## IRRADIAÇÃO NO REATOR IEA-R1m 1990/91/92/93/94/95/96/97/98

NÚMERO DE AMOSTRAS IRRADIADAS



■ Irradiações do sistema pneumático      ■ Irradiações no núcleo do reator

Fonte - Relatório Trimestral de 1998, Walter Ricci Filho.

Figura 1.1 – Número de amostras irradiadas nos últimos anos diretamente no núcleo do reator (EIA, EIGRA, Dispositivos Especiais) e no sistema pneumático de irradiações.

Na medicina as aplicações são feitas num campo genericamente designado radiologia, que por sua vez compreende a radioterapia, a radiologia diagnóstica e medicina nuclear.

A radioterapia utiliza a radiação no tratamento de tumores. A evolução da radioterapia ocorreu concomitantemente com o desenvolvimento dos aparelhos de raios X e equipamentos de teleterapia usando isótopos radioativos de cobalto, célio, rádio e finalmente aceleradores de partículas. A

radiologia diagnóstica consiste na utilização de um feixe de raios X para produção de imagens em chapas fotográficas ou em telas fluoroscópicas. Por fim, a medicina nuclear utiliza materiais radioativos e técnicas de física nuclear na diagnose, no tratamento e no estudo de doenças [OKUMO, CALDAS, CHOW, 1982].

A principal diferença entre o uso do raios X e o de radioisótopos na diagnose está no tipo de informação obtida. No primeiro caso, a informação está relacionada com a anatomia e no segundo, a informação fornecida pelos radioisótopos, está relacionada mais com o metabolismo e a fisiologia do que com a própria anatomia.

A principal diferença entre radioterapia e a terapia na medicina nuclear refere-se ao tipo de fontes radioativas usadas. Na radioterapia usam-se fontes seladas nas quais o material radioativo não entra em contato direto com o paciente ou com as pessoas que as manuseiam. Na terapia, materiais radioativos não selados são ingeridos ou injetados a fim de serem incorporados às regiões do corpo humano a serem tratadas.

O objetivo deste trabalho é estudar a produção de um importante radioisótopo utilizado na medicina, o  $^{99}\text{Mo}$ , no Reator IEA-R1m [YAMAGUCHI, MENDONÇA, 1997], que decai (66 horas) por transição isomérica para o  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ . Estes geradores,  $^{99}\text{Mo} - ^{99\text{m}}\text{Tc}$ , são utilizados no tratamento da função renal, avaliação do fluxo sanguíneo cerebral, pulmão, fígado, coração, etc..

O que se pretende é avaliar o impacto que o Elemento de Irradiação de Berílio causa no núcleo do reator em termos de reatividade negativa e buscar estabelecer quais posições de irradiação favorece, em termos de fluxo, a produção do  $^{99}\text{Mo}$ .

A avaliação do Elemento de Irradiação de Berílio foi feita através da técnica de irradiação de folhas de ouro e fios de molibdênio. Com isso, pode-se levantar o perfil axial da taxa de reação ao longo dos elementos de irradiação, identificando as posições de maior taxa de reação, e avaliar o gradiente de taxa de reação dentro das cápsulas de irradiação. Desta forma pretende-se determinar a melhor maneira de se irradiar uma determinada amostra.

Com esses dados pretende-se indicar condições melhores de irradiação no que diz respeito a tempo, geometria, posição e tamanho da amostra já que em termos de potência o reator chegou ao seu limite máximo de projeto, que é de 5 MW. Esses resultados podem contribuir com informações para outras

áreas visando obter, melhor detalhamento e aperfeiçoamento de modelos matemáticos, que tem por finalidade, simular e planejar as irradiações no Reator IEA-R1m.

A abordagem do texto é feita por capítulos. O capítulo 2 descreve os elementos de irradiação do reator IEA-R1m. O capítulo 3 apresenta a metodologia de análise utilizada envolvendo cálculo e medida de fluxo de nêutrons e reatividade no reator IEA-R1m. No capítulo 4 encontra-se descrito o procedimento experimental adotado e os resultados obtidos. O capítulo 5 apresenta as conclusões e algumas considerações finais.

As expressões matemáticas bem como as figuras e tabelas são numeradas para cada capítulo precedendo o número de ordem. As referências bibliográficas são apresentadas de acordo com a ordem alfabética e se encontram após os apêndices.

## CAPÍTULO 2

### O REATOR IEA-R1m E SEUS DISPOSITIVOS DE IRRADIAÇÃO

O Reator IEA-R1m possui vários tubos de irradiação para coleta de feixes de nêutrons e de radiação gama. Para experimentos "on-line", possui posições com acesso via tubos pneumáticos para irradiações rápidas e possui posições em elementos especiais para irradiações longas. Estes elementos especiais são denominados elementos de irradiação.

A seguir são descritos de forma sucinta, o Reator IEA-R1m, seus principais elementos de irradiação e dentre estes o elemento de irradiação de berílio.

#### 2.1 Descrição do Reator IEA-R1m

O reator IEA-R1m é um reator do tipo piscina aberta tendo seu núcleo sustentado por uma treliça e possui vários dispositivos de irradiação. A Figura 2.1 mostra esquematicamente a piscina do reator, a blindagem, a treliça de suporte do núcleo e os vários tubos de radiação "beam holes". O reator foi construído e projetado pela firma Babcox & Wilcox dentro do programa americano "Átomos para a Paz", tendo sua primeira criticalidade em 16 setembro de 1957. Desde então, como parte de suas atividades, estão a produção de radioisótopos, análise por ativação radioquímica, treinamento de operadores e experimentos de física nuclear. Apesar de projetado para operar a 5 MW, raramente operou a esta potência: de 1957 a agosto de 1995 o reator operou numa rotina de 8 horas diárias a 2 MW; em seguida passou para um regime de 64 horas contínuas por semana, visando o projeto de produção do composto fosfanato, conhecido pelas iniciais EDTMP, marcado com Samário-153 e utilizado no tratamento de metástases ósseas, visando também, otimizar todos os trabalhos de pesquisa e a partir de 1997 iniciou-se operação em 5 MW.

Os 30 elementos combustíveis (EC) do tipo MTR ("Material Testing Reactor") estão sobre uma placa matriz de 82,86 x 63,97 x 11,43 cm com 80 furos num arranjo 8 x 10, conforme mostra a Figura 2.2.

Os elementos combustíveis são formados por 18 placas de combustível de espessura média de 1,52 mm dispostas numa estrutura de alumínio com seção horizontal de 7,61 x 8,00 cm. O núcleo, na sua configuração 190, contem 6 elementos combustíveis de alto enriquecimento (~ 93% de  $^{235}\text{U}$ ) fabricados pela "United Nuclear Corporation" (EUA) e 24 elementos fabricados pela Diretoria M do IPEN-CNEN/SP (19,75 % de  $^{235}\text{U}$ ) sendo: 4 elementos de controle, 2 elementos de densidade  $2,3 \text{ g/cm}^3$  e 18 elementos de densidade  $1,9 \text{ g/cm}^3$ . Externamente os EC's de alto e baixo enriquecimento apresentam as mesmas dimensões, sendo diferentes apenas em relação ao cerne do combustível. O EC de alto enriquecimento possui um cerne de combustível de 0,635 mm e um encamisamento de 0,505 mm de espessura, enquanto o de baixo enriquecimento possui um cerne de 0,760 mm diminuindo o encamisamento para 0,380 mm de espessura, visando manter a mesma massa de  $^{235}\text{U}$  com menor enriquecimento. A distância externa entre as placas de combustível é de 2,89 mm. A Figura 2.3 mostra esquematicamente um elemento combustível do reator IEA-R1m.

O elemento combustível de controle é composto de 16 placas, sendo 12 placas de combustível e 4 de alumínio, reservando-se o espaço destinados às segunda e penúltima placas ao percurso da barra absorvedora. A barra absorvedora tem um formato em "garfo" para poder penetrar no elemento combustível de controle e é composta de prata (~ 80%), índio (~ 15%) e cádmio (~ 5%).

Os elementos refletores com as mesmas dimensões dos demais, são constituídos internamente por grafita e externamente por alumínio. A disposição de todos estes elementos constituintes do núcleo do reator podem ser vistos na Figura 2.2.

A refrigeração do núcleo do reator se faz através de circulação forçada de água de cima para baixo, entre os canais de refrigeração dos EC's, em um circuito denominado de primário. A água do circuito primário além de retirar calor serve também como moderador, termalizando os nêutrons de fissão, e blindagem contra as radiações geradas. A 2 MW de potência a vazão do refrigerante é de 2600 GPM e a 5 MW é de 3000 GPM com variações de temperatura do refrigerante, através do núcleo do reator, de  $3^\circ\text{C}$  e  $6,2^\circ\text{C}$ , respectivamente. A troca de calor é feita sem contato físico com o circuito secundário em trocadores de calor. O calor contido no refrigerante do circuito secundário é dissipado nas torres de refrigeração.

## **2.2 Descrição dos dispositivos de irradiação do Reator IEA-R1m**

Os dispositivos de irradiação de amostras no reator IEA-R1m são apropriados para cápsulas seladas, que são posicionadas em alturas predeterminadas e entram em contato com a água da piscina do reator que serve como refrigerante das amostras. Os dispositivos existentes, denominados elemento de irradiação, são apresentados, rapidamente, a seguir.

### **2.2.1 Elemento de Irradiação de Grafita - EIGRA**

Este elemento é utilizado para irradiação de amostras em cápsulas padrão de alumínio, de 20 mm de diâmetro e 70 mm de altura, para irradiações mais longas que uma semana. Tem capacidade para irradiar 24 cápsulas na posição horizontal. A Figura 2.4 apresenta esquematicamente o EIGRA [MANUAL DE OPERAÇÃO DO REATOR IEA-R1m, 1990].

### **2.2.2 Elemento de Irradiação de Água - EIA**

Este dispositivo é composto de duas partes principais: a caixa de água, que tem as mesmas dimensões de um elemento combustível, e os Elementos de Irradiação Refrigerados a Água, EIRA que são dispositivos para posicionamento de cápsulas dentro do elemento de irradiação. O Elemento de Irradiação de Água tem capacidade de receber até dois EIRA's. Cada EIRA tem capacidade para 8 cápsulas na posição vertical e a capacidade total do elemento de irradiação de água é, portanto, de 16 cápsulas. A Figura 2.5 mostra esquematicamente este dispositivo [MANUAL DE OPERAÇÃO DO REATOR IEA-R1m, 1989].

### **2.2.3 Dispositivos especiais**

São dispositivos especialmente projetados para irradiação de amostras, que não se enquadram nos sistemas acima descritos, como por exemplo o : EIS (Elemento de Irradiação de Silício), EIX (Elemento de Irradiação de Xenônio) e EIF (Elemento de Irradiação de Fios), sistema pneumático de irradiação e tubos de irradiação.

O sistema pneumático é composto por duas estações remotas localizadas nos laboratórios da Divisão de Radioquímica, em prédio anexo ao reator. Os terminais destas estações ficam próximos ao núcleo do reator. As

amostras que são enviadas ficam submetidas a um fluxo predominante da ordem de  $10^{11}$  n/cm<sup>2</sup>s para uma potência de operação de 2 MW. Este sistema é muito utilizado para análise por ativação onde o material alvo é colocado em cápsulas de polietileno, o tempo limite para irradiação é de 30 minutos e o limite de massa é de 100 gramas.

Os tubos de irradiação (beam holes – BH) são tubos que são mantidos secos, que ligam a periferia do reator até a sala de experimentos no primeiro andar do prédio do reator. A Figura 2.1 mostra a localização dos tubos radiais e o tubo tangencial existente no reator IEA-R1m. São 8 tubos radiais de irradiação, com foco centrado no núcleo do reator, que se prolongam até a face externa da parede da piscina do reator, com a seguinte distribuição: 2 tubos de 202,2 mm de diâmetro e 6 tubos de 152,4 mm de diâmetro. O tubo tangencial, que atravessa diametralmente a piscina, tem acesso pelas duas extremidades e de diâmetro de 152,4 mm. Existem também 2 tubos de 152,4 mm de diâmetro colocados em frente a coluna térmica, que podem ser utilizados nas situações em que o núcleo do reator seja transferido para esta posição .

Estes tubos são, na sua maioria, utilizados pela Divisão de Física Nuclear, onde vários arranjos experimentais estão montados para a realização de: neutrografia - radiografia com nêutrons, espectrômetro de filtro de berílio - tempo de voo, difratômetro de nêutrons - para estudo de rede cristalina de materiais, espectrômetro de cristal de 3 eixos, etc.

#### **2.2.4 Irradiador de berílio - EIBe**

O irradiador de berílio (EIBe) foi adquirido como parte do projeto de modernização do reator IEA-R1m para a produção de radioisótopos, com ênfase no <sup>99</sup>Mo via captura no <sup>98</sup>Mo irradiado sob forma de óxido de molibdênio (MoO<sub>3</sub>) natural. A Figura 2.6 mostra o EIBe.

Para maximizar a produção do <sup>99</sup>Mo por este processo, o espectro energético do nêutrons, conforme Figura 2.7 e Tabela 2.1, não deve ser tão térmico como na água, pois a seção de choque (n,γ) do <sup>98</sup>Mo possui ressonâncias entre 10 eV e 10 keV. Assim, um elemento irradiador de Berílio apresenta algumas vantagens como: possuir peso atômico relativamente baixo (igual a 9,0122), mas maior do que o hidrogênio e, portanto, produzir um espectro energético mais duro do que o da água; o berílio metálico ser um material altamente denso (concentração ou densidade atômica igual a  $1,236 \times 10^{23}$  átomos/barn.cm); possuir baixa seção e choque de absorção; e possuir

reação (n,2n), fazendo com que aumente o fator de multiplicação efetivo do reator em relação aos outros elementos de irradiação, ou seja, EIA e EIGRA.

O elemento de irradiação de berílio é constituído de um bloco de berílio metálico de alta pureza, revestido de alumínio, com dimensões 872 x 79,76 x 76,1 mm. O bloco de berílio possui, em diagonal, duas cavidades em toda sua extensão, com diâmetros de 25,0 mm, onde são inseridas as amostras a serem irradiadas.

A Figura 2.7 mostra a variação da seção de choque de captura radioativa (n, $\gamma$ ) do  $^{98}\text{Mo}$  extraída da biblioteca de dados nucleares JENDL-3 [SHIBATA, 1990] através do programa NJOY-91.38. [MACFARLANE, MUIR, 1992]. Essa seção de choque foi condensada em 4 grupos de energia através do programa ANISN [ENGLE, 1979], de acordo com a estrutura de grupos do programa HAMMER-TECHNION [BARHEN, RHOTENSTEIN, 1978], mostrada na Tabela 2.1. Nesta tabela estão mostradas também as seções de choque de captura condensadas do  $^{98}\text{Mo}$ . No grupo 4 (térmico) as seções de choque tem comportamento 1/v. No grupo 3, de maior seção de choque efetiva, concentram-se as ressonâncias [YAMAGUCHI, MENDONÇA, SANTOS, OSSO JUNIOR, 1997]. Estes valores de seções de choque de grupo são adequados para cálculos de ativação utilizando fluxos de nêutrons calculados com o sistema de cálculo HAMMER/CITATION ou LEOPARD/2DB [LITTLE, HARDIE, 1969], [FOWLER, VONDY, CUNNINGHAM, 1972].

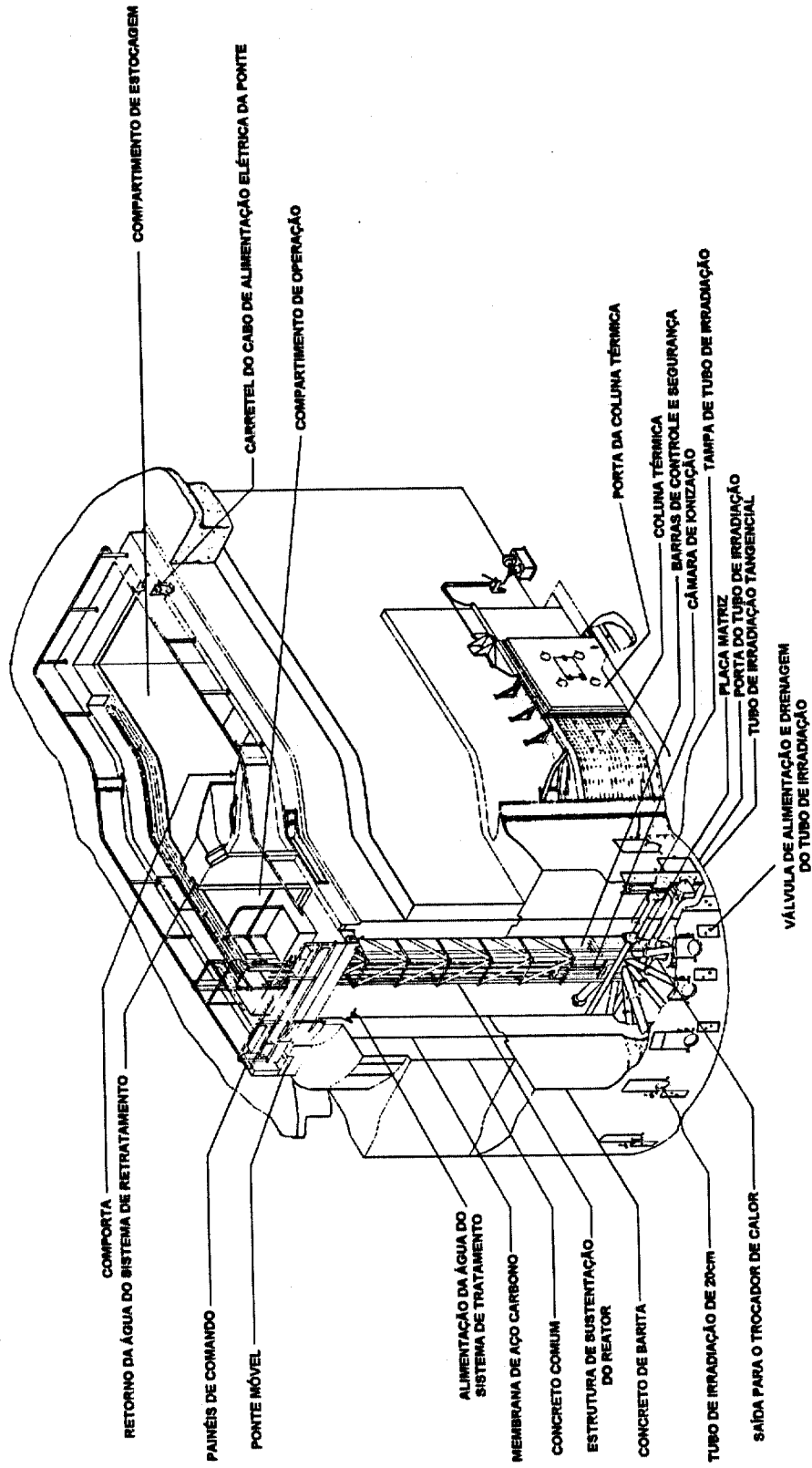
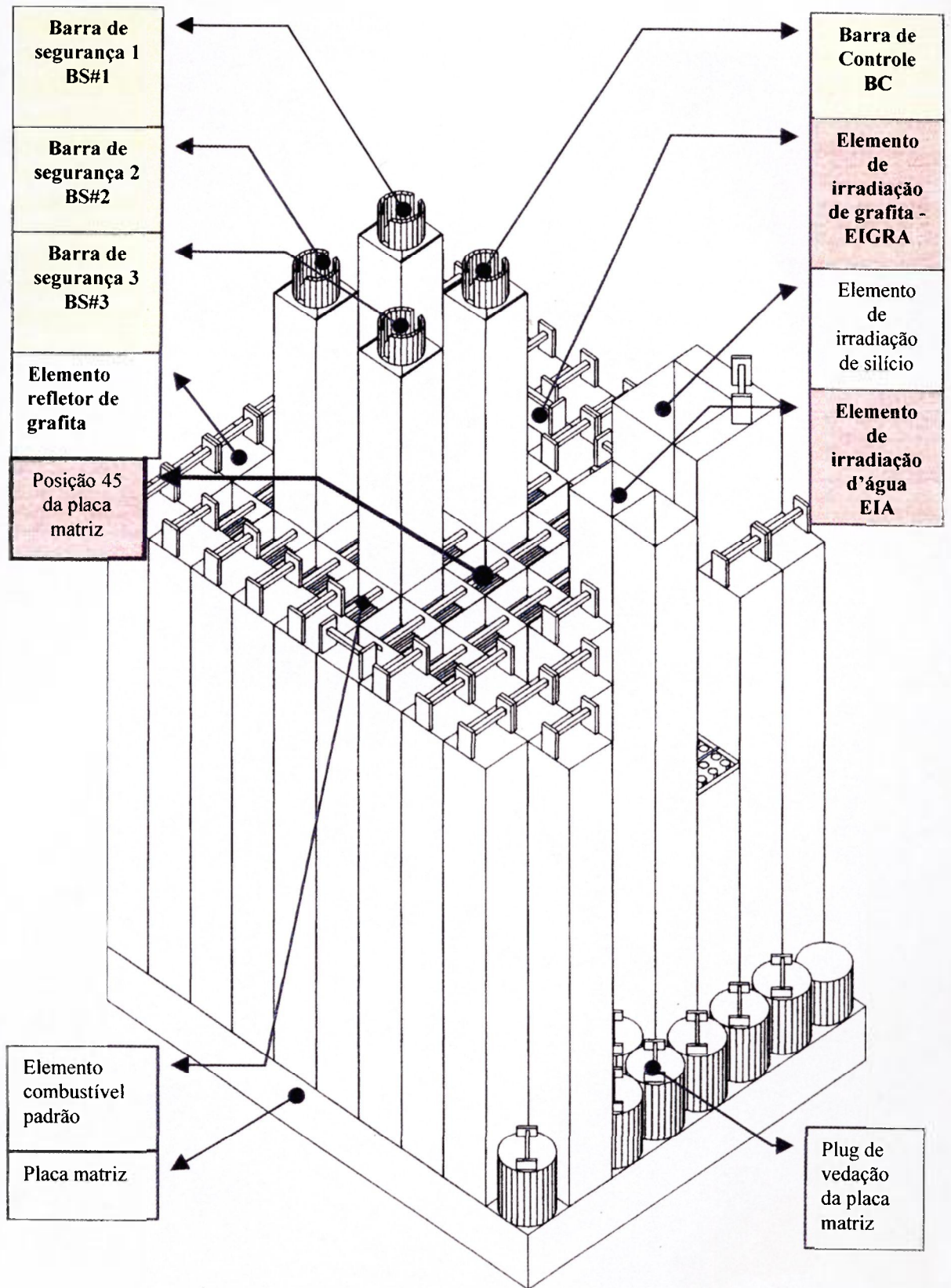
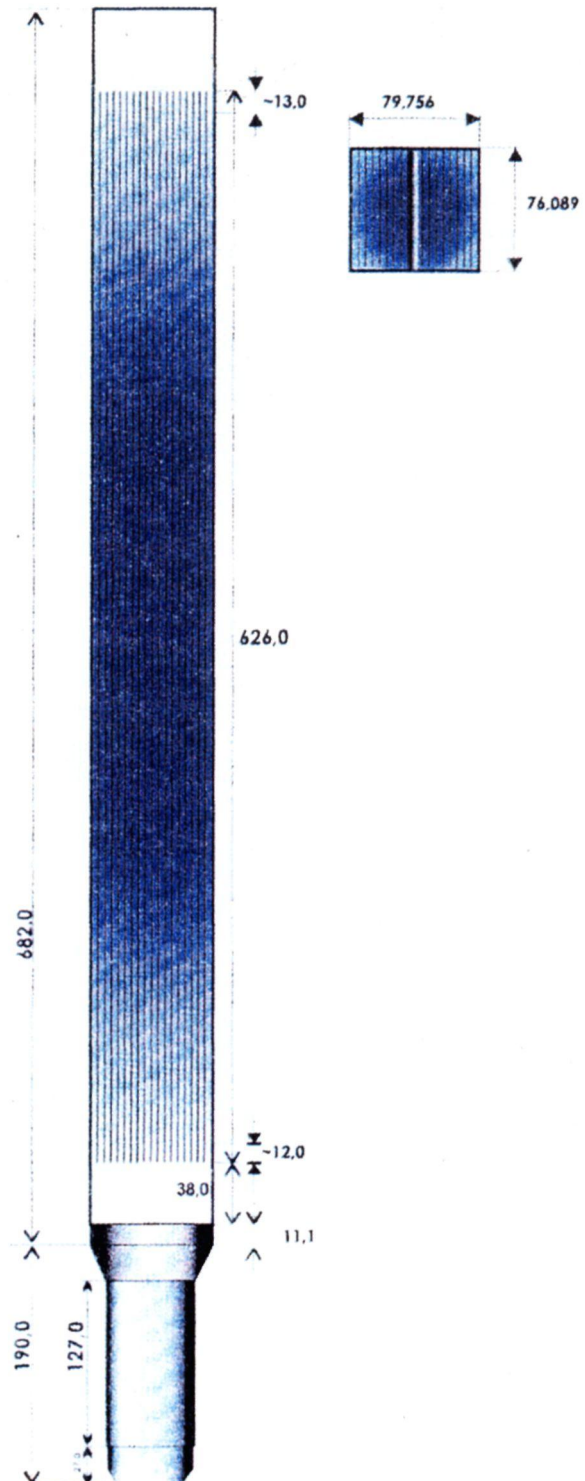


Figura 2.1 – Vista isométrica da piscina do Reator IEA-R1m

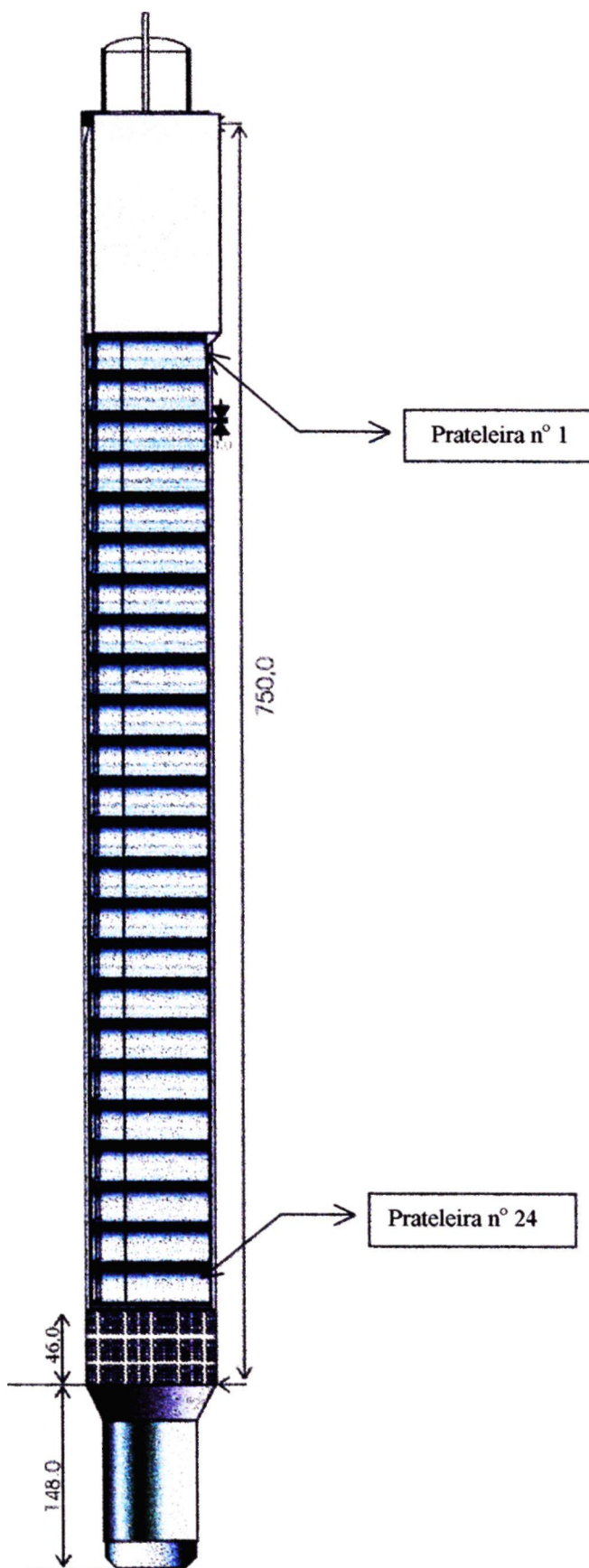


**Figura 2.2 - Vista tridimensional do núcleo do Reator IEA-R1m sobre a placa matriz.**

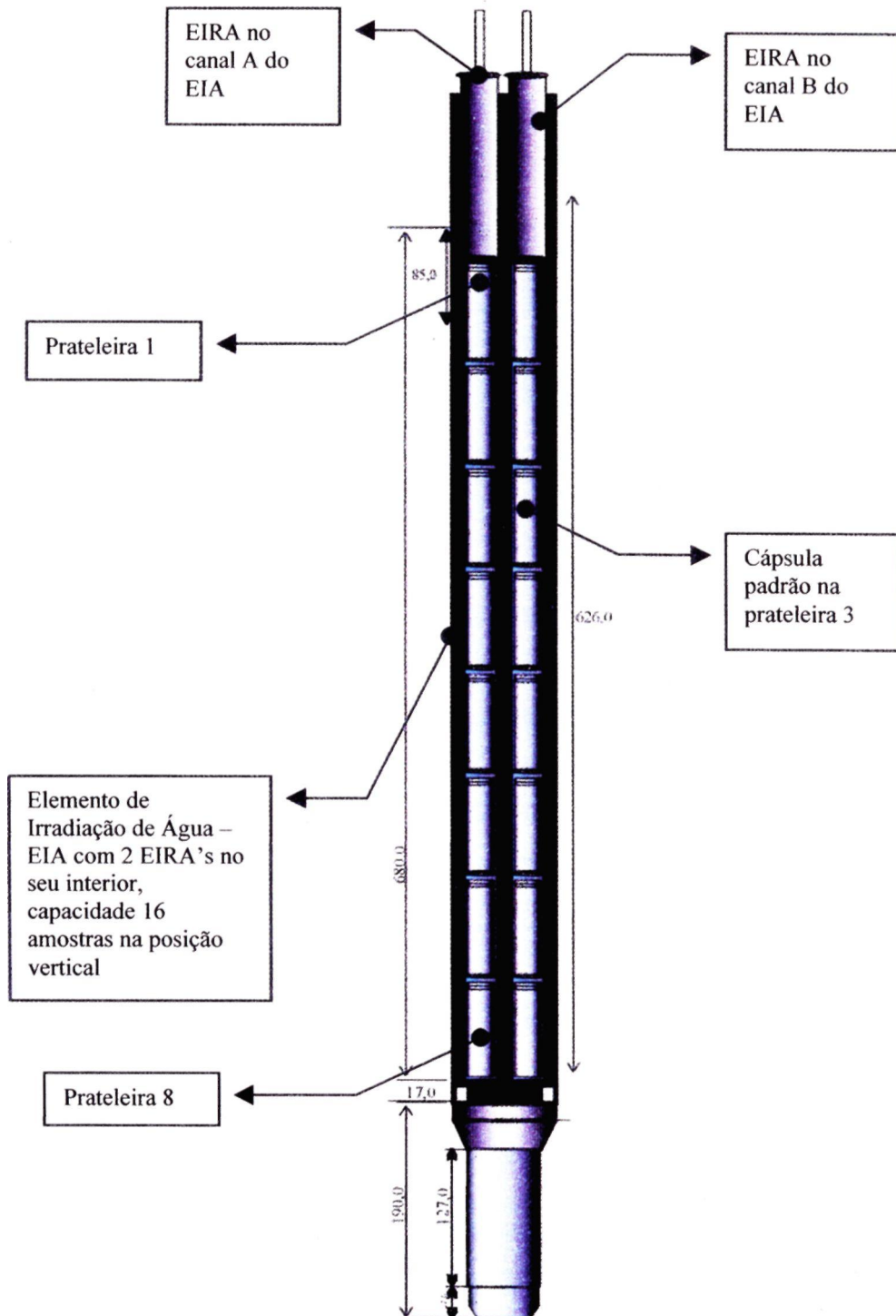
**EC**  
ELEMENTO COMBUSTÍVEL PADRÃO



**Figura 2.3 – Elemento Combustível Padrão (EC).**



**Figura 2.4 – Elemento de Irradiação, EIGRA. As 24 cápsulas são irradiadas na posição horizontal.**



**Figura 2.5 – Elemento de Irradiação de Água, EIA, que pode conter no seu interior 2 Elementos de Irradiação Refrigerado a Água.**

EBe

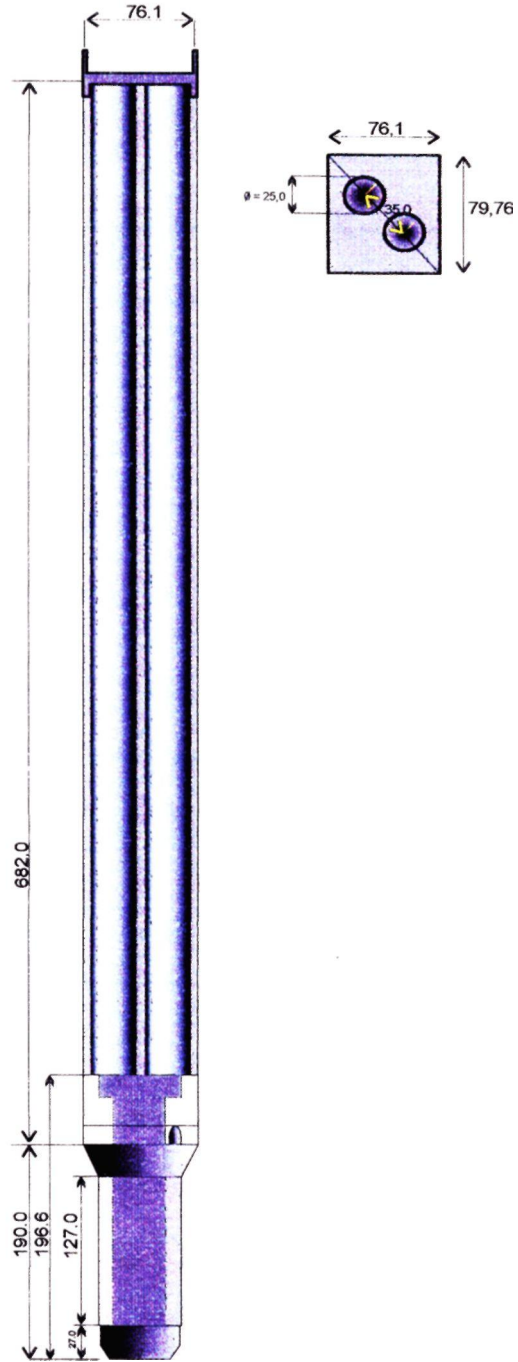


Figura 2.6 – Elemento de Irradiação de Berílio, EBe.

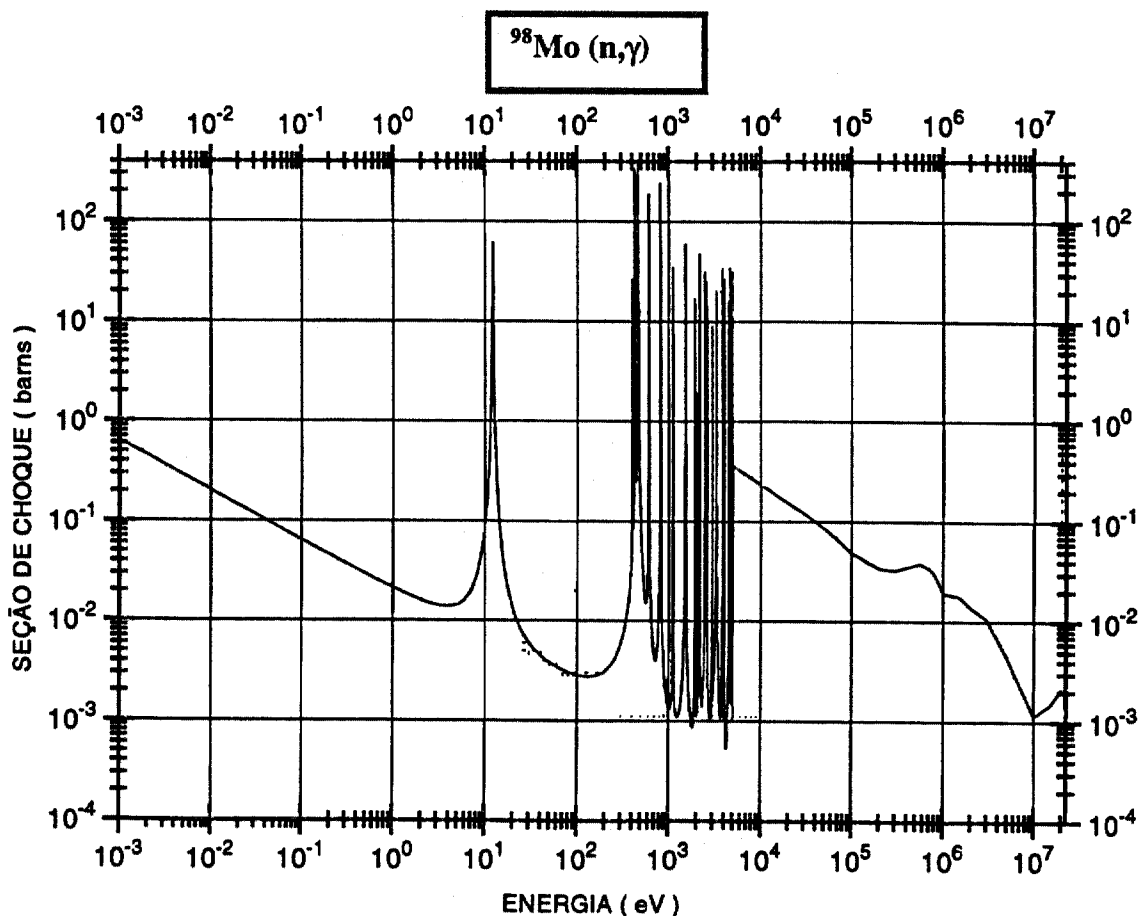


Figura 2.7 – Seção de choque de captura do  $^{98}\text{Mo}$ .

Tabela 2.1 – Seções de choque do  $^{98}\text{Mo}$  para os 4 grupos de energia considerados.

Grupo de Energia	Limite Superior de Energia (eV)	$\sigma_{\gamma}$ (barns)
1	$10 \times 10^6$	0,018913
2	$0,825 \times 10^6$	0,073775
3	$5,53 \times 10^3$	0,61281
4	0,625	0,12262

# CAPÍTULO 3

## METODOLOGIA DE ANÁLISE UTILIZADA

Um elemento de irradiação ideal deve apresentar as seguintes características: 1) apresentar um grande número de posições de irradiação, 2) apresentar posições de irradiação com grandes volumes, 3) apresentar fluxo de nêutrons elevados nas posições de irradiação, 4) o fluxo de nêutrons apresentar pequeno gradiente nas posições de irradiação e 5) introduzir uma baixa reatividade negativa no núcleo. As características 1 e 2 são conseqüências da geometria e espaços disponíveis no núcleo do reator. As características 3, 4 e 5 estão relacionadas à interação neutrônica entre o elemento de irradiação e o núcleo do reator. A metodologia de análise dos elementos de irradiação de grafita, de água e de berílio baseia-se em medir as características neutrônica (taxa de reação e reatividade) dos 3 elementos e compará-las. O elemento de irradiação que possuir a maior taxa de reação, menor gradiente e menor reatividade negativa é o melhor uma vez que as limitações de espaço é a mesma para todos.

Na Seção 3.1 são feitas algumas consideração sobre o conhecimento do fluxo de nêutrons em um reator, na Seção 3.2 é apresentada a metodologia adotada para se medir o fluxo de nêutrons e o seu gradiente nos elementos de irradiação e na Seção 3.3, a metodologia adotada para medida de reatividade negativa dos elementos de irradiação. Na Seção 3.4 descreve-se os experimentos realizados visando obter estes parâmetros.

### **3.1 Considerações gerais à respeito do fluxo de nêutrons produzidos por um reator nuclear**

O conhecimento da distribuição do fluxo de nêutrons em um reator é o primeiro passo para a determinação de outros parâmetros da física de reator, tais como: massa crítica, distribuição da densidade de potência, da temperatura e da queima de combustível, bem como é essencial para a otimização de projeto e utilização dos reatores.

### 3.1.1 Medida do fluxo de nêutrons

O comportamento do fluxo de nêutrons num reator nuclear, que envolve três variáveis espaciais, duas variáveis angulares, uma variável energética e uma variável temporal, é descrito pela chamada equação de transporte de nêutrons que dá o balanço do número médio de nêutrons em um elemento de volume do meio material em que consiste o reator [BERCKURTZ, WIRTZ, 1964].

A solução exata desta equação, só é possível em problemas idealizados e na prática procede-se a várias simplificações para se obter soluções aproximadas. As simplificações basicamente são: considerar os casos estacionários (eliminação da dependência temporal); a dependência angular é representada por séries infinitas nas quais são retidos apenas alguns termos ou é dividida discretamente; a dependência energética é dividida discretamente em grupos, onde se impõe que em cada intervalo de energia o fluxo é independente da mesma; na dependência espacial o número de variáveis é diminuído e/ou o espaço dividido em intervalos discretos.

Devido as simplificações e a complexidade provocada pela heterogeneidade do reator e a pouca precisão dos dados nucleares, principalmente seções de choque estes cálculos acarretam um erro considerável.

Para aumentar a confiabilidade desses cálculos, procede-se as medidas experimentais, que servem tanto para validar os cálculos como também de fontes de novos dados para seu aprimoramento.

Na literatura, pode-se encontrar trabalhos de medida da distribuição espacial do fluxo de nêutrons, com a finalidade de medir a distribuição de potência [MULLER, 1968], medir parâmetro de rede [CARTWRIGHT, McNIGHT, PICKERING, 1967], medir razões de fissão [COLLINSON, HIGHAM, ROWBOTHAM, 1967], medir o "buckling" material e raio extrapolado [PROGRESS REPORT, 1967/1968], calibrar sensores de potência [FOREMAN, HUBBARD, 1967], para confirmação de cálculos teóricos [COPPERSMITH, MEEM, 1966], [FLEISHER, PRICE, WALKER, 1965], [MULLER, 1968], [NAKAJIMA, TOJO, KONDO, 1968], [SRIVASTAVA, SAMPATHKUMAR, CHAUDHURI, IYER, 1974], [TARABELLA, 1968], [VAN HOWE, BROWN, 1968], [VERDANT, 1973] e inclusive testes pré-operacionais de reatores [INITIAL, 1967].

### 3.2 Medidas de fluxo de nêutrons nos elementos de irradiação

A detecção de nêutrons está intimamente ligada à detecção de partículas ionizantes. Como não é possível detectar nêutrons diretamente, porque estes não possuem carga elétrica, é necessário primeiramente provocar uma reação nuclear com os mesmos que resulta na emissão de partículas ionizantes, e estas por fim, são detetadas.

Para a experiência desenvolvida utilizando os nêutrons do reator, torna-se necessário o conhecimento do fluxo integrado de nêutrons em determinados intervalos de energia.

Para a produção de radioisótopos por reação  $(n,\gamma)$  é necessário o conhecimento do fluxo de nêutrons térmicos e intermediários enquanto que para estudos de danos por irradiação é mais importante o fluxo de nêutrons mais energéticos, os chamados nêutrons rápidos.

Com essas considerações, para a determinação de fluxo nos intervalos parciais de energia, deve-se conhecer a distribuição espectral dos nêutrons em cada intervalo e também selecionar os tipos de detetores que sejam sensíveis aos nêutrons com energias compreendidas na região de interesse.

A escolha do material a ser utilizado em certa região de energia (térmica, epitérmica e rápida) está baseado no comportamento da seção de choque do material em função da energia, que deve favorecer a ativação induzida especificamente por nêutrons dessa região de energia.

Para facilitar a manipulação das expressões de distribuição espectral, os nêutrons são comumente classificados em função da energia, da seguinte maneira:

**Nêutrons térmicos :** os reatores nucleares são as mais importantes fontes, nos quais esses nêutrons são aqueles que, após perder energia durante a moderação, atingem o equilíbrio térmico com os núcleos do meio. Apresentam uma distribuição de velocidades próxima a uma maxwelliana [BERCKURTZ, 1975], [HUGHES, 1953], [INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1970], abrangendo um intervalo de energia de  $10^{-4}$  eV a 1 eV.

**Nêutrons intermediários:** são os nêutrons que ainda se encontram no processo de moderação; estão nessa categoria os nêutrons com energias compreendidas no intervalo de 1 eV até 100 keV.

**Nêutrons rápidos:** são os nêutrons recém produzidos na fissão e que ainda não começaram o processo de moderação. Nêutrons rápidos são os nêutrons com energias entre 100 keV a 10 MeV.

As seções de choque dos materiais utilizados nas medidas do fluxo de nêutrons, em cada uma das três regiões de energia mencionadas devem além de favorecer a ativação induzida por nêutrons, especificamente de cada região de energia como mencionado, também, ter as seguintes características: na região térmica a seção de choque de captura deve ser grande e com comportamento predominantemente proporcional ao inverso da velocidade do nêutron ( $1/v$ ); na região intermediária a seção de choque de captura deve apresentar um pico de ressonância predominante e na região de nêutrons rápidos são empregados materiais que apresentam reações de limiar.

Os detetores de ativação, técnica adotada no presente estudo [PROFIO, 1976], consistem de pequenos discos, fios ou fitas de metais ou pastilhas de pó comprimido ou sinterizado que ao sofrerem reações nucleares com nêutrons produzem radioisótopos, de meia vida compreendida entre minutos e anos, podendo ser utilizado um grande número de elementos químicos. A atividade dos radioisótopos formados, que decaem emitindo radiações ionizantes (principalmente  $\beta$  e  $\gamma$ ) é determinada utilizando-se detetores de radiação, tais como: detetores a gás, cintiladores, semicondutores, etc. A medida da atividade esta diretamente relacionada com o número de reações que ocorreram com os nêutrons e pode ser determinada após a irradiação no campo de nêutrons, em um equipamento isolado do mesmo [BERCKURTZ, 1975], [PRICE, 1964].

O método utilizado, neste trabalho, para a medida de fluxo de nêutrons consiste na exposição de folhas de material estável (Au, In e Mo) a um fluxo de nêutrons durante certo tempo. Frequentemente as transmutações induzidas por nêutrons levam a produtos radioativos, cuja atividade absoluta pode ser utilizada para a medida de fluxo de nêutrons que induziu a radioatividade. Após a irradiação, mede-se a atividade absoluta da folha e calcula-se o fluxo de nêutrons.

O método de detetores de ativação permite escolher materiais diferentes para a irradiação, tornando possível realizar medidas de fluxo neutrônico em varias energias, possibilita a utilização de folhas de metal, pastilhas e fios de pequeno tamanho, evitando problemas de absorção de nêutrons no próprio detetor, e apresenta facilidades experimentais.

Sejam  $\phi(\mathbf{r}, E, t)$  o fluxo de nêutrons, dependente da posição no reator, ( $\mathbf{r}$ ), energia ( $E$ ) e do tempo ( $t$ ) e  $\Sigma(\mathbf{r}, E, t)$  a seção de choque macroscópica para uma determinada reação nuclear de uma amostra de volume  $V_a$ , localizada em algum ponto do reator e dependente da energia e tempo. A taxa de reação  $R(t)$  no instante  $t$  entre os nêutrons e a amostra é dada por:

$$R(t) = \int_0^{\infty} \int_{V_s} dE \, dr \, \Sigma(r, E, t) \, \phi(r, E, t) \quad (3.1)$$

Se a amostra a ser irradiada for folha ou fio de Au, In ou Mo, a reação de interesse é a de captura neutrônica. Como cada nêutron absorvido resulta na produção de um núcleo radioativo, a taxa de captura de nêutrons é igual a taxa de formação dos núcleos radioativos. Entretanto, se este núcleo formado for instável ele decai, transformando-se em outro nuclídeo. Seja  $\lambda$  a constante de desintegração do núcleo formado, então a taxa de variação de população  $N(t)$  de núcleos radioativos formados na amostra é dada por:

$$\frac{dN(t)}{dt} = R(t) - \lambda N(t) \quad (3.2)$$

A Eq. (3.2) governa o comportamento da população de átomos formados na amostra por ativação por nêutrons. Normalmente a amostra é irradiada no reator por um determinado período  $t_i$ . A irradiação é composta de duas fases distintas. Na primeira fase a amostra é colocada no reator estando este desligado ou com fluxo neutrônico desprezível. Para se chegar ao nível de fluxo neutrônico devido deve-se elevar a potência do reator até que se tenha o valor desejado nas posições de irradiação. Nesta fase, pode-se assumir que o comportamento de  $\phi(r, E, t)$  seja linear com o tempo do instante inicial até  $t_s$ , tempo final de subida do fluxo neutrônico, ou seja:

$$\phi(r, E, t) = \phi_{SI}(r, E) \frac{t}{t_s} \quad (3.3)$$

onde  $\phi_{SI}(r, E)$  é o fluxo neutrônico no instante  $t_s$ .

Na segunda fase a amostra é submetida a um nível de fluxo neutrônico elevado e constante ao longo do tempo, até sua finalização  $t_i$ .

Assim, a população de núcleos formados ao fim das duas etapas de irradiação, até o instante  $t_i$ , pode ser dada por:

$$N(t_i) = \int_0^{t_i} dt e^{-\lambda(t_i-t)} R(t)$$

ou

$$N(t_i) = \int_0^{t_i} dt e^{-\lambda(t_i-t)} R(t) + \int_{t_s}^{t_i} dt e^{-\lambda(t_i-t)} R(t) \quad (3.4)$$

A primeira integral na equação (3.4), correspondente ao período de elevação de potência, considerando a Eq. (3.3) e apenas termos de 2ª ordem, é dada por:

$$N(t_s) = \frac{R_s t_s}{2} \quad (3.5)$$

onde :

$$R_s = R(t_s) = \int_0^{\infty} dE \int_{V_s} dr \Sigma(r, E) \phi_{SI}(r, E) \quad (3.6)$$

Isto é plenamente aceitável porque a magnitude da população de núcleos alvos é muito grande, e para os tempos de irradiação considerados, que são pequenos, a variação desta é desprezível.

Na equação (3.4), a segunda integral, correspondente ao período de irradiação em potência constante entre  $t_s$  e  $t_i$ , pode ser obtida considerando-se  $R(t)$  constante e de valor  $R_s$ , assumindo-se que  $\Sigma(r, E, t)$  seja independente do tempo. Portanto, a população de núcleos formados na amostra, no instante  $t_i$ , é dada por;

$$N(t_i) = N(t_s) e^{-\lambda(t_i-t_s)} + \frac{R_s}{\lambda} (1 - e^{-\lambda(t_i-t_s)}) \quad (3.7)$$

Se  $t_i \gg t_s$  tem-se que a população de átomos formados atinge um valor máximo assintótico denominado,  $N(\infty)$  :

$$\lim_{t \rightarrow \infty} N(t) = \frac{R_s}{\lambda} = N(\infty) \quad (3.8)$$

Nestas condições a taxa de produção de átomos formados por ativação na amostra,  $R_s$ , iguala a taxa de desaparecimento dos átomos formados por decaimento radioativo,  $\lambda N(\infty)$ , ou atividade da amostra.

As Equações (3.8) e (3.1) permitem que se determine o fluxo de nêutrons que está ativando a amostra na segunda fase. A Eq. (3.1) pode ser escrita em termos do fluxo médio na amostra,  $\bar{\phi}_{SI}$ , isto é :

$$R_s = \int_0^{\infty} dE \int_{V_a} dr \Sigma(r, E) \phi_{SI}(r, E) = V_a \bar{\Sigma} \bar{\phi}_{SI} \quad (3.9)$$

onde

$$\bar{\phi}_{SI} = \frac{\int_{V_a} dr \int_0^{\infty} dE \phi_{SI}(r, E)}{\int_{V_a} dr} = \frac{\int_{V_a} dr \int_0^{\infty} dE \phi_{SI}(r, E)}{V_a} \quad (3.10)$$

é o fluxo médio na amostra e,

$$\bar{\Sigma} = \frac{\int_{V_a} dr \int_0^{\infty} dE \Sigma(r, E) \phi_{SI}(r, E)}{\int_{V_a} dr \int_0^{\infty} dE \phi_{SI}(r, E)} \quad (3.11)$$

é a seção de choque de ativação efetiva da amostra.

Utilizando as Equações (3.8) e (3.9) chega-se que:

$$\bar{\phi}_{SI} = \frac{\lambda N(\infty)}{V_a \bar{\Sigma}} \quad (3.12)$$

onde  $\lambda N(\infty)$  é a atividade da amostra irradiada que pode ser medida após a irradiação. Na prática, utilizam-se as Equações (3.7) e (3.9) para se obter o fluxo de nêutrons, uma vez que não se possa ter um tempo suficientemente

longo de irradiação, para desprezar o tempo de elevação de potência do reator e atingir atividade assintótica.

Os detalhes deste resultado e dos seguintes encontram-se no Apêndice A.

Para se obter taxas de reação nas faixas de energia térmica e epitérmica utilizou-se a técnica da cobertura de cádmio [BERCKURTZ,WIRTZ, 1964], [AXTON, 1963], [MESTNIK, 1979]. O cádmio tem uma seção de choque de absorção muito elevada para a faixa térmica e quase desprezível para a faixa epitérmica. Na prática utiliza-se o cádmio com o filtro porque sua seção de choque de absorção possui ressonância na energia próxima a 0,5 eV [STHEN, GOLDBERG, MAGURNO, WIENERCHASMAN, 1964], [BERCKURTZ,WIRTZ, 1964]. Este fato faz com que o cádmio seja um eficiente absorvedor de nêutrons térmicos e relativamente transparente a nêutrons epitérmicos. Supõe-se que o cádmio atue como um filtro ideal, ou seja, sua seção de choque de absorção seja infinita para  $E < E_{Cd}$  e zero para  $E \geq E_{Cd}$ , onde  $E_{Cd}$  é chamada de energia de corte do cádmio e depende das características físicas e nucleares do detector de ativação, bem como da espessura da cobertura de cádmio [BROWN, CONNOLY, 1966], [BERCKURTZ,WIRTZ, 1964].

Assim temos que na irradiação de uma amostra sem cobertura de cádmio há reações com nêutrons térmicos e epitérmicos, isto é:

$$R_T^{nua} = R_{Térmico} + R_{epitérmico} \quad (3.13)$$

onde  $R_{Total}^{nua}$  é a taxa de reação de nêutrons total na folha nua (sem cádmio),  $R_{térmico}$  é a taxa de reação de nêutrons térmicos e  $R_{epitérmico}$  é a taxa de reação de nêutrons epitérmicos.

Colocando-se cobertura de cádmio sobre a amostra esta absorve os nêutrons térmicos deixando somente que nêutrons epitérmicos atinjam a amostra. Assim;

$$R_{Total}^{Cd} = R_{epitérmico} \quad (3.14)$$

onde  $R_{Total}^{Cd}$  é a taxa de reação de nêutrons total com cobertura de cádmio.

Desta forma pode-se utilizar as Equações (3.13) e (3.14) para obter a taxa de reação de nêutrons térmicos:

$$R_{\text{t\u00e9rmico}} = R_{\text{Total}}^{\text{nua}} - R_{\text{Total}}^{\text{Cd}} \quad (3.15)$$

As medidas de ativa\u00e7\u00e3o de n\u00e9utrons realizadas neste trabalho buscam fornecer uma avalia\u00e7\u00e3o comparativa entre tr\u00eas tipos de elementos de irradia\u00e7\u00e3o. Neste caso n\u00e3o \u00e9 necess\u00e1rio se ter uma determina\u00e7\u00e3o absoluta do fluxo m\u00e9dio de n\u00e9utrons,  $\bar{\Phi}$ , ou da taxa de rea\u00e7\u00e3o,  $R_s$ , no detetor de ativa\u00e7\u00e3o mas, apenas, um valor relativo destas grandezas para fins de compara\u00e7\u00e3o. Os resultados das contagens dos detetores de ativa\u00e7\u00e3o, proporcionais as taxas de rea\u00e7\u00e3o nestes detetores, s\u00e3o utilizados nas an\u00e1lises comparativas do Cap\u00edtulo 4.

### 3.2.1 Detetores de ativa\u00e7\u00e3o

Os materiais empregados na medida de fluxo de n\u00e9utrons pelo m\u00e9todo de ativa\u00e7\u00e3o devem apresentar certas caracter\u00edsticas, a saber [CHARBONNEL, 1962], [LEME, 1970]: comportamento da se\u00e7\u00e3o de choque para n\u00e9utrons em fun\u00e7\u00e3o da energia adequado para uma determinada regi\u00e3o de interesse; forma\u00e7\u00e3o do radionucl\u00eddeo com esquema de desintegra\u00e7\u00e3o simples de modo a facilitar a determina\u00e7\u00e3o da atividade induzida; o material deve ser de f\u00e1cil manuseio de modo a possibilitar a obten\u00e7\u00e3o de folhas finas, para minimizar as poss\u00edveis perturba\u00e7\u00f5es que causam erros na medida do fluxo.

O tipo de detetor de ativa\u00e7\u00e3o a ser escolhido depende basicamente da regi\u00e3o do espectro de energia em que se deseja medir o fluxo de n\u00e9utrons, bem como das caracter\u00edsticas da irradia\u00e7\u00e3o (pot\u00eancia, tempo e localiza\u00e7\u00e3o) [LOOSEMORES, 1967], [INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY, 1974], [INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY, 1978], [SHIBATA, 1990].

A escolha do ouro como detetor de ativa\u00e7\u00e3o na regi\u00e3o t\u00e9rmica do espectro se deve ao fato deste ser considerado um nucl\u00eddeo padr\u00e3o, e se conhecer muito bem os par\u00e2metros envolvidos na determina\u00e7\u00e3o absoluta do fluxo de n\u00e9utrons t\u00e9rmicos. J\u00e1, pela t\u00e9cnica da raz\u00e3o de c\u00e1dmio pode-se determinar o fluxo de n\u00e9utrons epit\u00e9rmicos.

A escolha do \u00cdndio se deve ao fato dele, entre os detetores da faixa r\u00e1pida do espectro, apresentar menor energia limiar e dados nucleares conhecidos. Apresenta a inconveni\u00eancia de apresentar rea\u00e7\u00f5es com n\u00e9utrons t\u00e9rmicos, que pode ser compensado cobrindo a folha com c\u00e1dmio, ou pela diferen\u00e7a dos tempos de decaimento entre o  $^{116}\text{In}$  (54 minutos), formado pela

interação com os nêutrons térmicos e o  $^{115}\text{In}$  (4,5 horas), formado pela interação com os nêutrons rápidos.

As escolhas de fios de Molibdênio é mais óbvia pois o óxido de molibdênio é o material alvo na produção de  $^{99}\text{Mo}$ . As Tabelas 3.1 e 3.2 apresentam algumas características dos detectores de ativação utilizados neste trabalho.

As medidas de fluxo e de espectro de energia dos nêutrons por ativação se fazem através da contagem da atividade induzida nos detectores de ativação. As medidas de atividade neste trabalho são realizadas utilizando-se detectores do tipo cintilação NaI(Tl), e semicondutores de alta pureza, HPGe.

Os detectores de NaI apresentam uma eficiência global de contagem superior aos HPGe, o que os tornam indicados para a espectrometria gama.

**Tabela 3.1 – Características físicas dos materiais utilizados como detector de ativação no Reator IEA-R1m.**

Material Folha / Cobertura	Diâmetro (mm)	Tempo de Irradiação (min)
Au	7,80	30
Au / Cd	8,30	30
In / Cd	12,95	30
Mo (fio)	0,50	30
Mo / Cd (fio)	0,50	30
MoO <sub>3</sub> (pó)	-----	1440
Al dopado c/ Au	11,0	60

**Tabela 3.2 – Características nucleares dos materiais utilizados como detector de ativação no Reator IEA-R1m.**

Elemento	Abundância isotópica (%)	Seção de choque de ativação térmica (Barns)	Isótopo	Meia vida T <sub>1/2</sub>	Energia (keV)
Índio	$^{115}\text{In}$ (95,7)	0,160 ± 2	$^{116m}\text{In}$	4,5 hs	850
Molibdênio	$^{98}\text{Mo}$ (99,945)	0,130 ± 0,006	$^{99}\text{Mo}$	66,0 hs	141
Ouro	$^{197}\text{Au}$ (100)	98,5 ± 0,4	$^{198}\text{Au}$	64,68 hs	411,80

Fonte: Nêutrons Fluence Measurements-Technical Report Séries n. 107 - Olga Y. Mafra [INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1976],[ KOMPANEK, TARNUZZER, 1962]

Neste trabalho a maioria das medidas foram realizadas na bancada de NaI(Tl), localizada no Reator IPEN/MB-01, devido esta apresentar uma maior eficiência global, uma característica mais adequada para medidas integrais de ativação de amostras puras.

### **3.2.2 Dispositivos especiais para as medidas de taxa de reação nos irradiadores**

Para possibilitar a irradiação de folhas de ativação no núcleo do Reator IEA-R1, foi preciso confeccionar suportes de alumínio que pudessem ser colocados dentro das cápsulas padrão, de modo que as folhas ficassem fixas durante a irradiação. A Figura 3.1 mostra uma cápsula padrão utilizada para irradiação no Reator IEA-R1m. Trata-se de um cilindro de alumínio de 0,5 mm de espessura, 22 mm de diâmetro e 70 mm de altura, com tampa tipo rolha que penetra 5 mm dentro do cilindro.

Dois suportes de alumínio cilíndricos de diâmetros diferentes foram confeccionados para possibilitar a fixação das folhas de ativação. A figura 3.2 mostra, esquematicamente, a geometria utilizada nestas irradiações. O cilindro interno tem diâmetro de 5 mm e o cilindro intermediário tem diâmetro de 11 mm. A Figura 3.2 indica as posições radiais em que foram fixadas as folhas de ativação. Foram utilizadas 3 folhas de ativação sendo que cada folha tem diâmetro de 13 mm e foram fixadas da seguinte forma: a folha identificada por A foi posicionada do lado externo da cápsula padrão com fita adesiva e as folhas identificadas por B e J foram fixadas nos cilindros internos. Posteriormente, a cápsula foi preenchida com MoO<sub>3</sub> (pó) e em seguida soldada e testada quanto a sua estanqueidade, [MANUAL DE OPERAÇÃO DO REATOR IEA-R1m, 1995].

Para a irradiação dos fios de molibdênio, Figura 3.3, o procedimento foi da seguinte forma: foram cortados 4 pedaços de aproximadamente 1 cm de fio de molibdênio, o fio identificado como 1 na Figura 3.3, foi fixado do lado externo da cápsula padrão com fita adesiva, o fio 4 posicionado no centro da amostra e os fios 2 e 3 espaçados igualmente. Os fios internos foram colocados dentro de tubos de plásticos para garantir sua localização geométrica e possibilitar melhor identificação quanto a sua posição.

Para proceder a irradiação do fio de Molibdênio (60 cm), foi preciso confeccionar uma chapa de lucite de 4 cm largura, Figura 3.4, com um pequeno chanfro ( $\cong$  3 mm) ao longo do seu comprimento, de maneira que o

fio de molibdênio e o fio de molibdênio com cádmio fossem fixados de maneira segura. Em seguida, o arranjo foi colocado dentro de um EIRA e posicionado no núcleo do reator dentro do elemento de irradiação de berílio.

Na Figura 3.5 é apresentado um esquema de como as folhas de ouro, índio e ouro com cádmio foram fixadas no suporte de alumínio de 70 mm de altura por 0,5 mm de espessura. Neste suporte foi feita uma cavidade de aproximadamente 9 mm de diâmetro na região central onde foram fixadas as folhas. Neste caso as cápsulas são colocadas nos EIRA's, sem tampa, e depois para os elementos de irradiação no núcleo do reator.

Todos os dispositivos construídos para este experimento foram utilizados em medidas com nível de potência de 20 kW, tempo de irradiação não superior a 60 minutos e com o circuito primário de refrigeração desligado. A temperatura da água da piscina durante as operações foi mantida em torno de 28 °C, [RELATÓRIO DE ANÁLISE DE SEGURANÇA, 1991].

### **3.2.3 Procedimento experimental adotado para as contagens das folhas/fios**

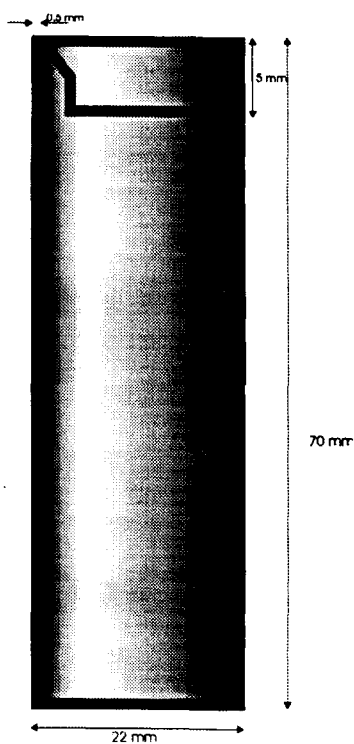
O procedimento adotado para medida de ativação das folhas/fios, concluída a irradiação, é:

- Monitoração, realizada pela equipe de Proteção Radiológica do reator, para liberação do material ativado (folhas);
- Transporte do material ativado para o laboratório, instalado nas dependências do reator IPEN/MB-01, onde são realizadas as medidas;
- Selagem, em envelopes plásticos, do material ativado, previamente identificado;
- Acondicionamento do material, já selado, dentro de tubos de ensaios para evitar contaminação do sistema de contagem; e
- Montagem e calibração em energia do arranjo eletrônico.

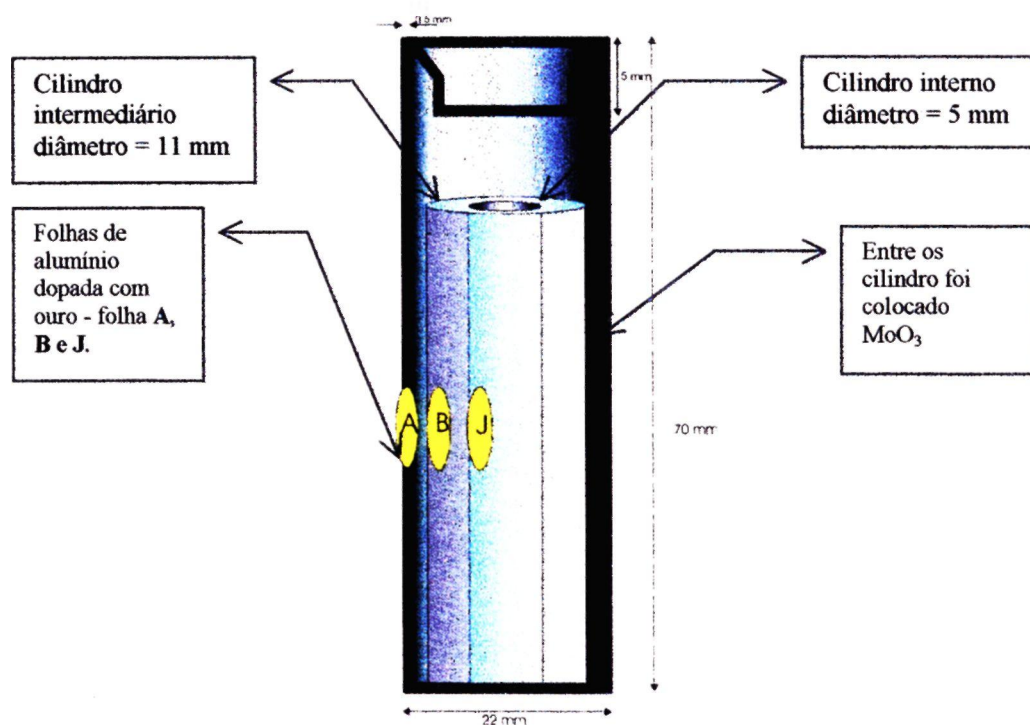
Cumprindo-se todos esses itens, inicia-se as contagens sistemáticas das folhas/fios, realizando-se análises de espectrometria gama num microcomputador IBM-PC, através de um programa fornecido pela ORTEC. A contagem líquida integrada ao longo do tempo deve ser superior a 10.000 contagens, a fim de se obter uma boa estatística.

A Figura 3.6 apresenta o diagrama de blocos do arranjo experimental utilizado para medida de ativação via captura. Na Figura 3.7 é

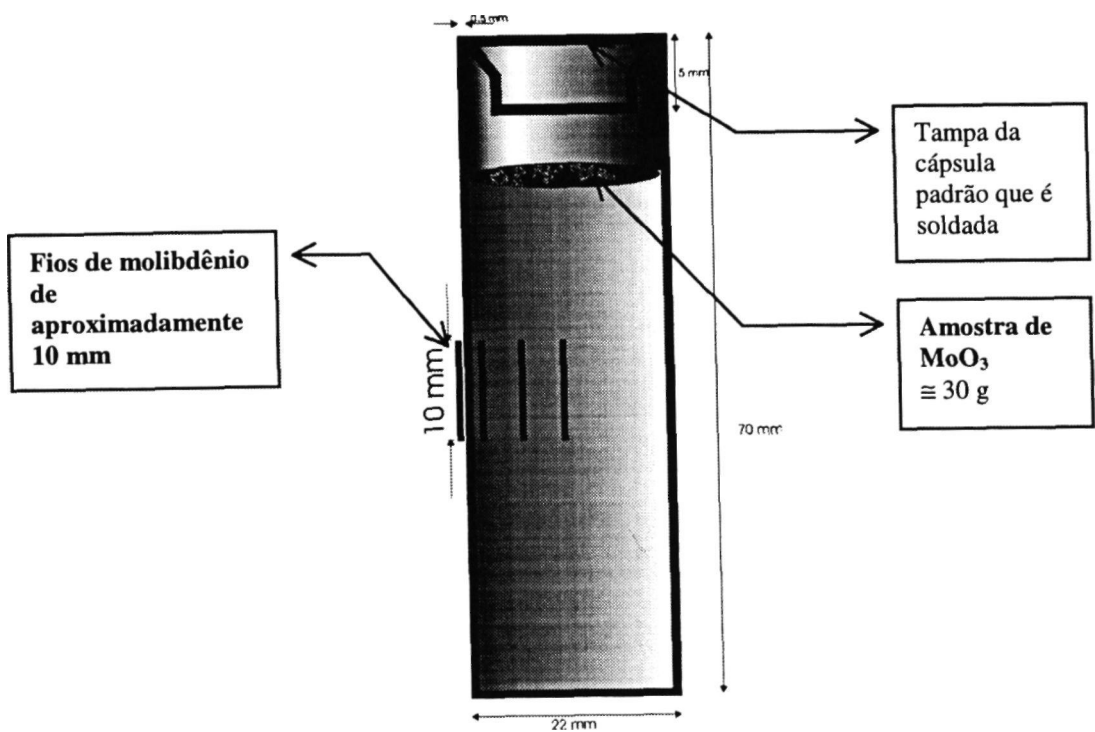
possível visualizar como estão dispostos estes equipamentos, no laboratório de contagem do reator IPEN/MB-01.



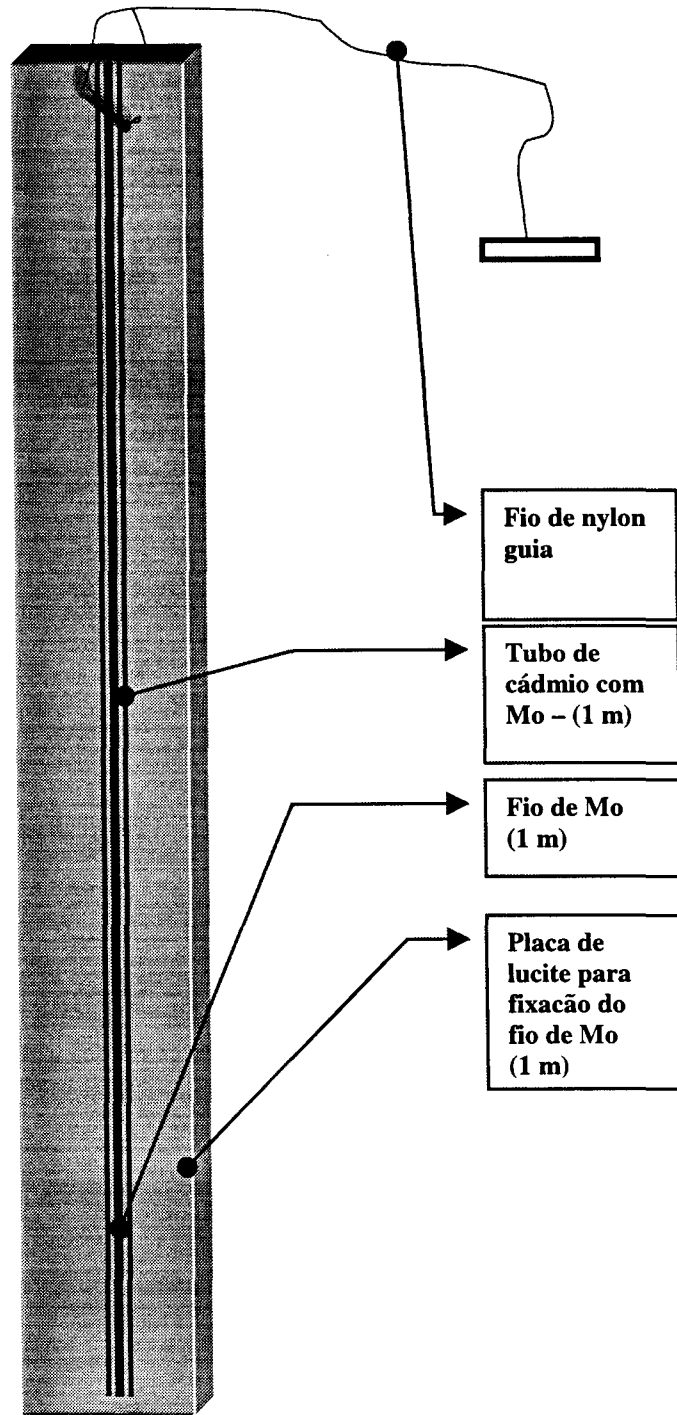
**Figura 3.1 – Cápsula padrão de alumínio.**



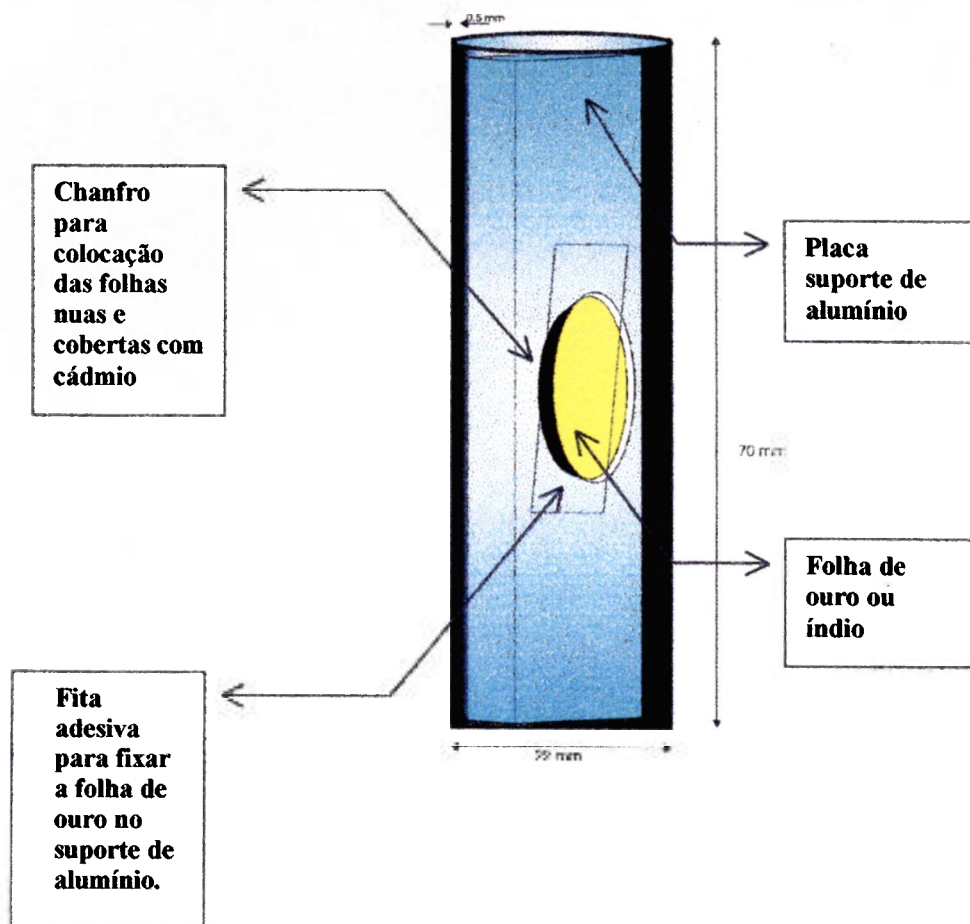
**Figura 3.2 - Esquema de como foi montada a cápsula padrão para medida de taxa de reação radial dentro da amostra com folhas de alumínio dopadas com ouro.**



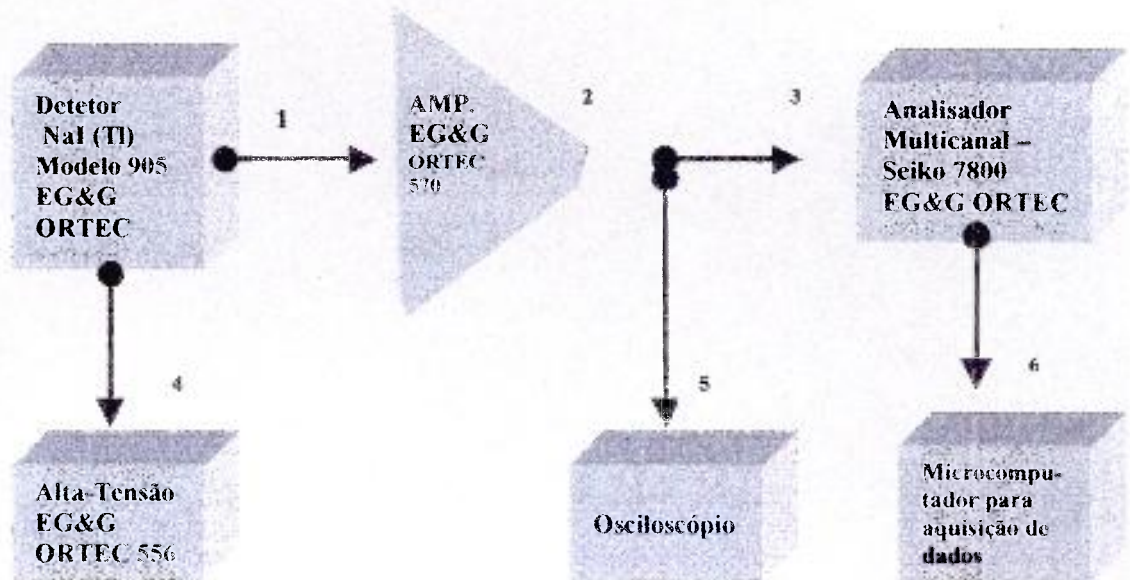
**Figura 3.3 - Esquema referente a montagem da cápsula padrão utilizada para medida de taxa de reação radial dentro da amostra com fios de molibdênio (unidade em milímetro e centímetro).**



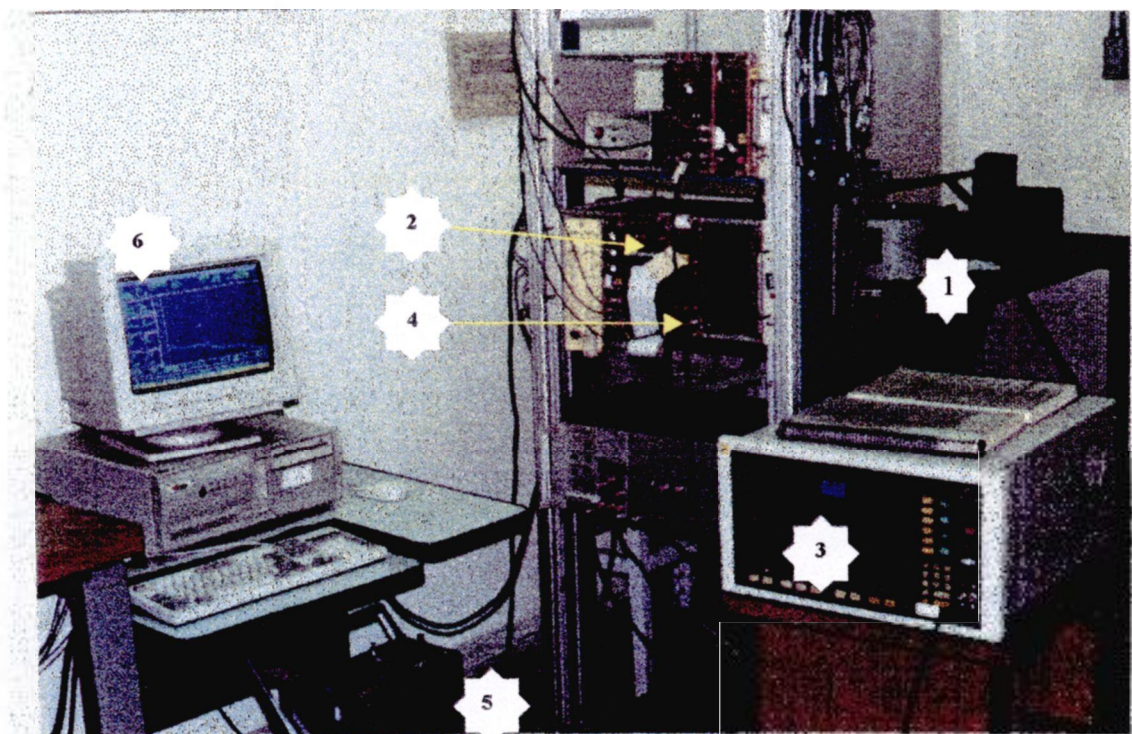
**Figura 3.4 – Dispositivo de lucite para irradiação de fios de molibdênio (unidade em metro – m).**



**Figura 3.5 - Esquema da cápsula padrão referente a montagem das folhas de ouro/índio (unidade em milímetro).**



**Figura 3.6 – Diagrama de bloco do arranjo experimental utilizado para medida de ativação via captura.**



**Figura 3.7 – Laboratório de contagem do Reator IPEN/MB-01.**

### **3.3 Medida de reatividade dos elementos de irradiação**

A colocação de um elemento de irradiação no núcleo do reator, produz um decréscimo no seu excesso de reatividade. Esse decréscimo de reatividade implica que o ciclo de operação da configuração será reduzida. Quanto a capacidade de desligamento do reator, deve-se garantir que a alteração promovida no núcleo não altere o valor de reatividade das barras de controle/segurança de forma a impedir o desligamento do reator com segurança. Quanto ao controle do reator deve-se garantir que não haja alteração na reatividade diferencial das barras de forma a inserir reatividade em taxas inadequadas.

Para verificar esses parâmetros é necessário conhecer os valores de reatividade diferencial e integral das barras de controle nas novas configurações do reator. Os valores de reatividade de barra são dependente da configuração do reator, pois varia com a quantidade de combustível no reator, nível de queima, materiais absorvedores, temperatura, etc. As alterações promovidas pela colocação de um elemento de irradiação são na quantidade de combustível e materiais absorvedores.

Os efeitos de reatividade introduzidos no reator devido inserção de um elemento de irradiação são determinados utilizando-se a técnica de compensação de reatividade. Fixa-se uma configuração de referência na qual o elemento de irradiação está ausente. Uma segunda configuração é estabelecida com o elemento de irradiação presente numa posição determinada, substituindo um elemento combustível ou elemento refletor. Devido a diferença de reatividade entre o elemento de irradiação e o elemento de combustível ou refletor, a criticalidade do reator é obtida com as barras absorvedoras de controle em uma posição diferente, normalmente mais retirada e a reatividade introduzida pela substituição dos elementos é compensada pela retirada das barras absorvedoras no núcleo. Vale salientar que quando as barras absorvedoras estão totalmente inseridas no núcleo do reator considera-se este desligado, ou seja, potência zero.

As medidas de reatividade no reator, são feitas utilizando-se a equação de Inhour [DUDERSTADT, HAMILTON, 1972], comentadas na Seção 3.3.1. Na Seção 3.3.2 fala-se das medidas de reatividade diferencial e integral de barras de controle/segurança.

### 3.3.1 Medida de reatividade pela técnica do período estável

A medida de reatividade inserida no reator devido a uma movimentação da barra de controle, ou qualquer outra perturbação, pode ser feita por meio da solução da equação de cinética inversa [DUDERSTADT, HAMILTON, 1972], que pode ser escrita como;

$$\rho(t) = \beta + \frac{\Lambda}{n(t)} \frac{dn(t)}{dt} - \frac{1}{n(t)} \sum_{i=1}^6 \lambda_i \beta_i \int_{-\infty}^t n(t') e^{-\lambda_i(t-t')} dt' \quad (3.16)$$

onde

- $\rho(t)$  - é a reatividade em função do tempo;
- $\Lambda$  - é o tempo de geração dos nêutrons prontos (s);
- $\beta_i$  - é a fração efetiva de nêutrons atrasados do i-ésimo grupo;
- $\beta = \sum_{i=1}^6 \beta_i$  - é a fração efetiva de nêutrons atrasados total;
- $n(t)$  - é a população neutrônica do reator

Para se medir a reatividade, toma-se  $n(t)$  (como função de "excitação" na Eq. 3.16). A resposta de um detetor que esteja monitorando esta variável no reator é proporcional a  $n(t)$  e pode ser utilizada na Eq. 3.16. Um sistema que realize a aquisição de sinal do detetor neutrônico e resolva a Eq. 3.16 em tempo real constitui-se um medidor de reatividade ou reatímetro [DUDERSTADT, HAMILTON, 1972], [YAMAGUCHI, SANTOS, 1995].

A técnica de medida de reatividade por período estável consiste em se esperar um tempo suficientemente longo após cessar a perturbação no reator. Uma vez que a perturbação no reator, isto é, a movimentação da barra, cessa, a reatividade introduzida no reator estabiliza-se no valor correspondente à perturbação. Após, este tempo suficientemente longo, as exponenciais mais rápidas que compõem a solução da equação de cinética pontual decaem permanecendo apenas a mais longa, de cerca de 60 s,

$$n(t) \equiv a_0 e^{\omega_0 t} \quad (3.17)$$

onde  $\omega_0$  é chamado de inverso do período estável da potência do reator. Substituindo a Eq. 3.17 na Eq. 3.18 e resolvendo a integral obtém-se;

$$\rho(\omega_0) = \Lambda\omega_0 + \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i \omega_0}{\omega_0 + \lambda_i} \quad (3.18)$$

que fornece a reatividade em função de  $\omega_0$ . Esta equação é conhecida como "Inhour" [DUDERSTADT, HAMILTON, 1972], pois para o inverso do período estável ( $\omega_0$ ) era medido em unidade de inverso de hora ( $\text{h}^{-1}$ ). O inverso do período estável é obtido para cada movimentação de barra de controle, monitorando-se a potência do reator em função do tempo com uma câmara de ionização. Após esperar cerca de 2 minutos, depois de cessar a movimentação, para se atingir a condição de período estável, anota-se o valor da corrente da câmara de ionização denominado valor inicial. Quando a corrente, que monitora a potência, atinge um valor duas vezes o valor inicial (valor de corrente correspondente à potência de trabalho normalmente 100W), anota-se novamente o tempo e determina-se o chamado tempo de dobramento da potência do reator, ( $t_d$ ).

O inverso do período estável é determinado a partir de,

$$\omega_0 = \frac{\ln 2}{t_d} \quad (3.19)$$

### **3.3.2 Medida de reatividade integral e diferencial das barras de controle**

A técnica para obter as reatividades diferencial e integral das barras de controle consiste em provocar pequenos transientes de potência, movimentando-se a barra de controle. Anota-se o tempo de dobramento do nível de potência e, utilizando-se a equação de Inhour, obtêm-se a reatividade,  $\Delta\rho$ , inserida no reator devido ao deslocamento  $\Delta z$  na posição da barra.

A razão  $\Delta\rho/\Delta z$  é tomada como a reatividade diferencial da barra no seu ponto médio de deslocamento. A soma das reatividades  $\Delta\rho$  para cada movimentação de barra até o ponto  $z$  é tomada como a reatividade integral da barra no ponto  $z$ .

Com as curvas de calibração de barra [MANUAL DE OPERAÇÃO DO REATOR IEA-R1m, 1990] para cada mudança de configuração realizada, em cada uma das três etapas, podemos determinar o excesso de reatividade do núcleo e conseqüentemente o impacto que os elementos de irradiação causam quando são colocados em determinadas posições da placa matriz.

### **3.4 Descrição dos experimentos realizados**

A Tabela 3.3, resume as três etapas experimentais e seus respectivos propósitos. Os experimentos tipo A levantaram a distribuição de taxa de reação axial ao longo dos irradiadores e os experimentos tipo R levantaram a taxa de reação e o gradiente de taxa de reação dentro das cápsulas de irradiação para os diversos irradiadores. Duas posições de irradiação no reator foram consideradas: a posição 45 da Placa Matriz, indicada na Figura 3.8, e a posição 65 da Placa Matriz indicada na Figura 3.9. A posição 65 é central e corresponde ao maior nível de fluxo neutrônico. Todos os experimentos foram realizados à potência de 20 kW. Nesta potência, não há necessidade do sistema de resfriamento do núcleo (a qual facilita a colocação das amostras no núcleo com segurança), não há produção de xenônio a níveis que perturbem as medidas e posicionamento das barras absorvedoras, não há grandes variações de temperatura no núcleo e não há uma ativação excessiva das amostras colocadas no núcleo.

As Figuras 3.8 a 3.11 mostram a situação do núcleo do reator, quando as experiências foram realizadas, e o posicionamento dos elementos de irradiação de berílio, grafita e água durante as medidas.

Nos mapeamentos de fluxo nos elementos de irradiação, adotou-se os seguintes cuidados experimentais: para garantir as mesmas condições de irradiação procurou-se inserir no núcleo a mesma massa de ouro, cádmio e molibdênio, de tal forma que, a reatividade negativa inserida fosse compensada pela retirada de um mesmo comprimento de barra de controle em todas as operações de irradiação; a monitoração da potência do reator foi feita através da medida do sinal de corrente da câmara de ionização compensada (CIC) do canal linear. A corrente obtida para as 3 etapas foi de  $0,55 \times 10^{-6}$  A que corresponde a 20 kW.

As 3 etapas correspondem a 3 mudanças de configuração do reator.

O experimento constou de 4 fases distintas: 1) carregamento do núcleo do reator para atingir o excesso de reatividade de no máximo 4800 pcm, 2)

calibração digital das barras de controle e segurança, 3) medida do valor das barras de controle e segurança e excesso de reatividade e 4) operação do reator em 20 KW, para irradiação das folhas e fios de ativação nos diferentes elementos de irradiação [MANUAL DE OPERAÇÃO DO REATOR IEA-R1m, 1989].

### **3.4.1 Primeira Etapa**

Na primeira etapa o EIBe, foi colocado na posição 45 da placa matriz, na configuração 184, com mostra a Figura 3.8.

Na etapa denominada de A1, foram irradiadas 8 folhas de ouro no canal A e 8 folhas de ouro no canal B, sem cádmio, para a determinação da taxa de reação total. Na etapa denominada de A2, irradiou-se 8 folhas de ouro cobertas cádmio no canal A e 8 folhas de ouro cobertas cádmio no canal B, para a determinação da taxa de reação epitérmica. Para a determinação da taxa de reação devido aos nêutrons rápidos, etapa denominada de A3, irradiou-se 8 folhas de índio cobertas com cádmio no canal A e 8 folhas de índio cobertas com cádmio no canal B. As folhas foram colocadas, conforme Figura 3.5, para determinação da taxa de reação axial ao longo do elemento de irradiação de berílio (Figura 2.6) e montadas sobre um suporte de alumínio retangular (70 x 4 mm) com uma cavidade central para alojamento das folhas e colocadas dentro da capsula padrão sem tampa, num total de 32 folhas irradiadas.

No experimento, denominado de R1, fez-se medidas da taxa de reação dentro da cápsula de irradiação utilizando-se folhas de alumínio dopadas com ouro, denominadas A, B e J, conforme a Figura 3.2, fixadas de maneira a manter sua posição e geometria. A folha A foi fixada do lado externo da cápsula padrão, a folha B a aproximadamente 5 mm da parede da cápsula padrão e a folha C foi colocada próxima ao centro da cápsula padrão. Entre os cilindros concêntricos foram colocados aproximadamente 30 g de  $\text{MoO}_3$  (p6) e irradiado por 60 minutos na prateleira 6 do Elemento de Irradiação Refrigerado a Água (EIRA), Figura 2.5. Esta medida visa determinar a depressão que o fluxo sofre na amostra.

### **3.4.2 Segunda Etapa**

Na segunda etapa colocou-se o EIBe na posição 65, posição central. A Figura 3.9, mostra a configuração 186 do reator com o EIBe entre as 4 barras de controle.

Na etapa denominada de A4, irradiou-se 8 folhas de ouro no canal A e 8 folhas de ouro cobertas com cádmio no canal A, com a finalidade de obter-se a taxa de reação total e epitérmica. As folhas foram colocadas, conforme Figura 3.5, para determinação do fluxo axial ao longo do EIBe e montadas sobre um suporte de alumínio retangular (70 x 4 mm), com uma cavidade central para alojamento das folhas, e colocadas dentro da capsula padrão sem tampa, num total de 16 folhas.

Na etapa A5, visando determinar a taxa de reação do Mo ao longo do elemento de irradiação, foram irradiados, 2 fios de molibdênio com diâmetro igual a 0,05 cm e aproximadamente 1 m de comprimento, da seguinte forma: um fio foi colocado no canal A do EIBe fixado num suporte de lucite (Figura 3.4), e dentro da parte externa do EIRA e um segundo fio, da mesma forma, foi colocado no canal B. O EIRA é uma estrutura cilíndrica de alumínio composta de um tubo externo e um tubo interno, onde são alojadas as cápsulas padrão com 8 prateleiras, ver Figura 2.5, nesta figura o EIRA esta colocado dentro do EIA e o EIRA aparece em corte.

Na etapa A6, foram feitas irradiações semelhantes, com os fios de Mo cobertos com Cd colocados nos canais A e B.

Para medida do fluxo neutrônico dentro da cápsula, etapa R2, utilizou-se folhas de alumínio dopadas com ouro, denominadas A, B e J, conforme a Figura 3.2, fixadas da seguinte forma: a folha A foi fixada do lado externo da cápsula padrão, a folha B a aproximadamente 5 mm da parede da cápsula padrão, e a folha C foi posicionada próxima a centro da cápsula padrão. Entre os cilindros concêntricos foram colocados aproximadamente 30 g de  $\text{MoO}_3$  (pó). A irradiação durou 60 minutos na posição 6 do Elemento de Irradiação Refrigerado a Água (EIRA).

### **3.4.3 Terceira Etapa**

Na terceira e última etapa os elementos de irradiação, Figura 2.4, 2.5 e 2.6, foram colocados na posição central, 65 da placa matriz, configuração 190, Figura 3.9, 3.10 e 3.11.

Na etapa A7, o EIBe foi colocado na posição 65 e realizou-se as seguintes irradiações: 8 folhas de ouro no canal A e 8 folhas de ouro cobertas com cádmio no canal A. Na etapa A8, o EIA foi colocado na posição 65 e realizou-se as seguintes irradiações: 8 folhas de ouro no canal A e 8 folhas de ouro cobertas com cádmio no canal A. Na etapa A9, o EIGRA foi colocado na posição 65 e realizou-se as seguintes irradiações: 8 folhas de ouro no canal A e 8 folhas de ouro cobertas com cádmio no canal A, nesta etapa, as cápsulas são irradiadas na posição horizontal.

Para a determinação da depressão da taxa de reação dentro da cápsula, Figura 3.3, etapas denominadas de R3, R4 e R5, respectivamente EIBe, EIA e EIGRA, irradiou-se fios de Mo, de aproximadamente 1 cm. Nove cápsulas padrão com aproximadamente 30g de  $\text{MoO}_3$  cada, foram preparadas. Em cada cápsula introduziu-se 4 fios de Mo sendo um fio na parte externa da cápsula padrão e os outros três na parte de dentro com um na posição central da cápsula.

**Tabela 3.3 – Síntese dos experimentos realizados nos três elementos de irradiação do Reator IEA-R1m**

NOME	LOCAL	DESCRIÇÃO	PROPÓSITO
<b>Primeira Etapa</b>			
A1	EIBe na posição 45	Irradiação de 8 folhas de Au no canal A. Irradiação de 8 folhas de Au no canal B.	Levantamento da taxa de reação total.
A2	EIBe na posição 45	Irradiação de 8 folhas de Au cobertas com Cd no canal A. Irradiação de 8 folhas de Au cobertas com Cd no canal B.	Levantamento da taxa de reação epitérmica.
A3	EIBe na posição 45	Irradiação de 8 folhas de In cobertas com Cd no canal A. Irradiação de 8 folhas de In cobertas com Cd no canal B.	Levantamento da taxa de reação rápida.
R1	EIBe na posição 45	Irradiação de folhas de Al dopadas com Au.	Levantamento da depressão de fluxo dentro da cápsula de irradiação padrão contendo MoO <sub>3</sub> .
<b>Segunda Etapa</b>			
A4	EIBe na posição 65	Irradiação de 8 folhas de Au no canal A. Irradiação de 8 folhas de Au cobertas com Cd no canal A.	Levantamento da taxa de reação total e epitérmica no canal A do EIBe em posição no centro do reator
A5	EIBe na posição 65	Irradiação do fio de Mo no canal A. Irradiação do fio de Mo no canal B.	Levantamento da taxa de reação no Mo ao longo do EIBe.
A6	EIBe na posição 65	Irradiação do fio de Mo coberto com Cd no canal A. Irradiação do fio de Mo coberto com Cd no canal B.	Levantamento da taxa de reação epitérmica no Mo ao longo do EIBe.
R2	EIBe na posição 65	Irradiação de folhas de Al dopadas com Au em cápsula padrão.	Levantamento da taxa de reação dentro da cápsula de irradiação padrão contendo MoO <sub>3</sub> .
<b>Terceira Etapa</b>			
A7	EIBe na posição 65	Irradiação de 8 folhas de Au no canal A. Irradiação de 8 folhas de Au cobertas com Cd no canal A.	Levantamento da taxa de reação total e epitérmica na posição central do reator.
A8	EIA na posição 65	Irradiação de 8 folhas de Au no canal A. Irradiação de 8 folhas de Au cobertas com Cd no canal A.	Levantamento da taxa de reação total e epitérmica na posição central do reator.
A9	EIGRA na posição 65	Irradiação de 8 folhas de Au no canal A. Irradiação de 8 folhas de Au cobertas com Cd no canal A.	Levantamento da taxa de reação total e epitérmica na posição central do reator.
R3	EIBe na posição 65	Irradiação de fios de Mo em cápsula padrão – prateleiras 5, 6 e 7.	Levantamento da depressão de fluxo dentro da cápsula de irradiação padrão contendo MoO <sub>3</sub> .
R4	EIA na posição 65	Irradiação de fios de Mo em cápsula padrão – prateleiras 5, 6 e 7.	Levantamento da depressão de fluxo dentro da cápsula de irradiação padrão contendo MoO <sub>3</sub> .
R5	EIGRA na posição 65	Irradiação de fios de Mo em cápsula padrão – prateleiras 5, 6 e 7.	Levantamento da depressão de fluxo dentro da cápsula de irradiação padrão contendo MoO <sub>3</sub> .

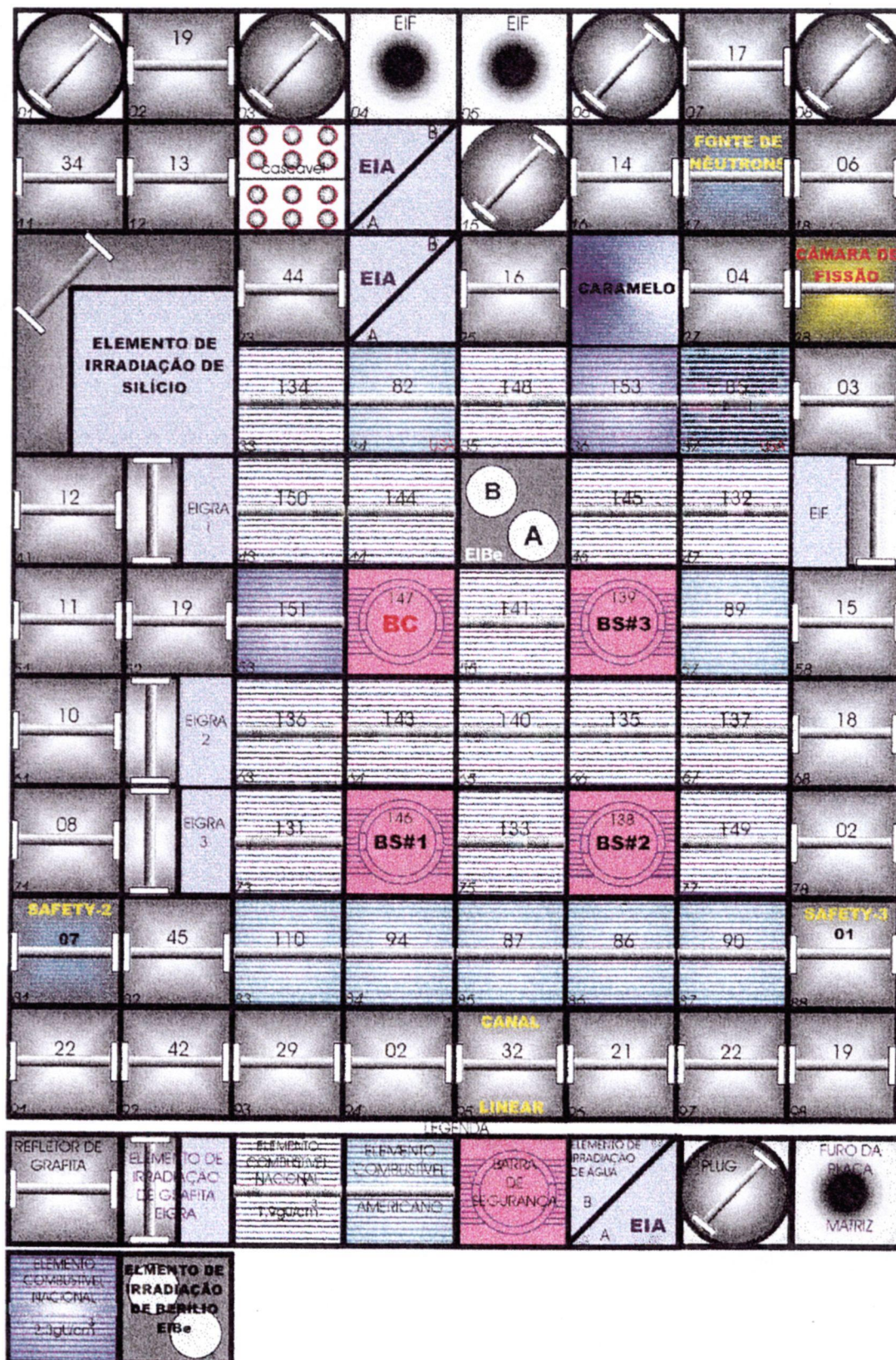


Figura 3.8 – Arranjo do núcleo do Reator IEA-R1m – configuração 184 com o EIBe na posição 45 da placa matriz – 1ª. Etapa

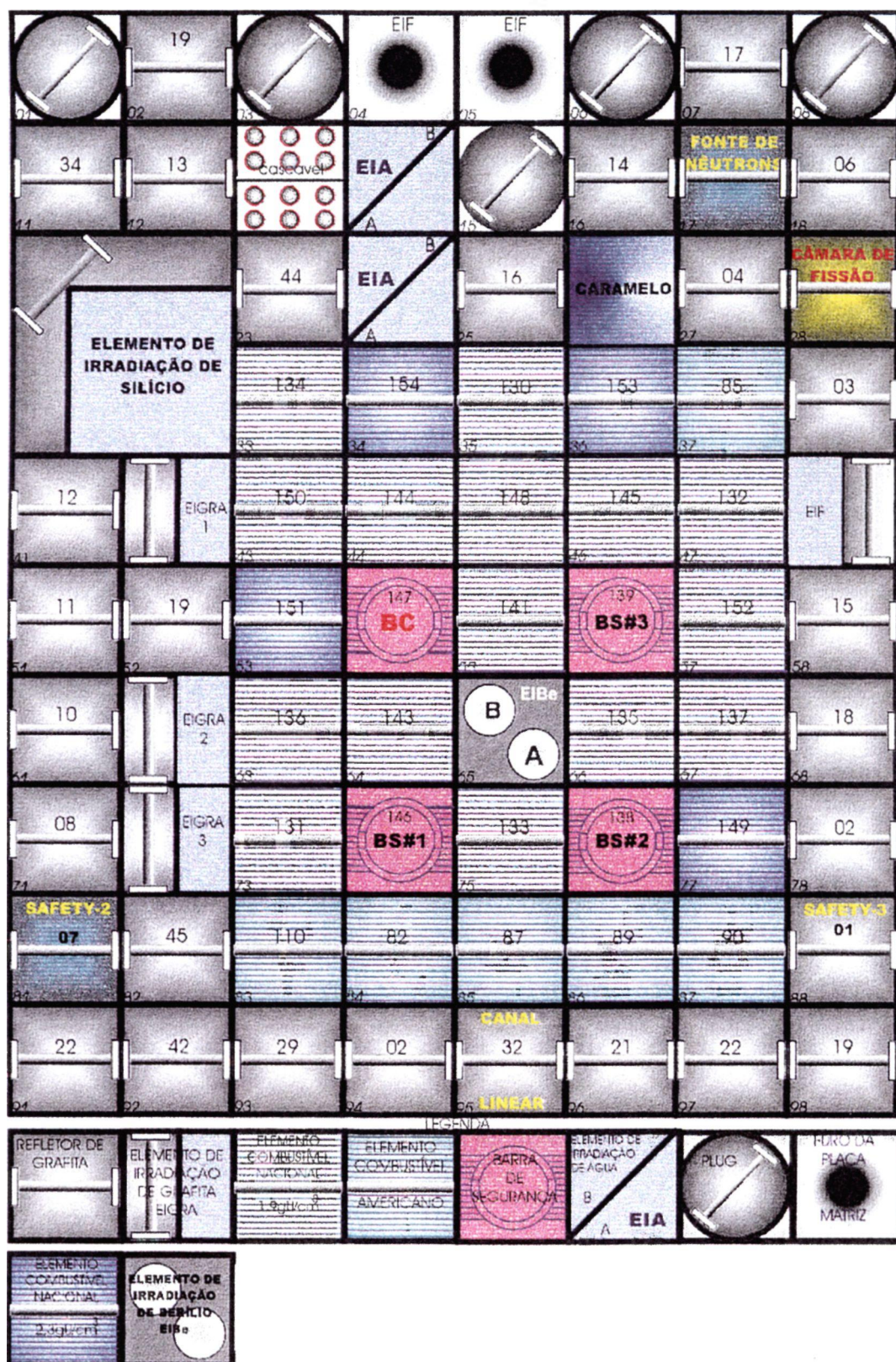


Figura 3.9 – Arranjo do núcleo do Reator IEA-R1m – configuração 190 com o EIBe na posição 65 da placa matriz – 2.<sup>a</sup> e 3.<sup>a</sup> Etapa.

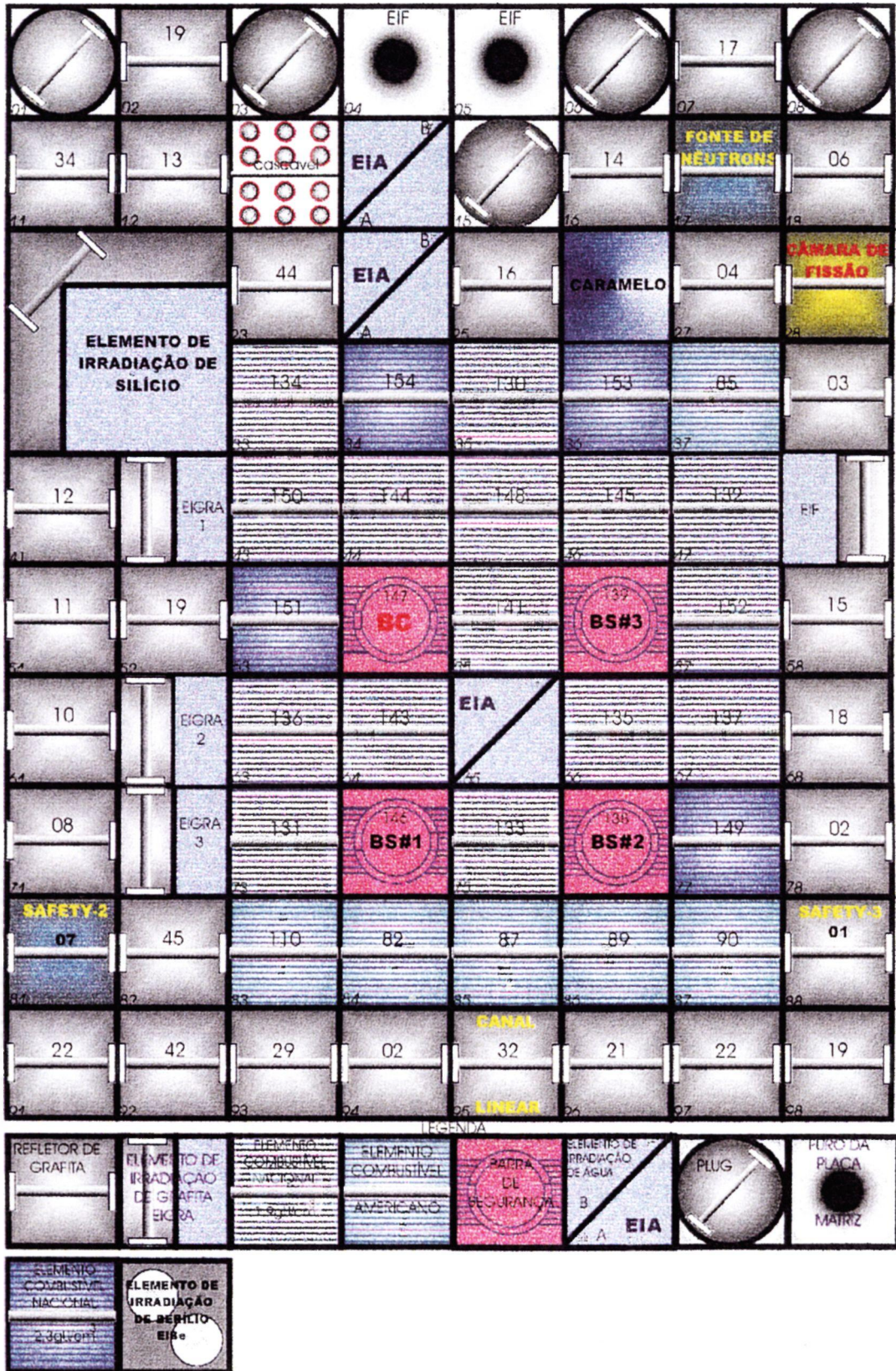


Figura 3.10 – Arranjo do núcleo do Reator IEA-R1m, configuração 190 com o EIA na posição 65 da placa matriz – 3ª. Etapa.

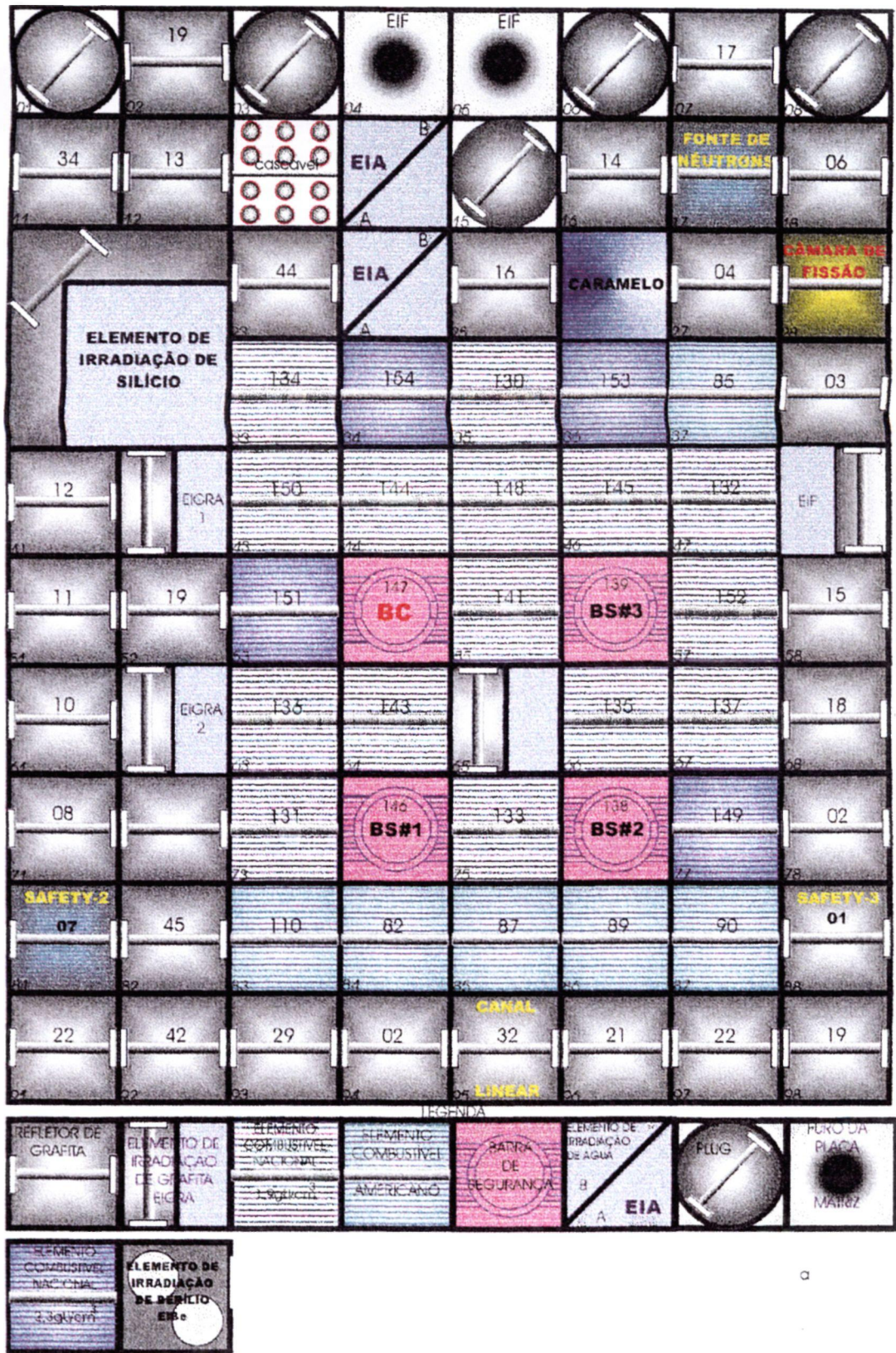


Figura 3.11 – Arranjo do núcleo do Reator IEA-R1m, configuração 190 com o EIGRA na posição 65 da placa matriz – 3ª. Etapa.

### 3.4.4 Verificação de segurança

Os experimentos de avaliação dos elementos de irradiação foram realizados no Reator IEA-R1m, por meio de três mudanças de configuração do núcleo. Qualquer experimento em reatores nucleares requer uma análise de segurança para mostrar que o excesso de reatividade do núcleo está dentro dos limites, que é mantida uma margem de desligamento alta e segura, e que a reatividade inserida pelas amostras, neste caso cápsula de irradiação e folhas de ativação estão abaixo do limite permitido. Uma rotina experimental foi redigida e submetida para análise ao Comitê de Revisão e Segurança, e encontra-se no Apêndice D.

A metodologia de cálculo neutrônico utilizada para se fazer as avaliações de segurança do Reator IEA-R1m baseia-se no programa LEOPARD de cálculo de célula unitária, para geração de seções de choque do combustível [FANARO, MAIORINO, 1989], no programa HAMMER-TECHNION [BARHEN, RHOTENSTEIN, TAVIV, 1991] de cálculo de célula unitária unidimensional, para regiões sem combustível, o programa 2DB [LITTLE, HARDIE, 1969] para cálculo do núcleo e queima de combustível em 2 dimensões e no programa CITATION [FOWLER, VONDY, CUNNINGHAM, 1972], para cálculo do núcleo em 3 dimensões.

A geração de seções de choque do combustível é feita com o programa LEOPARD, utilizando o modelo da célula unitária (combustível, revestimento, moderador e região extra) para homogeneizar o elemento combustível.

Para as regiões não combustíveis, utiliza-se o programa HAMMER-TECHNION, pois o LEOPARD permite apenas a modelagem da célula padrão com região extra. As seções de choque macroscópicas dessas regiões são fornecidas ao programa 2DB. O histórico de operação do reator é simulado com o programa 2DB em 2 dimensões sem barras de controle. Os resultados do programa são: o fator multiplicação efetivo, a queima do combustível em percentagem de material físsil, fluxos de nêutrons, densidades de potência médias e seções de choque macroscópicas.

Nas mudanças de configuração, o ganho de reatividade é calculado com o programa CITATION, em 2 dimensões, sem barras de controle, com as seções de choque gravadas pelo 2DB. Essas seções de choque são fornecidas ao programa CITATION juntamente com os dados do núcleo. Em 3 dimensões, são calculados os fatores de multiplicação efetivos

sem barra de controle para determinação do excesso de reatividade; com as barras na posição crítica determina-se as distribuições de fluxos de nêutrons e de densidade de potência, que depois de formatados convenientemente, são utilizados para análise termo-hidráulica do núcleo.

Para a geração de seções de choque com o LEOPARD, foram consideradas as temperaturas médias de operação a 2 MW, a saber: 42°C para o combustível, 41°C para o revestimento e 32°C para o refrigerante. Para determinação do excesso de reatividade a frio (20°C), adiciona-se o defeito de potência ao valor do excesso de reatividade calculado nesta temperatura. Para o cálculo da reatividade das barras de segurança e de controle define-se a reatividade como:

$$\rho = \frac{K_2 - k_1}{K_2 K_1} 10^5 \quad (\text{pcm}) \quad (3.20)$$

onde  $K_1$  é o fator de multiplicação efetivo com a barra na posição inicial e  $K_2$  na posição final.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS DE MEDIDAS DE REATIVIDADE E TAXAS DE REAÇÃO PARA OS ELEMENTOS DE IRRADIAÇÃO

Do ponto de vista neutrônico, deve-se observar as seguintes características para verificar a eficiência de um elemento de irradiação de amostras: reatividade introduzida pelo elemento de irradiação no núcleo, nível de fluxo nas posições de irradiação e gradiente de fluxo na posição de irradiação. Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos para estes parâmetros neutrônicos para os três elementos de irradiação analisados.

#### 4.1 Medida de reatividade introduzida no núcleo do reator pelos elementos de irradiação

A reatividade negativa introduzida no núcleo do reator pelos elementos de irradiação foi determinada por meio das curvas de barra de controle/segurança do reator, conforme descrito na Seção 3.3. A Tabela 4.1 apresenta os resultados obtidos onde se observa que o EIBe introduz uma reatividade negativa no núcleo consideravelmente menor que os elementos EIGRA e EIA.

A reatividade negativa menor, inserida no núcleo pelo EIBe, mostra que sob este aspecto, este elemento de irradiação é superior aos elementos EIA e EIGRA.

**Tabela 4.1 – Reatividade negativa inserida no núcleo pelos elementos de irradiação na posição 65 das placa matriz, 3ª Etapa (07/07/1997) das medidas experimentais, configuração 189.**

Elemento de Irradiação	Reatividade medida (pcm)
EIBe	-1636 ± 150
EIGRA	-2568 ± 150
EIA	-2977 ± 150

## **4.2 Medidas de taxas de reação axial nos elementos de irradiação**

As medidas das taxas de reação axial nos elementos de irradiação foram realizadas nas posições 45 e 65 da placa matriz, identificadas como experimentos A1 até A9 (Tabela 3.3). Os experimentos foram realizados nestas posições para se quantificar as diferenças de taxa de reação e determinar a posição mais adequada para a produção de  $^{99}\text{Mo}$ . Na primeira e segunda etapa, das irradiações, colocou-se o EIBe nas posições 45 e 65 PM. Na terceira etapa colocou-se os elementos de irradiação EIBe, EIA e EIGRA na posição 65 PM.

Os dados obtidos como contagem, tempo de espera, massa dos detetores e processamentos realizados pelo multicanal (Figuras 3.6, 3.7 e Seção 3.2), encontram-se no Apêndice C. Nesta seção são apresentados os resultados finais, já trabalhados, apropriados para se fazer uma análise dos elementos de irradiação.

### **4.2.1 Medidas de taxas de reação axial no EIBe nas posições 45 da PM e 65 da PM com detetores de Au e Au/Cd**

As Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 mostram nas suas ordenadas a variação da taxa de reação em cada prateleira de irradiação. O perfil axial mostra que as prateleiras 4, 5 e 6 apresentam a maior taxa de reação, tanto no detetor de germânio como no detetor de iodeto de sódio. As prateleiras 1, 2 e 8 como as prateleiras de menor taxa de reação e as prateleiras 3 e 7 com um valor de taxa de reação intermediário. Observando-se o perfil dessas figuras podemos notar que o canal A apresenta uma taxa de reação superior ao canal B em ambos os detetores, NaI e HPGe. A mesma observação também se verifica nas Figuras 4.2 e 4.3, para as folhas cobertas com cádmio.

As figuras 4.4 e 4.5 mostram o perfil de taxa de reação obtido com as folhas de índio cobertas com cádmio. Nos dois sistemas de contagem, NaI e HPGe, observamos que a taxa de reação para nêutrons rápidos mantêm-se com as mesmas características das figuras anteriores, ou seja, as prateleiras 4, 5 e 6 apresentam maior taxa de reação para este espectro de energia. Até este ponto, como já comentado, trabalhamos com dois sistemas de contagens, onde procuramos avaliar; eficiência, flexibilidade, tempo e confiabilidade para este tipo de trabalho. Durante esta verificação as medidas das folhas de ouro nuas, no detetor HPGe, foram descartadas por apresentarem uma grande diferença de taxa de reação entres os canais A e B, em torno de 40%. Isto se deve ao fato de nesta primeira série de medidas estar se fazendo ajustes nas

bancadas de contagens. Os dois sistemas apresentaram resultados satisfatórios, optando-se, para as etapas seguintes, pelo detector NaI.

As Figuras 4.6 e 4.7 mostram o perfil da taxa de reação total e epitérmica ao longo do EIBe na posição 65 PM. Novamente as prateleiras 4, 5 e 6 apresentam a maior taxa de reação. Nestas figuras observa-se que o canal B apresenta uma taxa de reação maior, isto porque, existe influência das barras de segurança/controle que possuem reatividades diferentes e a densidade de potência ser maior na região do canal B, para esta configuração.

Para uma melhor avaliação dos dados obtidos construiu-se a Tabela 4.2 onde pode-se observar o ganho percentual relativo entre as posições no núcleo do reator e entre os canais do EIBe. Em destaque a taxa de reação epitérmica necessária para a produção de  $^{99}\text{Mo}$ .

A taxa de reação média, na Tabela 4.2, foi calculada em relação às prateleiras 4, 5 e 6 de maior fluxo, Figuras 4.1, 4.3, 4.6 e 4.7, Tabela C.1, C.3, C.6 e C.7 - Apêndice C.

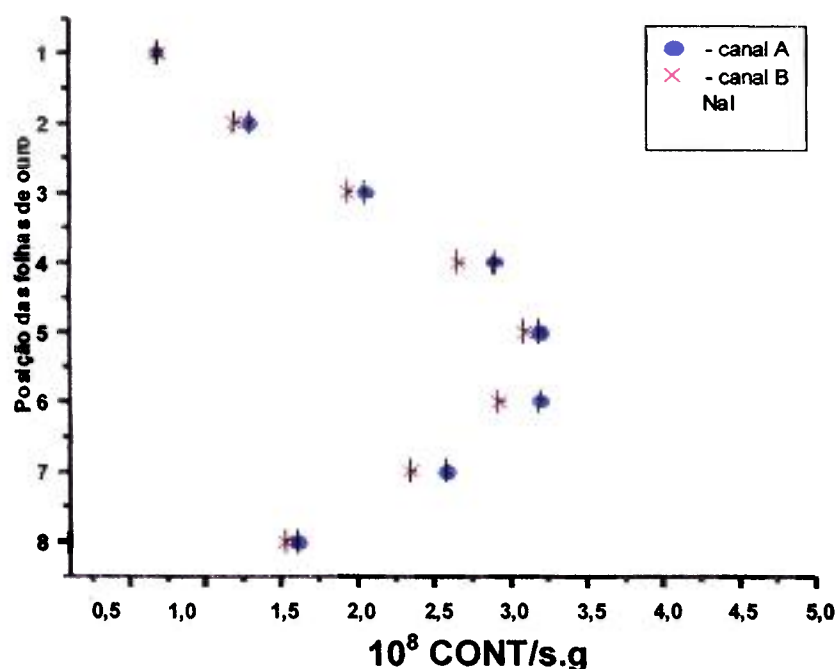


Figura 4.1 – Taxa de reação nas folhas de ouro no EIBe, canais A e B, experimento A1, posição 45 PM, detector NaI, Tabela C.1.

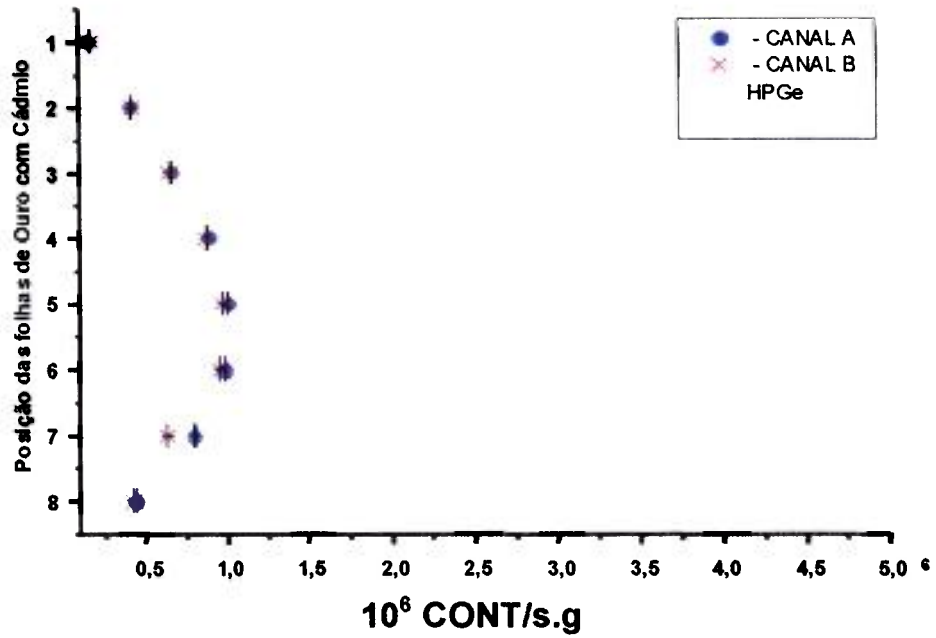


Figura 4.2 – Taxa de reação nas folhas de ouro cobertas com cádmio no EIBe, canais A e B, experimento A2, posição 45 PM, detetor HPGe, Tabela C.2.

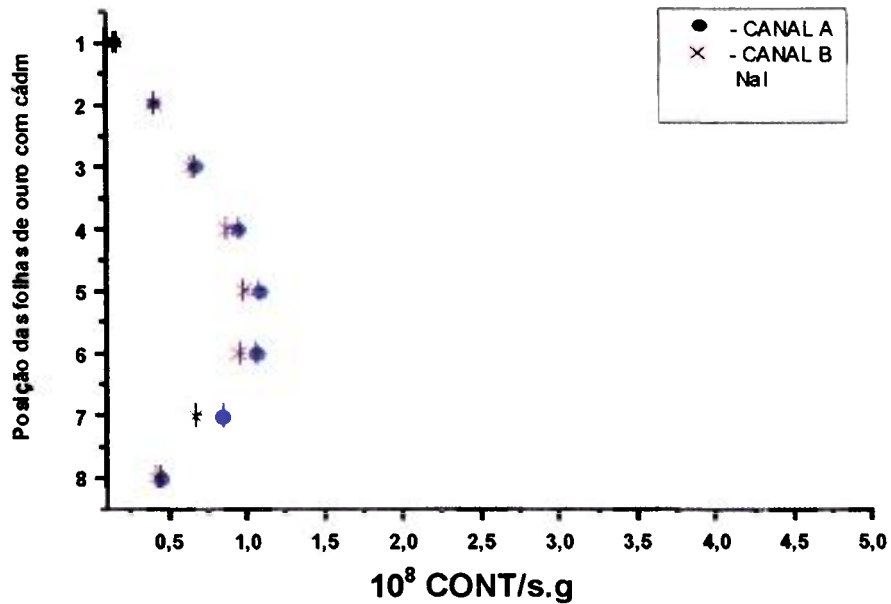


Figura 4.3 – Taxa de reação nas folhas de ouro cobertas com cádmio no EIBe, canal A e B, experimento A2, posição 45 PM, detetor NaI, Tabela C.3.

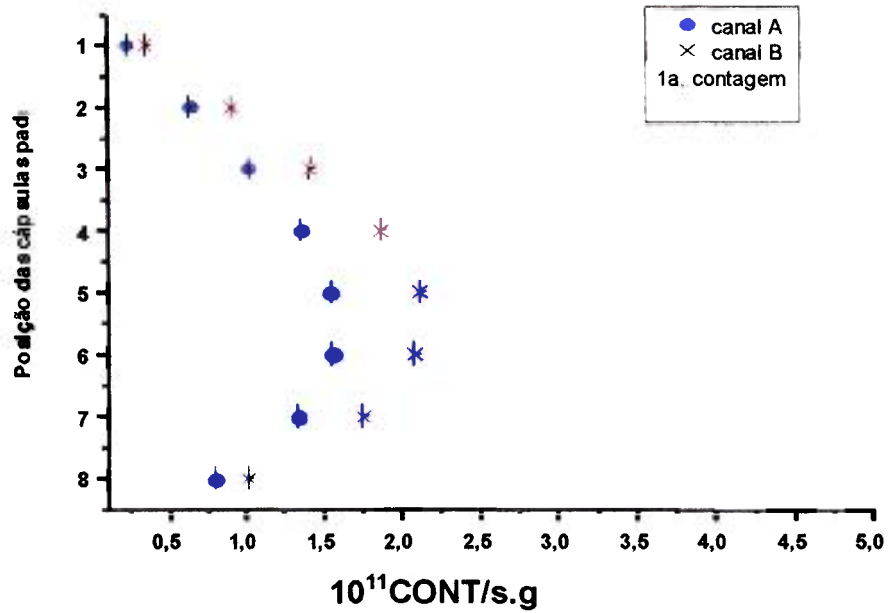


Figura 4.4 – Taxa de reação nas folhas de índio cobertas com cádmio no EIBe, canal A e B, experimento A3, posição 45 PM, detetor NaI, Tabela C.4.

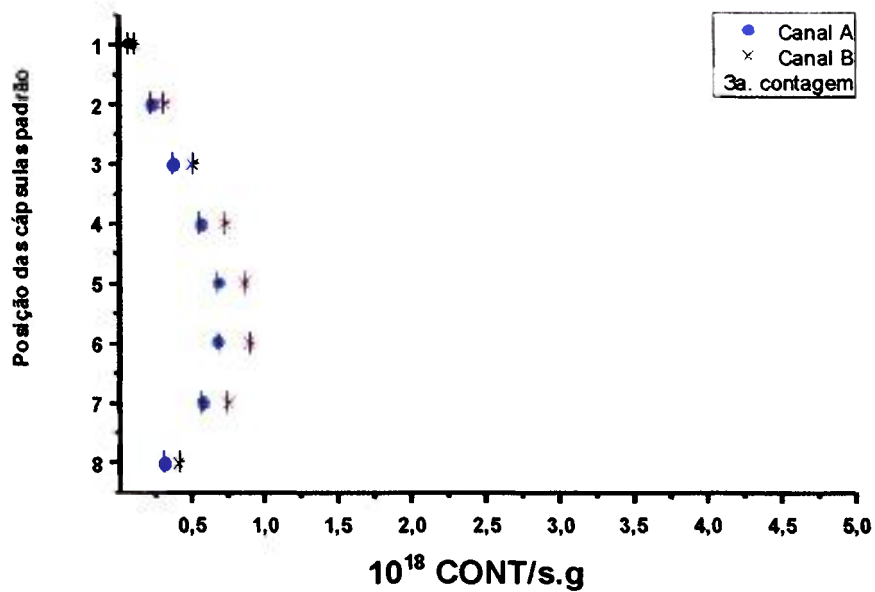


Figura 4.5 – Taxa de reação nas folhas de índio cobertas com cádmio no EIBe, canal A e B, experimento A3 posição 45 PM, detetor NaI, Tabela C.5.

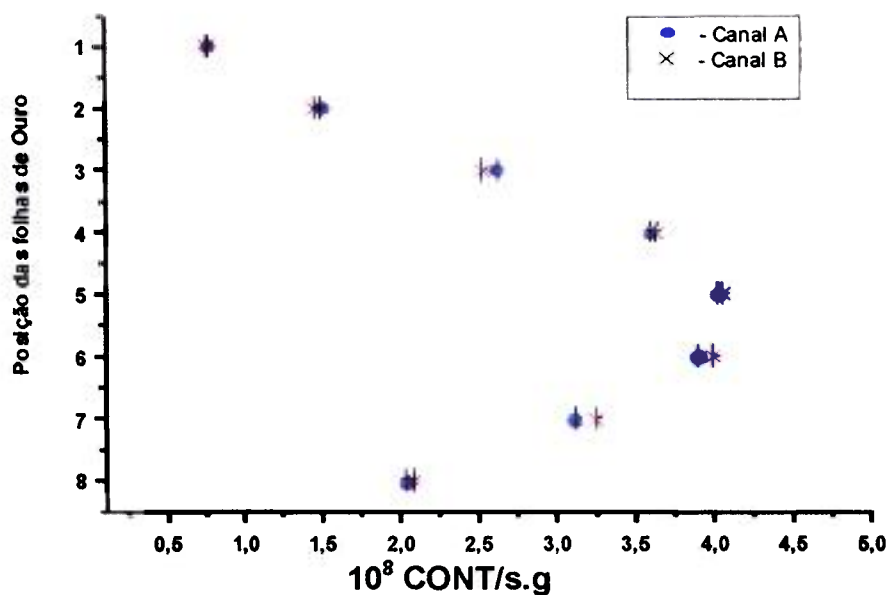


Figura 4.6 – Taxa de reação nas folhas de ouro no EIBe, canal A e B, experimento A4, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.6.

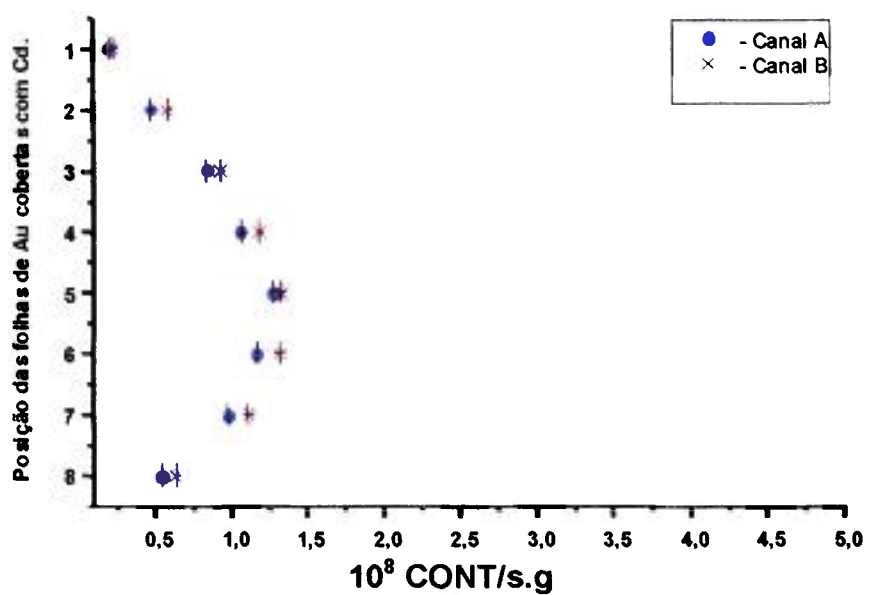


Figura 4.7 – Taxa de reação nas folhas de ouro cobertas com cádmio no EIBe, canal A e B, experimento A4, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.7.

**Tabela 4.2 – Taxa de reação média nas posições de maior fluxo no EIBe localizado nas posições 45 PM e 65 PM.**

	Canal A 45 PM  10 <sup>8</sup> cont/s.g	Canal A 65 PM  10 <sup>8</sup> cont/s.g	Ganho Percentual na posição 65 PM (%)	Canal B 45 PM  10 <sup>8</sup> cont/s.g	Canal B 65 PM  10 <sup>8</sup> cont/s.g	Ganho Percentual na posição 65 PM (%)
Taxa de Reação total (R <sub>Total</sub> <sup>nu</sup> )	3,10 ± 17600	3,85 ± 19600	24,19 ± 0,008	2,90 ± 17000	3,90 ± 19700	34,48 ± 0,008
Taxa de Reação epitérmica (R <sub>epitérmica</sub> )	1,04 ± 10200	1,18 ± 10900	13,46 ± 0,01	0,94 ± 9700	1,29 ± 11300	37,23 ± 0,02
*Taxa de Reação térmica (R <sub>térmica</sub> )	2,06 ± 7400	2,67 ± 8700	29,61 ± 0,005	1,96 ± 7300	2,61 ± 8400	33,16 ± 0,005

$$* R_{Total}^{nu} = R_{térmica} + R_{epitérmica}$$

Pode-se observar, que a posição 65 da placa matriz apresenta um ganho percentual de taxa de reação em relação a posição 45 da placa matriz, devido esta região apresentar maior densidade de potência, para estas configurações. Vale salientar que a denominação canal A do EIBe refere-se ao canal voltado para o centro do núcleo do reator, com mostra as Figuras 3.8 e 3.9.

A Tabela 4.3 abaixo mostra a diferença de taxa de reação axial ao longo do elemento de irradiação. A tabela foi construída detalhando o elemento de irradiação em cada posição da seguinte forma: menor taxa de reação - prateleira 1, maior taxa de reação – prateleira 5, valor médio de taxa de reação nas prateleiras 4, 5 e 6 e o valor médio das taxas de reação nas prateleiras inferiores 7 e 8. Os dados foram tirados da 1.ª e 2.ª Etapa onde o EIBe foi colocado nas posições 45 e 65 da placa matriz nas mesmas condições experimentais. A análise dos dados nos permite verificar que as posições de maior taxa de reação são as prateleiras 4, 5 e 6. Nas demais prateleiras a taxa de reação é consideravelmente menor.

**Tabela 4.3 – Taxas de reação axial total e epitérmica ao longo do elemento de irradiação nas posições 45 PM e 65 PM e seus respectivos ganhos.**

		Folhas de Au Taxa de reação total $10^8$ cont/s.g		Folhas de Au + Cd Taxa de reação epitérmica $10^8$ cont/s.g	
		Canal A	Canal B	Canal A	Canal B
Taxa de reação Prateleira 1	1.ª Etapa 45 PM	$0,70 \pm 8363$	$0,70 \pm 8339$	$0,16 \pm 3950$	$0,17 \pm 4122$
	2.ª Etapa 65 PM	$0,76 \pm 8722$	$0,77 \pm 8783$	$0,20 \pm 4444$	$0,23 \pm 4813$
	<b>Ganho da posição 65 (%)</b>	<b><math>8,57 \pm 0,02</math></b>	<b><math>10,00 \pm 0,02</math></b>	<b><math>25,00 \pm 0,04</math></b>	<b><math>35,29 \pm 0,04</math></b>
Taxa de reação média Prateleiras 2 e 3	1.ª Etapa 45 PM	$1,68 \pm 12842$	$1,58 \pm 12463$	$0,55 \pm 7341$	$0,53 \pm 7247$
	2.ª Etapa 65 PM	$2,07 \pm 14239$	$2,00 \pm 14003$	$0,66 \pm 8065$	$0,76 \pm 8685$
	<b>Ganho da posição 65 (%)</b>	<b><math>23,21 \pm 0,01</math></b>	<b><math>26,58 \pm 0,01</math></b>	<b><math>20,00 \pm 0,02</math></b>	<b><math>43,40 \pm 0,02</math></b>
Taxa de reação média Prateleiras 4, 5 e 6	1.ª Etapa 45 PM	$3,10 \pm 17602$	$2,90 \pm 17028$	$1,04 \pm 10191$	$0,94 \pm 9700$
	2.ª Etapa 65 PM	$3,85 \pm 19603$	$3,90 \pm 19744$	$1,18 \pm 10846$	$1,29 \pm 11340$
	<b>Ganho da posição 65 (%)</b>	<b><math>24,19 \pm 0,008</math></b>	<b><math>34,48 \pm 0,008</math></b>	<b><math>13,46 \pm 0,01</math></b>	<b><math>37,23 \pm 0,01</math></b>
Taxa de reação máxima Prateleira 5	1.ª Etapa 45 PM	$3,20 \pm 17877$	$3,10 \pm 17616$	$1,09 \pm 10463$	$0,99 \pm 9958$
	2.ª Etapa 65 PM	$4,03 \pm 20079$	$4,06 \pm 20152$	$1,28 \pm 11343$	$1,34 \pm 11577$
	<b>Ganho da posição 65 (%)</b>	<b><math>25,94 \pm 0,008</math></b>	<b><math>30,97 \pm 0,008</math></b>	<b><math>17,43 \pm 0,01</math></b>	<b><math>35,35 \pm 0,01</math></b>
Taxa de reação Prateleiras 7 e 8	1.ª Etapa 45 PM	$2,10 \pm 14398$	$1,94 \pm 13863$	$0,65 \pm 7975$	$0,55 \pm 7367$
	2.ª Etapa 65 PM	$2,59 \pm 15989$	$2,67 \pm 16252$	$0,77 \pm 8662$	$0,88 \pm 9301$
	<b>Ganho da posição 65 (%)</b>	<b><math>23,33 \pm 0,01</math></b>	<b><math>37,63 \pm 0,01</math></b>	<b><math>18,46 \pm 0,02</math></b>	<b><math>60,00 \pm 0,02</math></b>

A Tabela 4.3 e as Figuras 4.1, 4.3, 4.6 e 4.7 mostram que a posição 65 PM apresenta um ganho significativo em relação a posição 45 PM. Verifica-se que a relação entre a taxa de reação média nas prateleiras 4, 5 e 6 e a taxa de reação na prateleira 1 é de 1 para 5 e, para as prateleiras restantes, é de aproximadamente 1 para 2.

#### **4.2.2 Medida de taxas de reação axial no EIBe na posição 65 PM utilizando fios de molibdênio**

As Figuras 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11 mostram o perfil da taxa de reação nos fios de molibdênio com cádmio e sem cádmio. Procurou-se nesta irradiação analisar mais detalhadamente o EIBe na posição de maior fluxo (65 PM) utilizando o próprio material de interesse na forma metálica.

Irradiou-se 4 fios de molibdênio (60 cm de comprimento) sobre um suporte de lucite, sendo 2 fios com cobertura de cádmio e 2 fios sem cádmio (Figura 3.4) experimentos A5 e A6 (Figuras 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11), Tabelas C.8, C.9, C.10 e C.11 (Apêndice C). Após a irradiação os fios foram cortados em partes de aproximadamente 1 cm para que pudessem ser contadas na bancada de NaI de maneira adequada [KOMPANEK, 1962].

Os gráficos nas suas ordenadas, apresentam o perfil axial da taxa de reação total e epitérmica em trechos de 5 cm (5 partes de 1 cm), desta forma procurou-se detalhar ainda mais cada uma das 8 prateleiras dentro do EIBe. Podemos observar no gráfico que a região correspondente ao intervalo de 25 à 50 cm apresenta a maior taxa de reação. Este intervalo equivale às prateleiras 4, 5 e 6 do EIRA como pode ser observado na etapa anterior.

A Tabela 4.4 apresenta de forma quantitativa as diferenças entre as taxas de reação total e epitérmica nos canais A e B. Nota-se que o canal B devido ao seu posicionamento em relação às barras de controle/segurança, apresenta um ganho consideravelmente maior. Este fato ratifica a conclusão da etapa anterior onde devemos a cada mudança de configuração avaliarmos qual dos canais apresenta-se com a maior taxa de reação. Os resultados obtidos na Tabela 4.4 poderá se alterar devido principalmente a reatividade das barras e a porcentagem de queima dos elementos combustíveis próximos a região central do núcleo do reator.

A Tabela 4.4 resume as taxas de reação total e epitérmica ao longo do EIBe considerando trechos de 10 cm.

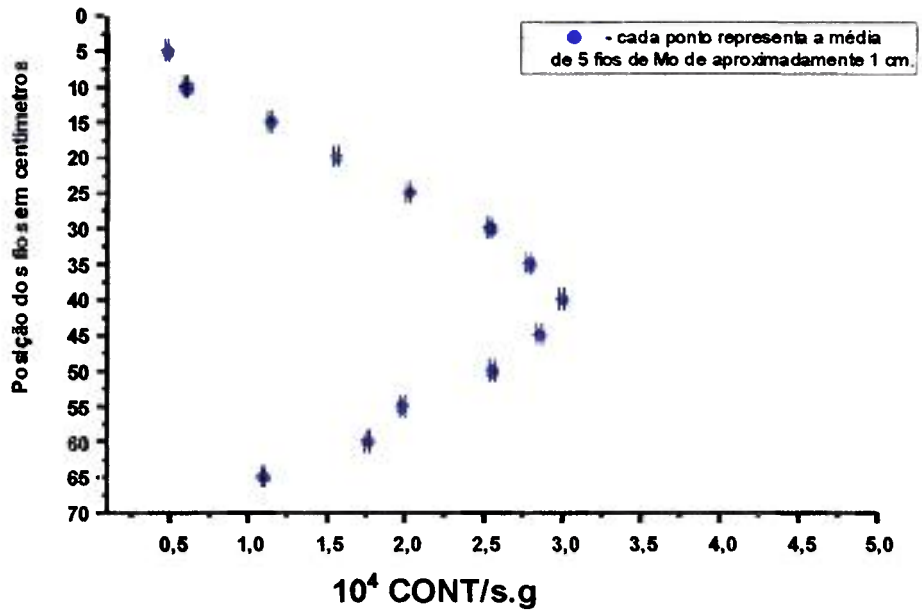


Figura 4.8 – Taxas de reação no fio de molibdênio no EIBe, canal A, experimento A5, posição 65 PM, detector NaI, Tabela C.8.

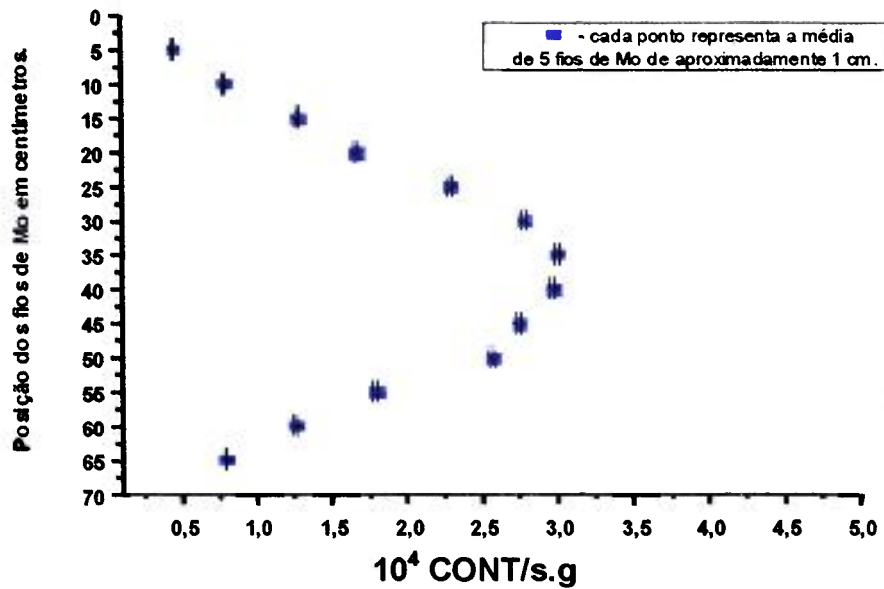


Figura 4.9 – Taxa de reação no fio de molibdênio no EIBe, canal B, experimento A5, posição 65 PM, detector NaI, Tabela C.9.

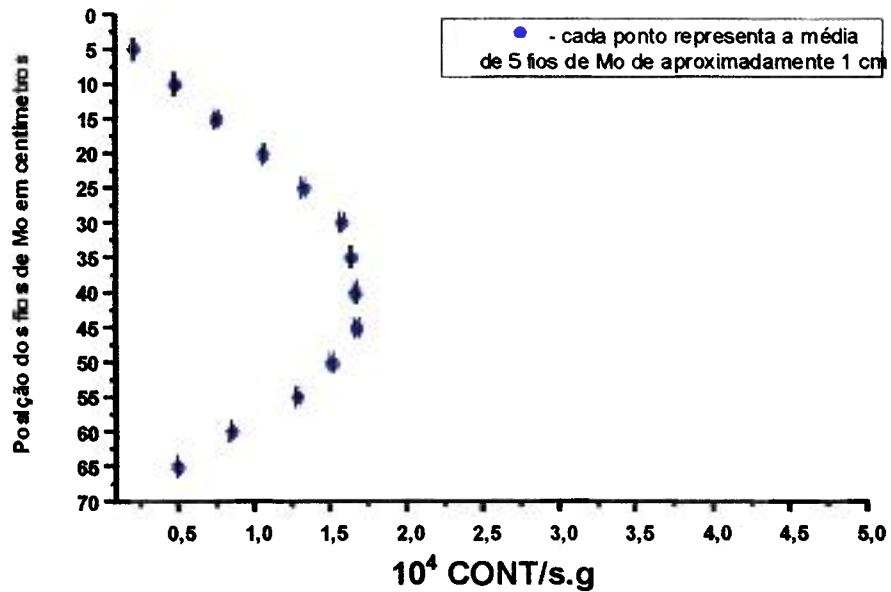


Figura 4.10– Taxas de reação no fio de molibdênio coberto com cádmio no EIBe, canal A, experimento A6, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.10.

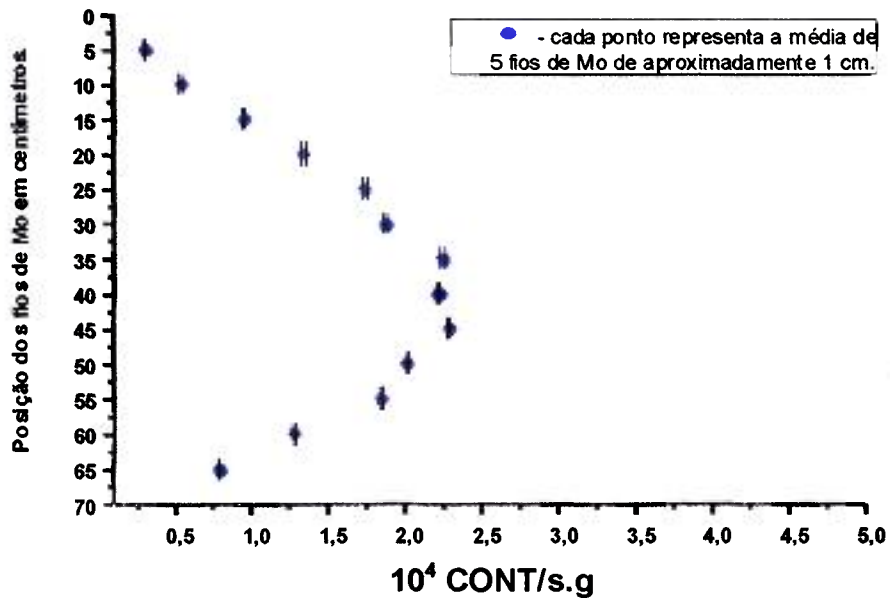


Figura 4.11 – Taxa de reação no fio de molibdênio coberto com cádmio no EIBe, canal B, experimento A6, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.11.

**Tabela 4.4 – Taxas de reação axial total e epitérmica no EIBe posição 65 PM com fios de molibdênio.**

Altura (cm)	Taxa de reação total Fios de Molibdênio			Taxa de reação epitérmica Fios de Molibdênio com cádmio		
	Canal A 10 <sup>4</sup> Cont/s.g	Canal B		Canal A 10 <sup>4</sup> Cont/s.g	Canal B	
		10 <sup>4</sup> Cont/s.g	Ganho (%)		10 <sup>4</sup> Cont/s.g	Ganho (%)
0 → 10	0,55 ± 73	0,62 ± 77	12,73 ± 1,93	0,35 ± 57	0,43 ± 64	22,86 ± 2,44
11 → 20	1,37 ± 116	1,48 ± 121	8,03 ± 1,22	0,92 ± 95	1,16 ± 107	26,09 ± 1,55
21 → 30	2,30 ± 151	2,54 ± 159	10,43 ± 0,95	1,46 ± 120	1,82 ± 134	24,66 ± 1,23
31 → 40	2,92 ± 171	2,99 ± 173	2,40 ± 0,83	1,66 ± 128	2,24 ± 149	34,94 ± 1,18
41 → 50	2,72 ± 165	2,66 ± 163	2,26 ± 0,87	1,60 ± 126	2,16 ± 146	35,00 ± 1,20
51 → 60	1,88 ± 137	1,53 ± 123	22,88 ± 1,20	1,08 ± 103	1,57 ± 124	45,37 ± 1,49

Na Tabela acima podemos verificar que para os fios de molibdênio irradiados com cádmio, no canal B, há um aumento significativo na taxa de reação, em torno de 30%, devido ao posicionamento do EIBe no núcleo do reator. Para os fios de molibdênio sem cádmio a taxa de reação total tem uma variação de 10%.

A tabela também reflete o que já havíamos deduzido no item anterior, ou seja, os fios irradiados apresentam o trecho de 31 → 40 cm como o trecho de maior taxa de reação total e epitérmica para os canais A e B. Esse trecho de altura equívale a prateleira 5 do EIRA e, o trecho de 21 → 50 equívale as prateleiras 4, 5 e 6. Verifica-se também, que a relação entre o trecho de maior taxa de reação e o trecho inicial de 0 → 10 cm é de 1 para 5 e, para os demais trechos a relação é de aproximadamente 1 para 2.

### 4.2.3 Medida de taxas de reação axial nos elementos de irradiação EIBe, EIA e EIGRA na posição 65 PM

As Figuras 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 e 4.17 representam as taxas de reação total e epitérmica nos elementos de irradiação EIBe, EIA e EIGRA. As Tabelas 4.5 e 4.6 mostram de maneira comparativa os três elementos para a mesma posição no núcleo do reator. As tabelas comparam os três elementos de irradiação quanto a suas taxas de reação ao longo de cada um. Os ganhos apresentados referem-se a taxa de reação de neutrons epitérmicos, de maior interesse para a produção de  $^{99}\text{Mo}$ . Pode-se notar que a taxa de reação epitérmica é maior em 12% para o EIBe, em relação ao EIA e, 22% em relação ao EIGRA, para as posições de maior taxa de reação, ou seja, posições 4, 5 e 6. A taxa de reação máxima epitérmica também é maior para o EIBe em 14% em relação ao EIA e ao EIGRA.

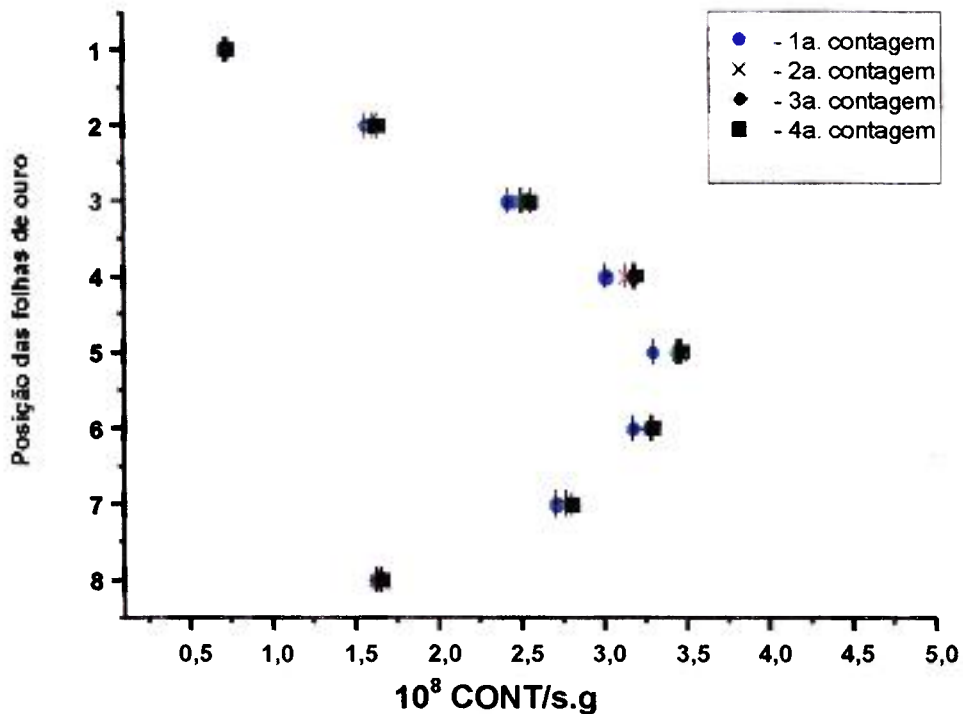


Figura 4.12 -- Taxa de reação nas folhas de ouro no EIBe, canal A, experimento A7, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.12.

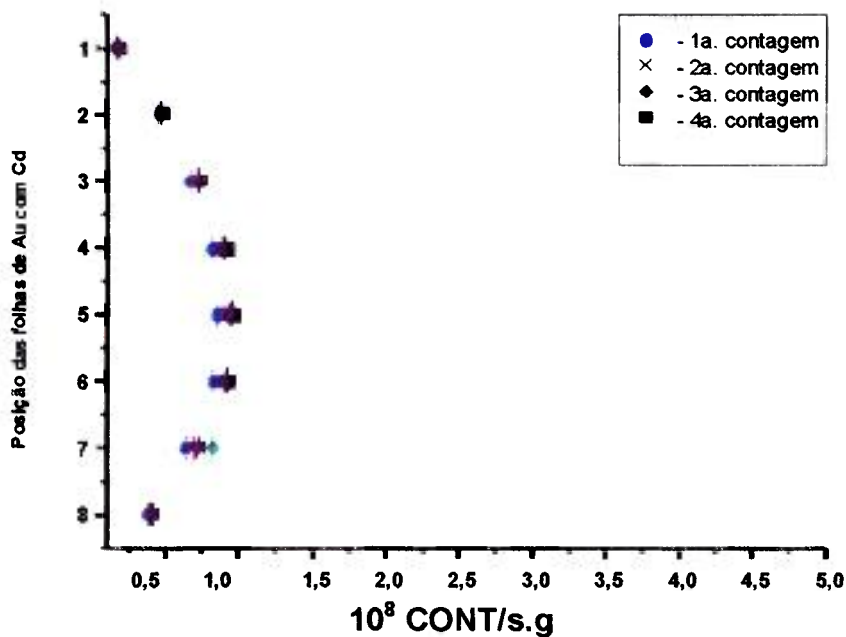


Figura 4.13 – Taxa de reação nas folhas de ouro cobertas com cádmio no EIBE, canal A, experimento A7, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.13.

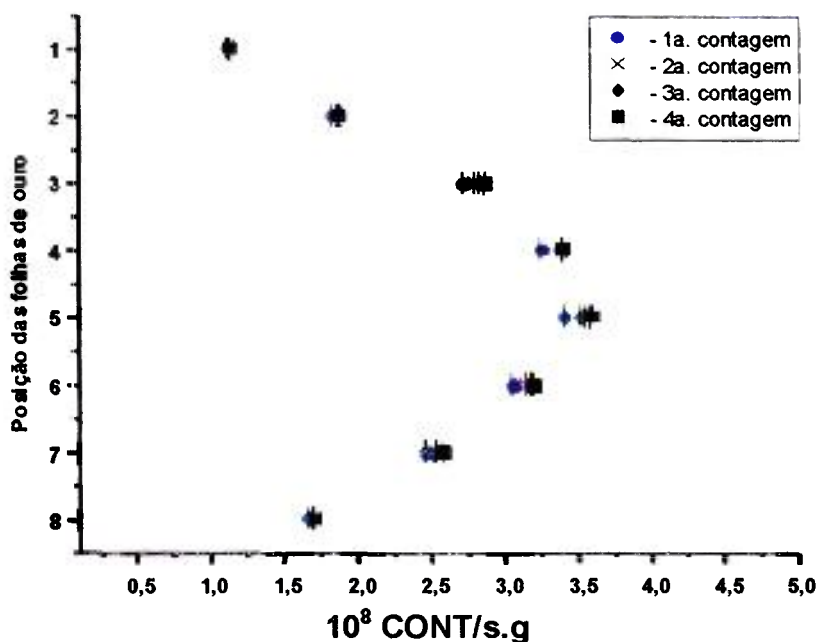


Figura 4.14 – Taxa de reação nas folhas de ouro no EIA, canal A, experimento A8, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.14.

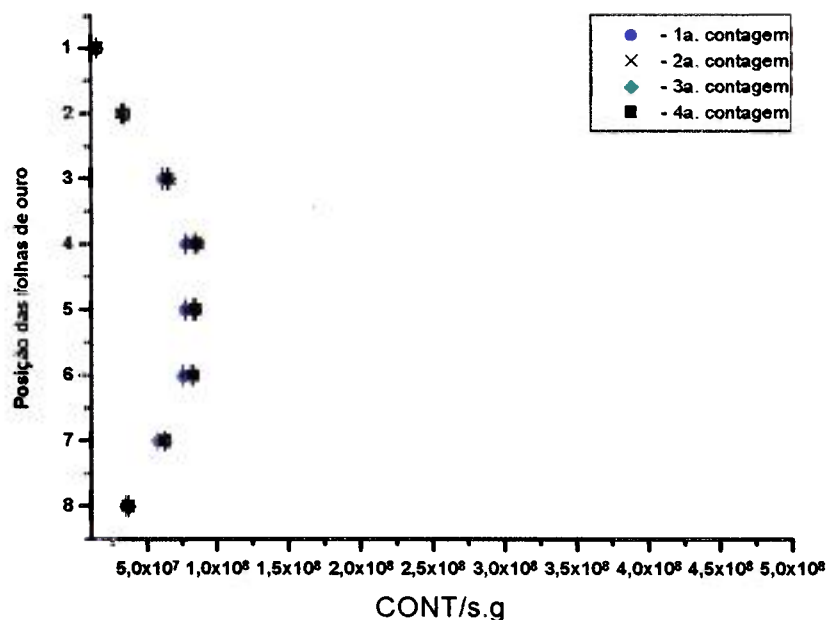


Figura 4.15 – Taxa de reação nas folhas de ouro cobertas com cádmio no EIA, canal A, experimento A8, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.15.

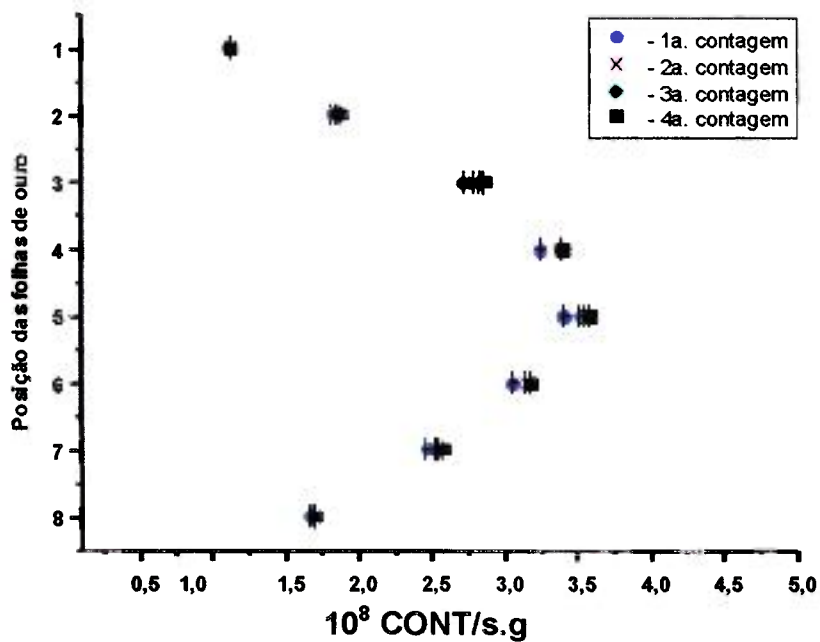


Figura 4.16 – Taxa de reação nas folhas de ouro no EIGRA, canal A, experimento A9, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.16.

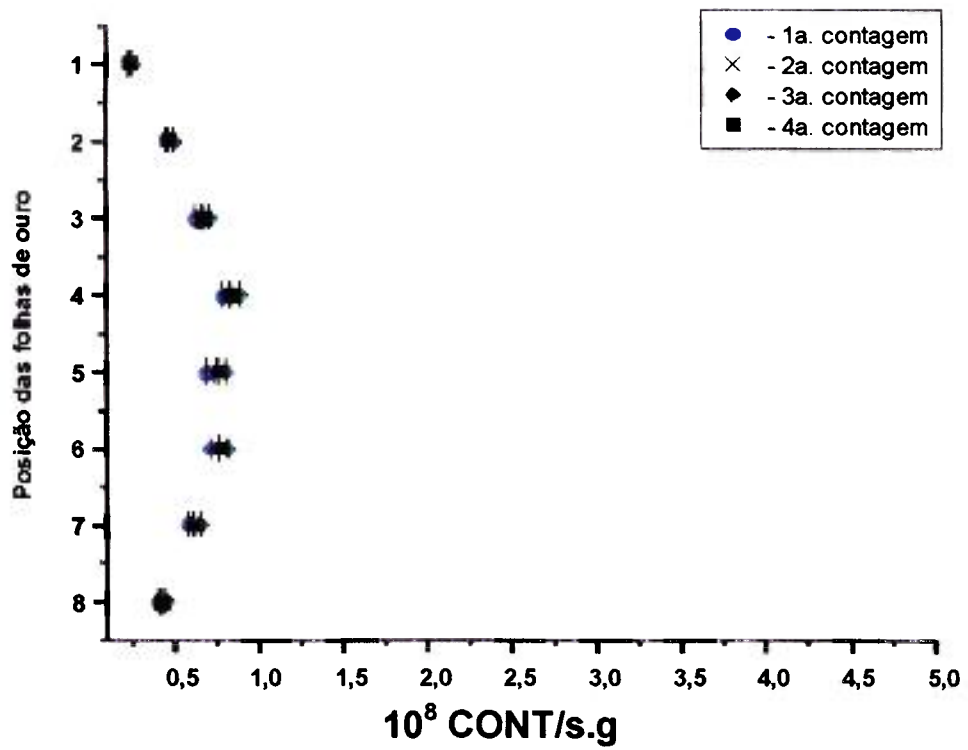


Figura 4.17– Taxa de reação nas folhas de ouro cobertas com cádmio no EIGRA, canal A, experimento A9, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.17.

**Tabela 4.5 – Taxas de reação axial total e epitérmica dos elementos de irradiação EIBe e EIA na posição 65 PM.**

Eixo das ordenadas - prateleiras de 1 a 8 sentido de cima para baixo - parte superior do núcleo para a parte inferior	EIBe		EIA		Ganho
	Taxa de reação total 10 <sup>8</sup> Cont/s.g	Taxa de reação epitérmica 10 <sup>8</sup> Cont/s.g	Taxa de reação total 10 <sup>8</sup> Cont/s.g	Taxa de reação epitérmica 10 <sup>8</sup> Cont/s.g	(%)
Taxa de reação Prateleira 1	0,78 ± 8852	0,18 ± 4250	0,72 ± 8508	0,14 ± 3729	28,57 ± 0,04
Taxa de reação Prateleira 2 e 3	1,18 ± 14058	0,61 ± 7779	2,10 ± 14389	0,49 ± 6893	24,49 ± 0,02
Taxa de reação média Prateleira 4, 5 e 6	3,08 ± 17539	0,94 ± 9717	3,32 ± 18221	0,84 ± 9156	11,90 ± 0,01
Taxa de reação máxima Prateleira 5	3,21 ± 17931	0,97 ± 9831	3,47 ± 18638	0,85 ± 9168	14,12 ± 0,02
Taxa de reação Prateleiras 7 e 8	1,45 ± 12027	0,57 ± 7501	2,23 ± 14819	0,48 ± 6952	18,75 ± 0,02

**Tabela 4.6 – Taxas de reação axial total e epitérmica dos elementos de irradiação EIBe e EIGRA na posição 65 PM.**

Eixo das ordenadas - prateleiras de 1 a 8 sentido de cima para baixo - parte superior do núcleo para a parte inferior	EIBe		EIGRA		Ganho
	Taxa de reação total 10 <sup>8</sup> Cont/s.g	Taxa de reação epitérmica 10 <sup>8</sup> Cont/s.g	Taxa de reação total 10 <sup>8</sup> Cont/s.g	Taxa de reação epitérmica 10 <sup>8</sup> Cont/s.g	(%)
Taxa de reação Prateleira 1	0,78 ± 8852	0,18 ± 4250	1,14 ± 10663	0,25 ± 4970	38,89 ± 0,04
Taxa de reação Prateleira 2 e 3	1,18 ± 14058	0,61 ± 7779	2,38 ± 15332	0,58 ± 7588	5,17 ± 0,02
Taxa de reação média Prateleira 4, 5 e 6	3,08 ± 17539	0,94 ± 9717	3,39 ± 18412	0,80 ± 8948	17,50 ± 0,02
Taxa de reação máxima Prateleira 5	3,21 ± 17931	0,97 ± 9831	3,59 ± 18947	0,77 ± 8782	25,97 ± 0,02
Taxa de reação Prateleiras 7 e 8	1,45 ± 12027	0,57 ± 7501	2,14 ± 14555	0,52 ± 7225	9,62 ± 0,02

### **4.3 Medida de taxas de reação radial dentro das cápsulas nas posições 45 PM e 65 PM nos elementos de irradiação EIBe, EIA e EIGRA**

Neste item é apresentado a depressão que o fluxo de nêutrons sofre dentro das cápsulas padrão durante a irradiação. Estes resultados são um indicativo sobre o gradiente radial de fluxo neutrônico que as cápsulas de irradiação ficam submetidas dentro dos elementos de irradiação. Todas as cápsulas foram irradiadas com óxido de molibdênio ( $\text{MoO}_3$ ) e, no seu interior foram colocadas folhas de alumínio dopada com ouro e fios de molibdênio. As Figuras 3.2 e 3.3 mostram como foram montados estes arranjos.

#### **4.3.1 Diferença entre as taxas de reação obtidas nos canais A e B nas posições 45 PM e 65 PM.**

A Tabela 4.7 é semelhante a Tabela 4.2, ou seja, apresenta, a taxa de reação radial, entre os canais A e B, na mesma posição da placa matriz, tomando-se como referência as três prateleiras de maior taxa de reação, ou seja, 4, 5 e 6. Calculou-se o valor médio da taxa de reação nestas três prateleiras, em cada canal e em cada posição utilizada na placa matriz, ou seja, 45 PM e 65 PM.

O EIBe apresenta uma distância entre os canais A e B de 35 mm, tomada centro a centro (observar Figura 2.6). Nesta medida infere-se, o gradiente de fluxo nestas duas posições da placa matriz por meio da diferença percentual entre a taxas de reação que encontra-se na Tabela 4.7.

Para a posição 45 PM a taxa de reação total foi determinada através das folhas de ouro nuas (Figura 4.1, Tabela C.1). A taxa de reação epitérmica foi determinada através das folhas de ouro cobertas com cádmio (Figura 4.3, Tabela C.3). Para a posição 65 da PM, foram utilizados os dados da Tabela C.6 e C.7 (Figuras 4.6 e 4.7), do Apêndice C, ou seja, folhas de ouro nuas e folhas de ouro cobertas com cádmio.

A determinação da taxa de reação térmica faz-se através da diferença: entre as taxas de reação total e epitérmica.

**Tabela 4.7 – Gradiente radial de Taxas de reação nas posições 45 PM e 65 PM.**

Gradiente radial – distância centro a centro = 35 mm	Posição 45 PM 10 <sup>8</sup> Cont/s.g		Diferença percentual entre os canais A e B na posição 45 PM (%)	Posição 65 PM 10 <sup>8</sup> Cont/s.g		Diferença percentual entre os canais A e B na posição 65 PM (%)
	Canal A	Canal B		Canal A	Canal B	
Taxa de reação total	3,10 ± 17600	2,90 ± 17000	6,89 ± 0,008	3,85 ± 19600	3,90 ± 19700	1,29 ± 0,007
<b>Taxa de reação epitérmica</b>	<b>1,04</b> ± 10200	<b>0,94</b> ± 9700	<b>10,64</b> ± 0,01	<b>1,18</b> ± 10900	<b>1,29</b> ± 11300	<b>9,32</b> ± 0,01
Taxa de reação térmica	2,06 ± 7400	1,96 ± 7300	5,10 ± 0,005	2,67 ± 8700	2,61 ± 8400	2,29 ± 0,005

Na posição 45 PM, na periferia do reator as diferenças de taxas de reação entre os canais A e B são de 5% e 11% para nêutrons térmicos e epitérmicos respectivamente. Na posição 65 PM, no centro do núcleo do reator, as diferenças de taxas de reação entre os canais A e B são de 2% e 9% para nêutrons térmicos e epitérmicos respectivamente. Nota-se que estes resultados são bastantes dependentes da posição onde é colocado o elemento de irradiação dentro do reator.

Observa-se que para a irradiação do <sup>98</sup>Mo, a posição 65 da PM apresenta maior taxa de reação epitérmica e que o canal B de irradiação do EIBe apresenta um ganho de 9% em relação ao canal A.

#### 4.3.2 Medidas de taxas de reação radial dentro das cápsulas de irradiação utilizando folhas de alumínio dopada com ouro

O fluxo de nêutrons que incide na cápsula de irradiação sofre uma depressão [BENSCH, 1975] devido às dimensões da cápsula padrão de alumínio, quantidade de material a ser irradiado, estrutura de alumínio dos elementos de irradiação e da camada de água de refrigeração que envolve

todo o núcleo do reator. A determinação desta depressão foi feita irradiando-se folhas de alumínio dopadas com ouro. As folhas estão identificadas como A, B e J, sendo que a folha A nas duas medidas foi colocada fora da cápsula e as folhas B e J dentro da cápsula de  $\text{MoO}_3$ . A Figura 3.2 mostra exatamente o arranjo desenvolvido para esta medida. As cápsulas foram colocadas na prateleira 6 do EIRA dentro do EIBe. Por questões de segurança foram irradiadas apenas duas cápsulas nestas duas etapas. As Figuras 4.18 e 4.19 mostram que a taxa de reação sofre um decréscimo maior, ao passar do meio externo para o interior da cápsula e, no seu interior, posição 2 e 3, permanece praticamente constante.

A Tabela 4.8 resume este resultado comparando a taxa de reação na posição 1 com a média das taxas de reação nas posições 2 e 3. O decréscimo de taxa de reação fica em torno de 8,5%.

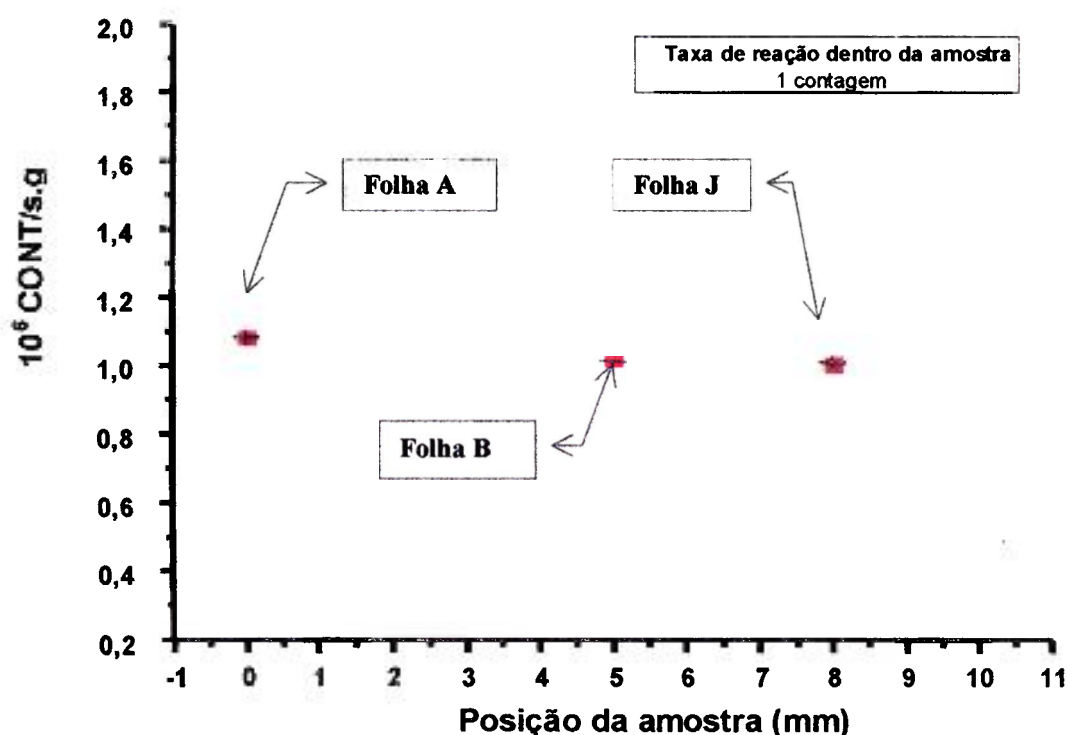


Figura 4.18 – Taxa de reação radial nas folhas de alumínio dopado com ouro dentro da cápsula padrão com amostra de  $\text{MoO}_3$  no EIBe, canal A, experimento R1, posição 45 PM, detetor NaI, Tabela C.18.

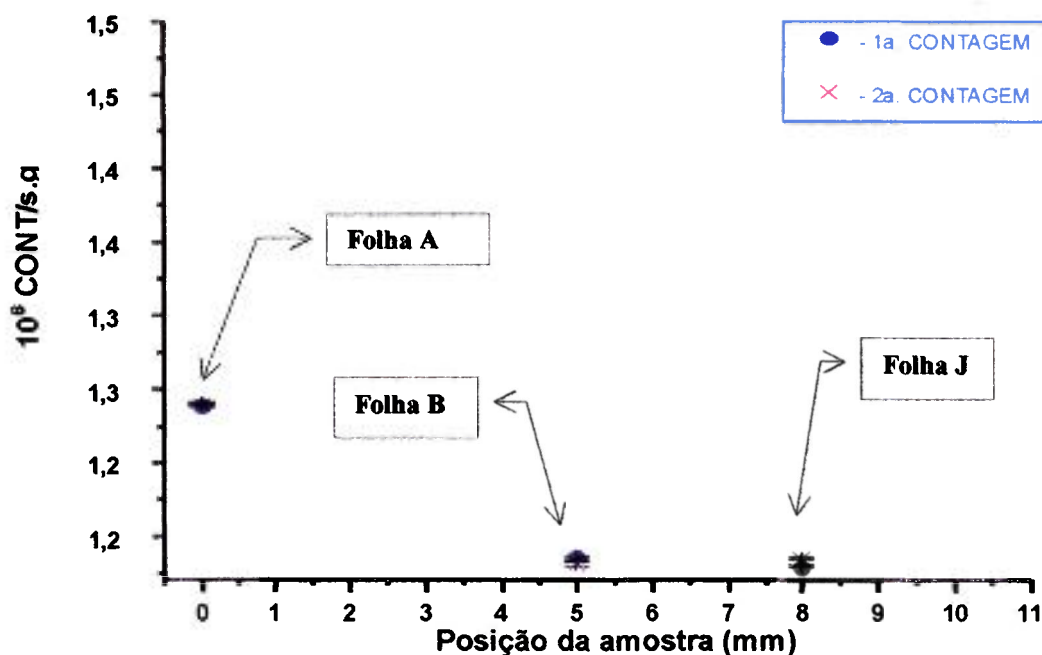


Figura 4.19 – Taxa de reação radial nas folhas de alumínio dopadas com ouro, Figura 3.2, dentro da cápsula padrão com MoO<sub>3</sub> no EIBe, canal A, experimento R2, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.19.

Tabela 4.8 – Medidas da depressão de fluxo dentro da cápsula padrão com MoO<sub>3</sub> nas 2 etapas iniciais.

Folha	Fora da cápsula A 10 <sup>6</sup> Cont/s.g	Média das folhas B e J 10 <sup>6</sup> Cont/s.g	Depressão de fluxo Percentual (%)	Média
1.ª Etapa posição 45 PM	1,08 ± 1040	1,01 ± 1000	6,93 ± 0,14	8,33% ± 0,13
2.ª Etapa posição 65 PM	1,24 ± 1080	1,13 ± 1060	9,73 ± 0,13	

### **4.3.3 Medidas de taxas de reação radial dentro das cápsulas de irradiação utilizando fios molibdênio**

Nesta etapa, os três elementos de irradiação foram colocados na posição central, 65 da PM, e em cada um mediu-se o decréscimo que a taxa de reação sofre ao passar do meio exterior para o interior da cápsula padrão com  $\text{MoO}_3$ . Isto foi feito colocando-se fios de molibdênio. A Figura 3.3 esquematiza exatamente a disposição dos fios e sua identificação. As Tabelas C.20 até C.27, no Apêndice C, apresentam as contagens obtidas, onde cada fio foi contado duas vezes.

A Figura 4.20, apresenta as taxas de reação dentro das cápsulas posicionadas nas prateleiras 5, 6 e 7 do EIRA dentro do EIBe. Os resultados mostram que a depressão que o fluxo sofre é de aproximadamente 16% ao passar de fora para dentro da cápsula. Esta medida obteve-se entre o fio 1 (fora da cápsula) e a média entre os fios 2, 3 e 4 (dentro da cápsula), no EIBe. Dentro da cápsula a depressão devido ao próprio material,  $\text{MoO}_3$ , é muito pequena. No caso da figura a seguir as medidas realizadas nas prateleira 5 e 6 apresentam, nos fios 2, 3 e 4, um aumento nas suas contagens, resultado este que descartou-se pois a taxa de reação epitérmica no sentido de fora para o centro da cápsula decresce devido a seção de choque do molibdênio para nêutrons com esse espectro de energia. O que pode ter acontecido é que devido a soldagem das cápsulas, testes de estanqueidade e colocação dentro dos elementos de irradiação tenha ocorrido um deslocamento dos fios de sua posição original. Já nos fios da prateleira 7 observa-se um decréscimo da taxa de reação em direção ao centro da cápsula, resultado esperado, pois o volume que se apresenta ao fluxo de nêutrons em direção ao centro é cada vez menor. Nas prateleiras 5 e 6, observa-se que a depressão que a taxa de reação sofre entre o fio 1 (fora da cápsula) e o fio 2 (dentro da cápsula) é da ordem de 22% e para a prateleira 7 esta mesma relação é da ordem de 10%, valor esperado, sendo assim, descartou-se os dados obtidos para as prateleiras 5 e 6, pois estes dados divergem dos dados obtidos nas etapas anteriores e das medidas que apresentam-se a seguir.

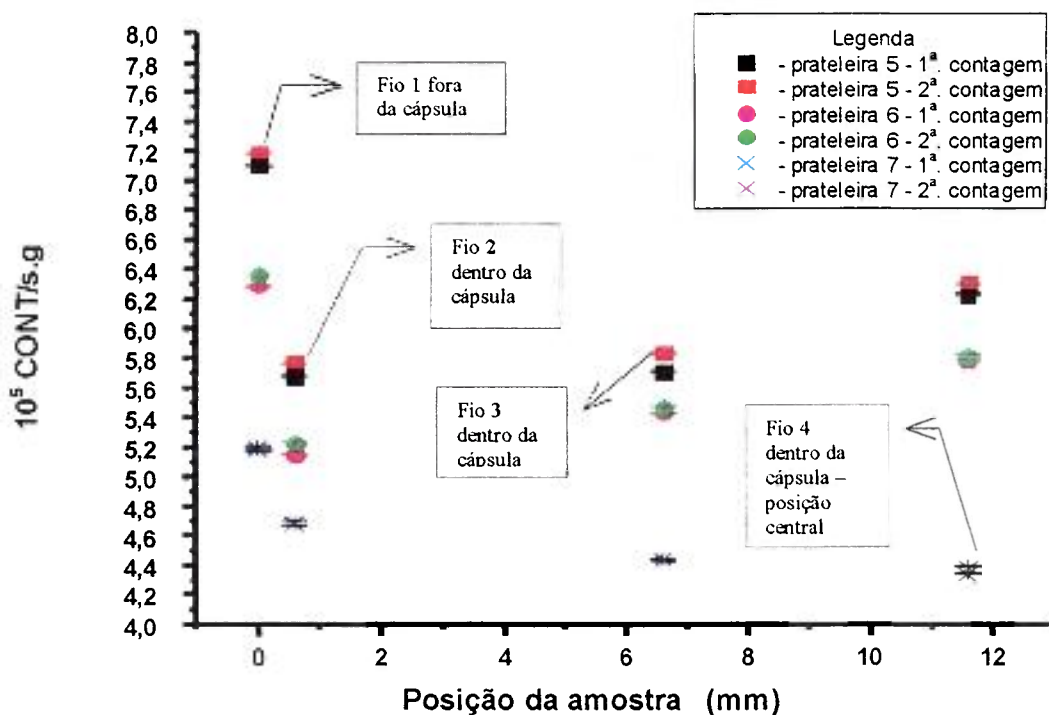


Figura 4.20 – Taxa de reação radial nos fios de molibdênio no EIBe, canal A, experimento R3, posição 65 PM, detetor NaI, posição 5, 6 e 7 do EIRA – Tabela C.20, C.21 e C.22.

Para melhor visualização junto a Figura 4.20, 4.21 e 4.22 repete-se a Figura 3.3, detalhada no Capítulo 3.

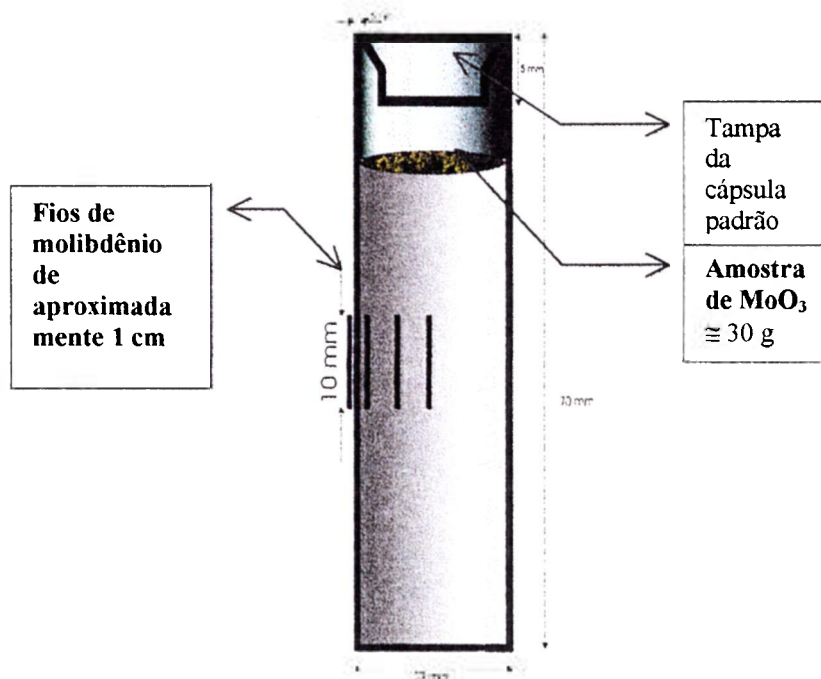


Figura 3.3 - Esquema referente a montagem da cápsula padrão utilizada para medição de taxa de reação radial dentro da amostra com fios de molibdênio.

A Figura 4.21, mostra que a depressão que o fluxo sofre, no EIA, é de aproximadamente 10%, chega-se a esse valor fazendo-se a relação entre o fio 1 (fora da cápsula) e a média dos fios 2, 3 e 4 dentro da cápsula. Dentro da cápsula a depressão devido a própria amostra é praticamente desprezível, ou seja, fazendo-se a relação entre os fios 2, 3 e 4 a diferença percentual entre uma posição e outra é de aproximadamente 1%. Isto quer dizer que na periferia da amostra a atividade é 1% maior. Novamente pode-se observar que a taxa de reação têm um decréscimo considerável entre o fio 1 e o fio 2, ou seja, aproximadamente 10%.

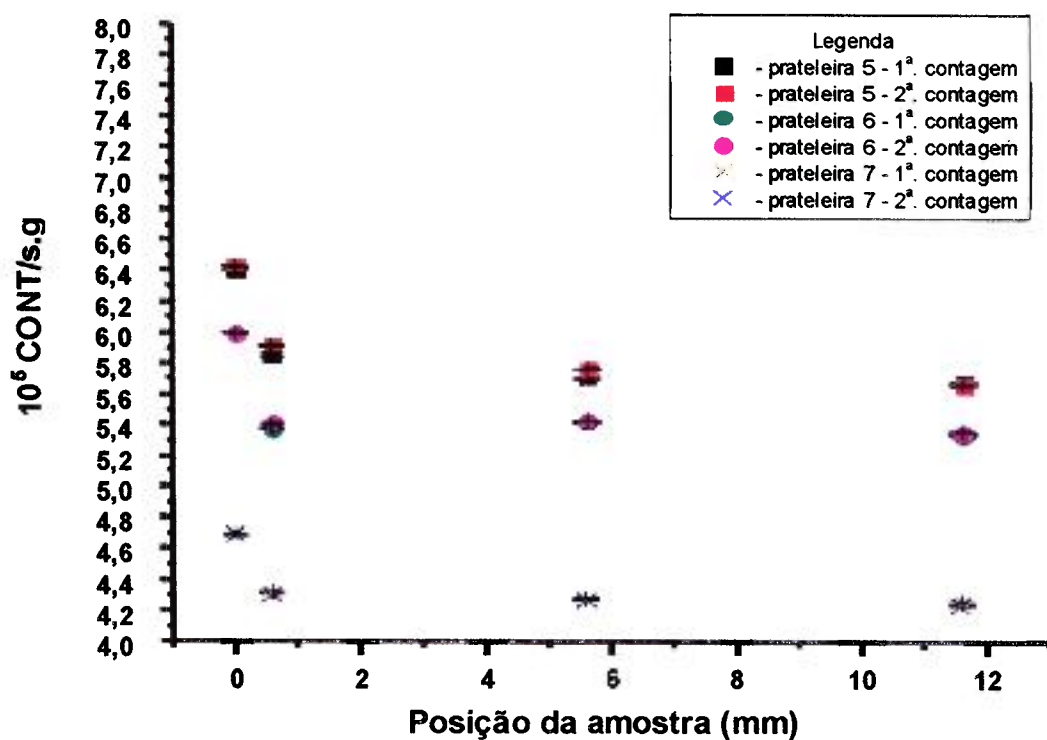


Figura 4.21 -- Taxa de reação radial nas amostras de  $\text{MoO}_3$  no EIA, canal A, experimento R4, posição 65 PM, detetor NaI, Tabela C.23 e C.24.

A Figura 4.22, mostra que a depressão que o fluxo sofre, no EIGRA, é de aproximadamente 11%, este valor foi obtido comparando-se a taxa de reação do fio 1 (fora da cápsula) e a média dos fios 2, 3 e 4 (dentro da amostra). Vale ressaltar que neste elemento de irradiação as cápsulas são colocadas na posição horizontal e que metade do volume deste elemento é composto de grafita. Dentro da cápsula a variação da taxa de reação no sentido do centro da amostra é de aproximadamente 2%. Neste elemento de irradiação colocou-se as cápsulas em posições equivalentes às prateleiras 5, 6 e 7 do EIRA.

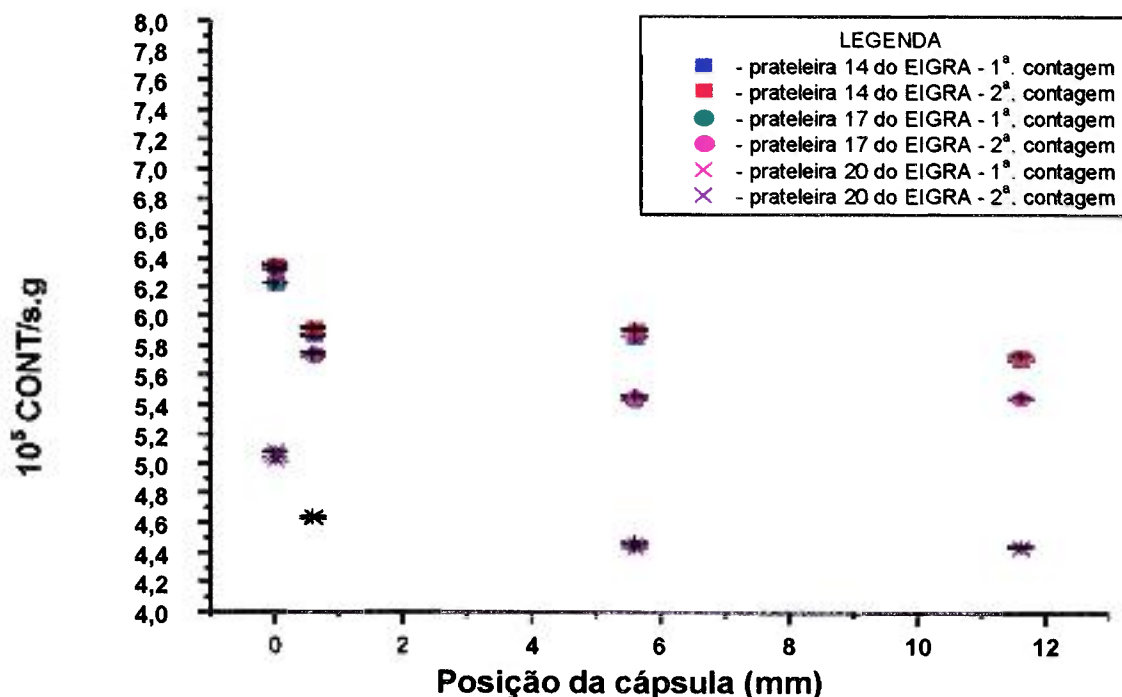


Figura 4.22 - Taxa de reação radial nas amostras de  $\text{MoO}_3$  no EIGRA, canal A, experimento R5, posição 65 PM, detetor NaI – Posição 14, 17 e 20 do EIGRA, Tabela C.25, C.26 e C.27.

A tabela a seguir, sintetiza, os valores obtidos acima, ressaltando-se, que dentro da cápsula padrão, o valor apresentado na tabela, refere-se a média das contagens dos fios 2, 3 e 4. As possíveis distorções encontradas nos gráficos referem-se aos possíveis deslocamentos sofrido pelos fios de Mo

dentro da cápsula durante a soldagem, teste de estanqueidade e colocação dentro dos elementos de irradiação.

Assim, a taxa de reação de nêutrons dentro da cápsula é maior no EIBe fazendo com que o fluxo de nêutrons tenha uma depressão maior dentro da cápsula.

**Tabela 4.9 – Medidas da depressão de fluxo dentro da cápsula padrão nas prateleiras 5, 6 e 7, utilizando fios de molibdênio.**

3.ª Etapa fios de molibdênio	Posição no EIRA	Fio 1 Fora da cápsula  10 <sup>5</sup> Cont/s.g	Média dos Fio 2, 3 e 4  10 <sup>5</sup> Cont/s.g	Depressão de fluxo	
				Percentual por prateleira (%)	Média (%)
EIBe (*)	7	5,19 ± 720	4,49 ± 671	15,59 ± 0,39	15,59 ± 0,22
EIA	5	6,42 ± 802	5,76 ± 760	11,46 ± 0,19	10,72 ± 0,21
	6	5,99 ± 774	5,39 ± 720	11,13 ± 0,20	
	7	4,69 ± 685	4,28 ± 720	9,58 ± 0,22	
EIGRA	(**) 14 (5)	6,29 ± 793	5,84 ± 720	7,71 ± 0,19	10,95 ± 0,21
	17 (6)	6,27 ± 792	5,55 ± 720	12,97 ± 0,20	
	20 (7)	5,06 ± 711	4,51 ± 720	12,19 ± 0,22	

(\*) Os dados das prateleiras 5 e 6 foram descartados.

(\*\*) Posição equivalente no EIRA.

Na Tabela 4.9 observa-se que no EIBe o percentual de depressão é maior ( $\cong 16\%$ ) que os outros elementos de irradiação ( $\cong 11\%$ ). Isto se deve ao fato de o Be presente no EIBe, sendo altamente denso, um excelente moderador de nêutrons e baixo absorvedor de nêutrons, produzir um espectro mais epitérmico que a água ou a grafita. Já o Molibdênio, radioisótopo de interesse, possui seção de choque (n, $\gamma$ ) com ressonâncias entre 10 eV e 10 KeV (faixa epitérmica), propiciando um maior número de reações dentro da amostra.

#### **4.4 Melhorias na irradiação de cápsula dentro dos elementos de irradiação**

Com estas observações este trabalho propõe um novo projeto para o irradiador de berílio onde as amostras sejam irradiadas na posição horizontal, como no EIGRA, conforme mostra a Figura 4.23, com as seguintes vantagens: maior quantidade de material a ser irradiado na região de maior fluxo e menor gradiente de fluxo ou taxa de reação.

Como projeto futuro no processo de irradiação de amostras no Reator IEA-R1m, sugere-se a instalação de duas câmaras de fissão miniatura móveis [HILBORN, 1964] para se fazer mapeamentos de fluxo neutrônico ao longo dos elementos de irradiação de maneira precisa e rápida, sem a necessidade da irradiação de folhas ou fios que demandam grande tempo para análise. Todo o projeto para a instalação do sistema já está pronto necessitando apenas confeccionar a estrutura de alumínio necessária para servir de guia e alojamento das mini câmaras de fissão. Esperamos com esse sistema obter informações sobre taxas de reação mais rápida, auxiliando a equipe de irradiação de materiais a garantir uma melhor utilização do reator. A proposta deste trabalho é que este sistema faça parte da rotina de mudança de configuração, onde pode-se avaliar com grande precisão as melhores posições de irradiação, para a nova configuração, garantindo economia de combustível e tempo de irradiação.

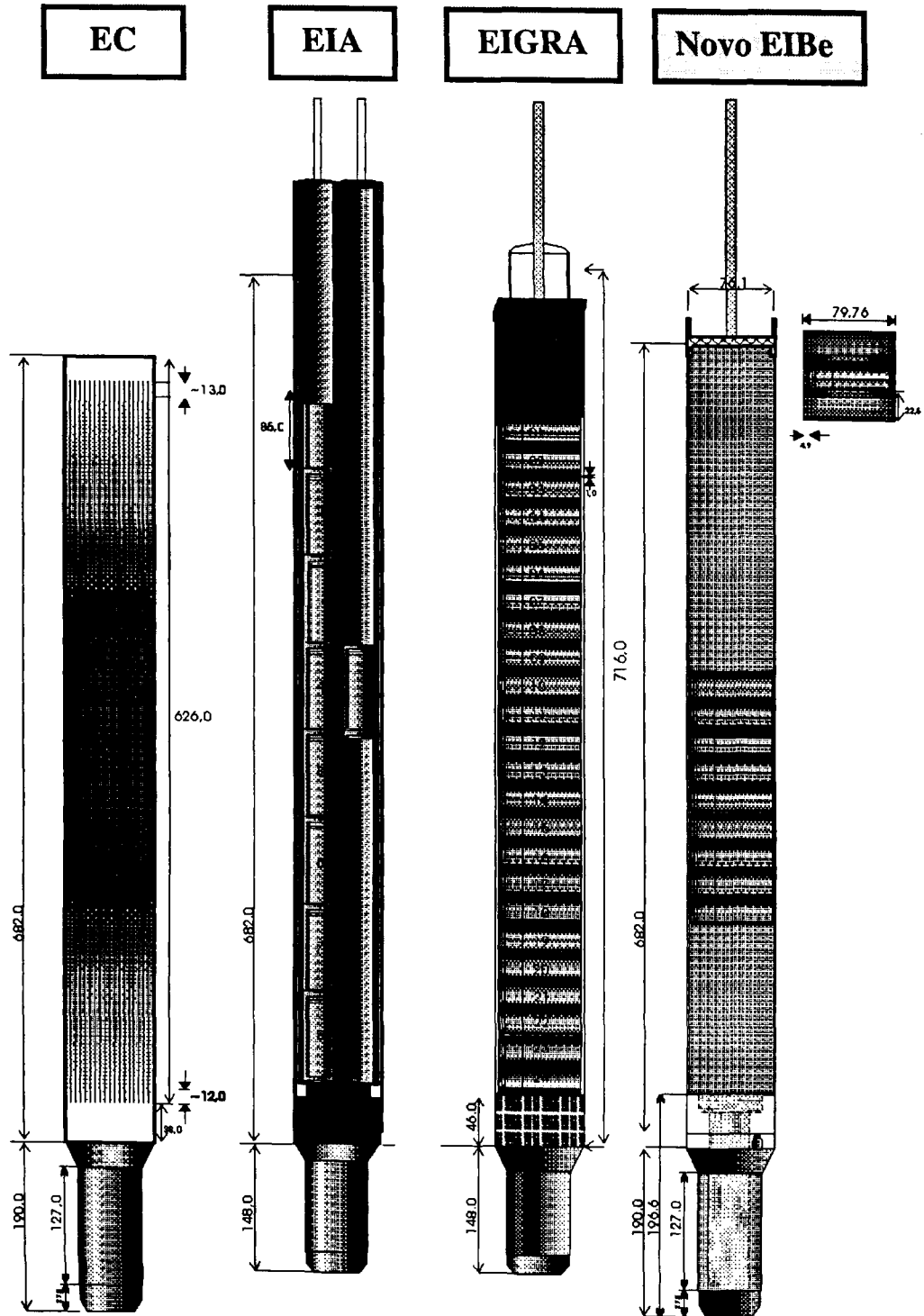


Figura 4.23 – Proposta de um novo irradiador de berílio onde as cápsulas de irradiação ficam na posição horizontal de maior fluxo de nêutrons.

# CAPÍTULO 5

## CONCLUSÕES

Este trabalho visa estudar o irradiador de berílio (EIBe) comparando-o com outros elementos de irradiação existentes no Reator IEA-R1m; quais sejam Elemento de Irradiação de Água (EIA) e Elemento de irradiação de Grafita (EIGRA). Avaliou-se os elementos de irradiação nos seguintes aspectos: apresentar posições de irradiação com volumes razoáveis para poder se colocar diferentes tipos de materiais em formas e tamanhos variados; possuir fluxo de nêutrons elevados nas posições de irradiação e introduzir menor perda de reatividade possível, para minimizar custos de ciclo de combustível

Este trabalho faz parte de um programa de pesquisa e desenvolvimento para obtenção de novos radioisótopos ainda não disponíveis no país e procurados pela comunidade médica, para a nacionalização total da produção de radioisótopos, radiofármacos e outros insumos visando suprir às necessidades de hospitais, clínicas e centros de pesquisa.. Hoje o IPEN atende a aproximadamente um milhão de pacientes por ano no diagnóstico e terapia de diversas enfermidades. Dentro deste programa o Reator IEA-R1m passou por reformas buscando atender a esses propósitos, teve seu regime e operação alterado para contínuo (60 hs) e sua potência de operação aumentada de 2 para 5 MW e adquiriu um irradiador de berílio.

Uma das várias utilizações propostas para o reator é produção de  $^{99}\text{Mo}$  em um irradiador de berílio, adquirido à CERCA firma francesa, com irradiação de trióxido de molibdênio.

O método de produção do  $^{99}\text{Mo}$  escolhido no IPEN é o da captura de nêutrons no  $^{98}\text{Mo}$ , irradiado sob forma de trióxido de molibdênio ( $\text{MoO}_3$ ) natural [Yamaguchi, Mendonça, Santos, Osso, 1997] .

Os resultados obtidos mostram as vantagens do Elemento de Irradiação de Berílio em relação aos outros elementos de irradiação para a produção de  $^{99}\text{Mo}$  no reator IEA-R1m. Salienta-se um fluxo epitérmico no Elemento de Irradiação de Berílio de até 22 % superior que no Elemento de Irradiação de

Grafita e aproximadamente até 12% superior que no Elemento de Irradiação de Água. Isto significa que o EIBe permite uma produção de  $^{99}\text{Mo}$  com uma atividade de cerca de 11 % superior que os elementos de irradiação atualmente disponíveis no reator. Chega-se a esse valor comparando-se os valores do EIBe com os valores do EIA, isto porque, nesses dois elementos as condições geométricas são semelhantes o que não acontece com o EIGRA onde as cápsulas estão posicionadas horizontalmente.

A depressão que a taxa de reação sofre na amostra contendo fios de molibdênio e óxido de molibdênio mostrou-se aproximadamente 5 % superior no EIBe que no EIA. Este valor obteve-se comparando-se os valores obtidos entre as amostras irradiadas no EIBe e no EIA, onde as condições de irradiação assemelham-se. Este resultado ratifica os resultados do parágrafo anterior.

As posições 4, 5 e 6 são aquelas de maior fluxo e que, conseqüentemente, podem proporcionar maior produção de  $^{99}\text{Mo}$ . Há diferença de níveis de fluxo neutrônico entre os canais A e B do EIBe, posição 65 PM, de aproximadamente 9 %, para a faixa epitérmica.

Em termos de reatividade o elemento de irradiação de Be (EIBe), apresenta, em relação aos outros elementos de irradiação, a menor inserção de reatividade negativa no núcleo do reator, ou seja, 82% em relação ao EIA e 57% em relação ao EIGRA.

Este trabalho permite determinar-se as melhores condições de irradiação, no caso o molibdênio. Nas posições 4, 5 e 6 o ideal seria que as cápsulas estivessem na horizontal o que favoreceria uma maior quantidade de material irradiado com menor gradiente de fluxo. Estas condições favorecem uma menor quantidade de combustível para a operação, em relação aos elementos de irradiação já existentes no reator IEA-R1m.

Outra conclusão deste trabalho está relacionado às posições de irradiação no núcleo do Reator. Quanto a posição devemos levar em consideração que o posicionamento, no caso do EIBe, em relação às barras de controle do reator altera significativamente os valores de taxa de reação em aproximadamente 9 % para faixa epitérmica (faixa de interesse). Este valor pode variar dependendo da configuração do reator.

Um outro detalhe está relacionado com as prateleiras de irradiação onde pode-se verificar que as posições de maior fluxo são as de número 4, 5 e 6 e que as demais, principalmente a 1, 2 e 8 apresentam uma baixa taxa de

reação. Neste tipo de elemento, EIBe e EIA, as cápsulas só podem ser irradiadas na posição vertical e portanto, podem ser irradiadas 3 cápsulas nas posições de maior fluxo neutrônico. Já, no EIGRA as cápsulas são irradiadas na posição horizontal propiciando uma maior quantidade de material irradiado, 1,5 vezes maior, sendo que para cada cápsula na vertical (EIBe e EIA) irradia-se 3 na horizontal (EIGRA), ou seja pode-se irradiar as 8 cápsulas colocadas na vertical na região de maior fluxo na horizontal com um gradiente mínimo de fluxo de nêutrons, condição ideal. Esta mesma proposta pode ser aplicada para o EIA, pelos mesmos motivos já expostos anteriormente.

Com estas observações este trabalho propõe:

- um novo projeto para o irradiador de berílio onde as amostras sejam irradiadas na posição horizontal, como no EIGRA, conforme mostra a Figura 4.23, com as seguintes vantagens: maior quantidade de material a ser irradiado na região de maior fluxo e menor gradiente de fluxo ou taxa de reação
- a implantação do sistema de mapeamento de fluxo neutrônico nos elementos de irradiação, através de mini câmaras de fissão, onde, a cada mudança de configuração se possa saber, com mais precisão e rapidez, qual as melhores condições de irradiação.

## APÊNDICE A

### DESENVOLVIMENTO MATEMÁTICO DA EQUAÇÃO 3.2

A Equação (3.1) governa o comportamento da população de átomos formados na amostra por ativação por nêutrons. Normalmente a amostra é irradiada no reator por um determinado período  $t_i$ . A população de átomos formados na amostra por ativação neutrônica após o período  $t_i$  de irradiação é dado pela integração da equação (3.2) reproduzida abaixo:

$$\frac{dN}{dt} + \lambda N(t) = R(t) \quad (\text{A.1})$$

Resolvendo-se por fator integrante, chega-se

$$\int_0^{t_i} dt \frac{d}{dt} [e^{\lambda t} N(t)] = \int_0^{t_i} dt e^{\lambda t} R(t)$$
$$e^{\lambda t_i} N(t_i) - e^{\lambda 0} N(0) = \int_0^{t_i} dt e^{\lambda t} R(t) \quad (\text{A.2})$$

$$N(t_i) = N(0)e^{-\lambda t_i} + \int_0^{t_i} dt e^{-\lambda(t_i-t)} R(t)$$

ou,

$$N(t_i) = \int_0^{t_i} dt e^{-\lambda(t_i-t)} R(t) \quad (\text{A.3})$$

pois a população de núcleos formados no instante  $t = 0$  s é nula pois ainda não houve irradiação da amostra.

O processo de irradiação é composto de duas fases distintas. Na primeira fase a amostra é colocada no reator estando este desligado ou com

fluxo neutrônico desprezível. Para se chegar ao nível de fluxo desejado para a irradiação deve-se elevar a potência do reator até se que produza o valor de fluxo neutrônico desejado nas posições de irradiação. Pode-se assumir nesta fase que o comportamento de  $\phi(r, E, t)$  com o tempo seja uma rampa temporal linear,

$$\phi(r, E, t) = \psi(r, E) \frac{t}{t_s} \quad (\text{A.4})$$

onde  $t_s$  é o instante em que termina a rampa de subida de fluxo neutrônico.

Assim, a população de núcleos ativados ao fim do período de subida,  $t_s$ , é aproximadamente dado por;

$$R(t) = \frac{t}{t_s} \int_0^{\infty} dE \int_{V_1} dr \Sigma(r, E, t) \psi(r, E) = \frac{t}{t_s} R_s$$

$$N(t_s) = \int_0^{t_s} dt. e^{-\lambda(t_s-t)} \frac{R_s}{t_s} t = \frac{R_s}{t_s} e^{-\lambda t_s} \int_0^{t_s} e^{\lambda t} t dt$$

Integrando por partes a integral a direita do sinal de igualdade, obtêm-se;

$$N(t_s) = \frac{R_s}{t_s} \left[ \frac{t_s}{\lambda} - \frac{1}{\lambda^2} (1 - e^{-\lambda t_s}) \right] \quad (\text{A.5})$$

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{6} + \dots$$

$$e^{-\lambda t_s} = 1 - \lambda t_s + \frac{\lambda^2 t_s^2}{2} + \dots$$

$$N(t_s) = \frac{R_s}{t_s} \left[ \frac{t_s}{\lambda} - \frac{1}{\lambda^2} \left( 1 - 1 + \lambda t_s - \frac{\lambda^2 t_s^2}{2} \right) \right] = \frac{R_s}{t_s} \left[ \frac{t_s}{\lambda} - \frac{t_s}{\lambda} + \frac{t_s^2}{2} \right]$$

ou,

$$N(t_s) = \frac{R_s}{t_s} \left[ \frac{t_s^2}{2} \right] = \frac{t_s R_s}{2} \quad (\text{A.6})$$

# APÊNDICE B

## AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA REALIZADAS PARA O EXPERIMENTO NO REATOR IEA-R1m

Neste Apêndice são apresentados os critérios de segurança que envolvem experimentos realizados no núcleo do Reator IEA-R1m. Os parâmetros de segurança que são utilizados para estas verificações estão relacionados abaixo, bem como, seus respectivos limites, estabelecidos pelo Relatório de Análise de Segurança.

### 1 Excesso de reatividade do núcleo

Os excessos de reatividade em cada uma das três etapas de mudança de configuração, deve estar abaixo do valor determinado pela especificação técnica [RELATÓRIO DE ANÁLISE DE SEGURANÇA DO REATOR IEA-R1m, 1996] que é de 4800 pcm. O irradiador de berílio insere reatividade negativa no núcleo como mostra a Tabela 1, entretanto o excesso de reatividade é suficiente para a operação contínua a 2 MW durante 64 horas. Nota-se que os valores são inferiores a 4800 pcm, o limite, ao limite imposto [RELATÓRIO DE ANÁLISE DE SEGURANÇA DO REATOR IEA-R1m, 1996].

### 2 Desligamento seguro do reator

Para o desligamento seguro do Reator, foram seguidos os critérios estabelecidos na referência [RELATÓRIO DE ANÁLISE DE SEGURANÇA DO REATOR IEA-R1m, 1996] sobre dimensionamento de barras de controle e segurança, requeridos a seguir:

- a. o reator deve manter-se subcrítico quando a barra mais reativa é retirada completamente do núcleo e as outras estão completamente inseridas no núcleo (critério da barra presa).
- b. a reatividade das barras de controle e de segurança deve ser capaz de absorver em torno de duas vezes o excesso de reatividade máximo do núcleo. Este critério busca garantir uma margem de segurança de desligamento, no caso 100% sobre o excesso de reatividade;

### **3 Critérios para ganho de reatividade em mudanças de configuração**

A Tabela 1 apresenta as reatividades das barras de controle e segurança para as três configurações do núcleo utilizada no experimento. Em relação a primeira etapa, para atender o critério **a**, item 2, tem-se que o excesso de reatividade do núcleo não pode ser superior às reatividade das barras BS# 1, BS# 2 e BC, isto é, 10550 pcm. Também é apresentado na tabela o valor de reatividade total das barras, o valor de reatividade total excetuando a barra mais reativa e a correspondente margem de desligamento em relação a um excesso de reatividade do núcleo de 4800 pcm.

Para atender o critério **b** tem-se que o excesso de reatividade do núcleo não pode ser superior a 7471 pcm (14943 +2). Para atender ambos os critérios tem-se que o máximo excesso de reatividade do núcleo deve ser menor que aproximadamente 7400 pcm.

O excesso de reatividade para o experimento não ultrapassa 4800 pcm. Este excesso de reatividade pode ser absorvido pelas barras de controle com margem de desligamento maior que 10143 pcm ( 14943 - 4800 ). Portanto, as barras de controle e segurança do Reator absorvem o excesso de reatividade proposto para o núcleo do experimento em análise, satisfazendo os critérios de desligamento seguro com muita folga, com margem de mais de 10000 pcm.

Em relação à segunda etapa, para atender o critério **a**, tem-se que o excesso de reatividade do núcleo não pode ser superior às reatividade das barras BS1, BS2 e BC, isto é, 9824 pcm. Para atender o critério **b** tem-se que o excesso de reatividade do núcleo não pode ser superior a 7115 pcm (14230 +2). Para atender ambos os critérios tem-se que o máximo excesso de reatividade do núcleo deve ser menor que aproximadamente 7400 pcm.

O excesso de reatividade para o experimento não ultrapassa 4800 pcm. Este excesso de reatividade pode ser absorvido pelas barras de controle com margem de desligamento maior que 9430 pcm ( 14230 - 4800 ). Portanto, as barras de controle e segurança do Reator absorvem o excesso de reatividade proposto para o núcleo do experimento em análise, satisfazendo os critérios de desligamento seguro com muita folga, com margem de mais de 9400 pcm.

Em relação à terceira etapa, para atender o critério **a**, tem-se que o excesso de reatividade do núcleo não pode ser superior às reatividade das barras BS1, BS2 e BC, isto é, 9082 pcm. Para atender o critério **b** tem-se que

o excesso de reatividade do núcleo não pode ser superior a 6760 pcm (13520 +2). Para atender ambos os critérios tem-se que o máximo excesso de reatividade do núcleo deve ser menor que aproximadamente 6600 pcm.

O excesso de reatividade para o experimento não ultrapassa 4800 pcm. Este excesso de reatividade pode ser absorvido pelas barras de controle com margem de desligamento maior que 8720 pcm ( 13520 - 4800 ). Portanto, as barras de controle e segurança do Reator absorvem o excesso de reatividade proposto para o núcleo do experimento em análise, satisfazendo os critérios de desligamento seguro com muita folga, com margem de mais de 8700 pcm.

**Tabela B.1 – Valores de reatividade de barra e margem de desligamento para as 3 configurações do experimento.**

Barra de Controle ou Segurança	Valor Integral na 1.ª Etapa (pcm)	Valor Integral na 2.ª Etapa (pcm)	Valor Integral na 3.ª Etapa (pcm)
BS1	3077	2722	2505
BS2	3125	2964	2536
BS3	*4393	4138	*4438
BC	4348	*4406	4040
<b>Valor total</b>	<b>14943</b>	<b>14230</b>	<b>13520</b>
Valor com a barra mais reativa presa	10550	9824	9082
Margem de desligamento para excesso de 4800 pcm	10143	9430	8720

\* Barra mais reativa

#### **4 Reatividade inserida pelas amostras de MoO<sub>3</sub>**

O irradiador de berílio, utilizado para irradiar as amostras de MoO<sub>3</sub>, tem as mesmas dimensões de um elemento combustível e deve ser manuseado

com o mesmo cuidado, ou seja, a sua colocação e retirada do núcleo dever ser com o reator desligado com todas as barras inseridas. O irradiador comporta dois elementos de irradiação (EIRA) com 16 amostras experimentais. Cada EIRA insere uma reatividade negativa de aproximadamente 170 pcm e, portanto, abaixo do limite estabelecido nas especificações técnicas (500 pcm) [RELATÓRIO DE ANÁLISE DE SEGURANÇA DO REATOR IEA-R1m, 1996], mesmo considerando os dois EIRA's juntos. Portanto, dentro dos critérios de segurança estabelecidos.

## **5 Avaliação de segurança realizadas para o experimento no Reator IEA-R1m.**

Nas mudanças de configuração o excesso de reatividade, previamente calculado com o núcleo sem barras, valor inferido através das curvas de barras medidas experimentalmente utilizando a técnica do período estável. A diferença entre os valores, medido e calculado, não deve ultrapassar 300 pcm.

Nas trocas de configurações, o ganho de reatividade é calculado com o programa CITATION [FLOWER, VONDY, CUNNINGHAM, 1972] em 2 dimensões sem barras de controle e segurança, com as seções de choque macroscópicas gravadas pelo 2DB [LITTLE, HARDIE, 1969]. Em 3 dimensões, são calculados os fatores de multiplicação efetivos sem barras de controle e segurança, para determinação do excesso de reatividade, e com barras na posição crítica, para cálculo de fluxos de nêutrons, distribuição de densidade de potência e fator de pico. Para a geração de seções de choque com o LEOPARD [FANARO, MAIORINO, 1991], [MARAGNI, MAIORINO, 1991,] são consideradas as temperaturas médias de operação a 2 MW, 42 °C para o combustível, 41 °C para o revestimento e 32 °C para o refrigerante. Para determinação do excesso de reatividade a frio (20 °C), adiciona-se o defeito de potência (reatividade introduzida pela variação de temperaturas) ao valor do excesso de reatividade calculado às temperaturas de operação.

A Tabela B.2, apresenta a comparação entre os resultados de excesso de reatividade medidos e calculados para as várias configurações do reator utilizados nos experimentos. Nota-se que a diferença não ultrapassa 300 pcm, e portanto, dentro da margem segura aceita para realização do experimento e operação do reator.

**Tabela B.2 – Comparação entre os excessos de reatividade previstos por cálculo e medidos para as várias configurações do núcleo utilizados no experimento.**

<b>Configuração</b>	<b>Reatividade calculada pcm</b>	<b>Reatividade medida pcm</b>	<b>Diferença pcm</b>
183/184 1.ª Etapa 45 PM	1330	1282	48
185/186 2.ª Etapa 65 PM	1365	1080	285
189/190 3.ª Etapa 65 PM	3493	3600	107

# APÊNDICE C

## DADOS OBTIDOS NOS EXPERIMENTOS

Neste Apêndice estão relacionadas todas as tabelas relativas às contagens de fios e folhas realizadas durante os experimentos A1, A2, A3, R1, A4, A5, A6, A7, A8, A9, R2, R3 e R4. O significado das legendas apresentadas nas colunas das tabelas, encontram-se relacionadas abaixo:

- "ARQ" representa a identificação das folhas e conseqüentemente a identificação dos arquivos de dados armazenados pelo sistema de contagem.
- "MASSA" representa a massa das folhas e fios utilizados ao longo do experimento em gramas.
- "HORA" representa a hora em que se iniciou a contagem das folhas/fios no laboratório da UCRI.
- "LT – live time e RT – real time" o primeiro (LT) representa o tempo de contagem de cada folha irradiada, sem computar o tempo morto e o segundo (RT) representa o tempo de contagem com o tempo morto do sistema.
- "NET" representa a contagem líquida do sistema e o erro da contagem
- "GROSS" representa a contagem total, soma de todos os canais selecionados no multicanal.
- "C" representa a contagem líquida dividido pelo tempo de contagem (RT), ou seja:  $C = \text{NET}/\text{RT}$ .
- "ERRO" representa o erro determinado na contagem,  $\sqrt{C}$ .
- "Te" representa o tempo de espera desde a hora em que a amostra saiu do núcleo do reator até a sua contagem no detetor NaI, em segundos.

- "Co e ERRO" representam a contagem logo após o término da irradiação e seu respectivo erro, isto é,.

$$C_0 = Ce^{\lambda t} \text{ e } \text{ERRO} = \sqrt{C_0}.$$

- "CONT/s.g e ERRO" representam a contagem por segundo por grama e seu respectivo erro, ou seja  $C_0$  (CONT/s)/MASSA(g), [ATALLA, 1978].

### 1. Análise de incertezas dos dados experimentais

Para análise das incertezas utilizou-se os métodos convencionais de propagação de erros, admitindo-se que as medidas sejam eventos independentes, não estando correlacionadas com a queima do material físsil do reator. A contagem de fundo foi descontada das medidas, após serem ambas corrigidas pelo próprio multicanal, do respectivo tempo morto.

Na obtenção dos dados experimentais trabalhamos com o tempo suficiente para acumular 10.000 contagens.

A análise estatística dos dados experimentais obteve-se por até quatro medidas independentes.

Para obtenção do valor médio de contagem nas folhas e fios utilizou-se a expressão (1), que calcula a média aritmética entre as quatro medidas, descontando as contagens de fundo.

$$X_m = \left( \frac{X_a + X_b + X_c}{4} \right) - CF \quad (1)$$

$X_m$  - valor médio das medidas  
 $X_a, X_b$  e  $X_c$  - primeira, segunda e terceira medida.  
 $CF$  - contagem de fundo.

A variância dessa expressão é determinada pela equação:

$$(\sigma_{X_m})^2 = \left( \frac{\partial X_m}{\partial X_a} \right)^2 (\sigma_{X_a})^2 + \left( \frac{\partial X_m}{\partial X_b} \right)^2 (\sigma_{X_b})^2 + \left( \frac{\partial X_m}{\partial X_c} \right)^2 (\sigma_{X_c})^2 + \left( \frac{\partial X_m}{\partial CF} \right)^2 (\sigma_{X_{CF}})^2 \quad (2)$$

onde,

$$\sigma_{X_a} = \sqrt{X_a} \quad \sigma_{X_b} = \sqrt{X_b} \quad \sigma_{X_c} = \sqrt{X_c} \quad \text{e} \quad \sigma_{CF} = \sqrt{CF} \quad (3)$$

$$\sigma_{x_m} = \sqrt{\frac{(\sigma_{x_a})^2 + (\sigma_{x_b})^2 + (\sigma_{x_c})^2}{9} + (\sigma_{x_{cr}})^2} \quad (4)$$

As possíveis fontes de incertezas dos dados experimentais nesses dados são:

- erro na determinação da área do fotopico, esse erro é estatístico e é determinado segundo a expressão,

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{A^* + 2B}{A^*}} \quad (5)$$

- A\* - área sob o foto pico  
 B - contagem da radiação de fundo ("background")

- erro causado pela incerteza na tempo de irradiação. Essa incerteza provém da dificuldade na cronometragem durante a operação, demorada e cuidadosa, para se colocar e retirar o material detetor da posição de irradiação junto ao núcleo do reator. Essa incerteza que inclui o tempo de trânsito da folha durante o percurso na subida, é da ordem de 2 minuto.
- erro causado pela incerteza na meia vida. Esse erro foi calculado por meio dos erros encontrados na literatura [MARTIN, BLICHERT-TOFT, 1970], [RENNER, DIAS, ORTEGA, 1976].
- erro causado pela incerteza na determinação da massa da folha. Esse erro é dado pelo erro da balança utilizada (0,00005 g).

As contagens realizadas foram corrigidas no próprio multicanal, devido ao tempo morto do sistema de medidas.

Foi aplicado um teste de Qui-quadrado aos resultados de contagem fornecidos por esse sistema de medida para verificar sua confiabilidade. Constatou-se por este teste que os resultados obedecem uma distribuição de Poisson [Vuolo, 1996], possibilitando a associação do desvio padrão como sendo a raiz quadrada da medida.

# 1ª ETAPA

Tabela C.1 – Taxa de reação total nas folhas de ouro no EIBe, canal A e B, detector NaI, experimento A1 e A2, posição 45 PM Figura 4.1.

Irradiação 12/11/96 - Contagem 09/12/96 - Detetor / NaI - Canal A do EIBe														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	NET	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
1A	0,01208	10:14:00	59	60	49581	239	53431	826	29	2328480	844957	919	69946742	8363
2A	0,01310	10:17:30	59	60	100461	341	108213	1674	41	2328690	1713121	1309	130772605	11436
3A	0,01200	10:21:30	58	60	144631	409	155800	2411	49	2328930	2468097	1571	205674727	14341
4A	0,01245	10:25:00	58	60	211761	494	227724	3529	59	2329140	3615915	1902	290434931	17042
5A	0,01306	10:06:00	58	60	245261	483	263238	4088	64	2328000	4173757	2043	319683269	17877
6A	0,01228	10:28:30	58	60	229947	516	247975	3832	62	2329350	3928904	1982	319943313	17887
7A	0,01258	10:31:30	58	60	190639	470	205811	3177	56	2329530	3259028	1805	259064214	16095
8A	0,01332	10:34:30	59	60	125634	382	135681	2094	46	2329710	2148900	1466	161328812	12702

Irradiação 12/11/96 - Contagem 09/12/96 - Detetor / NaI - Canal B do EIBe														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	NET	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
1BW	0,01225	10:44:00	59	60	49714	244	54584	829	29	2330280	851774	923	69632580	8339
2BW	0,01322	10:47:30	59	60	92857	330	100762	1548	39	2330490	1591959	1262	120420480	10974
3BW	0,01200	10:50:00	58	60	136182	398	147453	2270	48	2330640	2335774	1528	194647802	13952
4BW	0,01280	10:52:30	58	60	199151	483	216363	3319	58	2330790	3417334	1849	266979211	16339
5BW	0,01218	10:55:00	58	60	220161	507	238776	3669	61	2330940	3779542	1944	310307239	17616
6BW	0,01240	10:57:30	58	60	211888	501	231268	3531	59	2331090	3639142	1908	293479226	17131
7BW	0,01222	11:00:00	58	60	167312	444	182433	2789	53	2331240	2874840	1696	235256946	15338
8BW	0,01220	11:02:30	59	60	108917	358	118581	1815	43	2331390	1872303	1368	153467456	12388

Figura C.2 – Taxa de reação nas folhas de ouro cobertas com cádmio no EIBe, canal A e B, detector HPGe, experimento A1 e A2, posição 45 PM, Figura 4.2.

Irradiação 12/11/96 - Contagem 26/11/96 - Detetor / HPGe - Canal A do EIBe														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	NET	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
1ACd	0,01060	11:17:00	296	300	14100	120	14214	47	7	1206720	1705	41	160892	401
2ACd	0,01035	11:09:00	290	300	35424	191	35764	118	11	1206240	4279	65	413388	643
3ACd	0,01045	11:01:00	283	300	57413	244	58057	191	14	1205760	6925	83	662635	814
4ACd	0,01055	10:45:00	277	300	77891	286	78952	260	16	1204800	9368	97	887921	942
5ACd	0,01048	10:31:00	274	300	87773	303	88944	293	17	1203960	10530	103	1004740	1002
6ACd	0,01010	10:17:00	275	300	83602	296	84764	279	17	1203120	10004	100	990521	995
7ACd	0,01026	10:04:00	279	300	68795	268	69737	229	15	1202340	8213	91	800515	895
8ACd	0,01035	09:08:00	288	300	39141	202	39559	130	11	1198980	4626	68	447001	669

Irradiação 12/11/96 - Contagem 29/11/96 - Detetor / HPGe - Canal B do EIBe														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	NET	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
1BCd	0,01039	08:16:00	595	600	14414	121	14502	24	5	1452960	1814	43	174597	418
2BCd	0,01035	08:50:00	295	300	17173	133	17131	57	8	1455000	4349	66	420185	648
3BCd	0,01068	09:05:34	292	300	27271	167	27494	91	10	1455934	6925	83	648443	805
4BCd	0,01025	09:15:08	290	300	35185	191	35517	117	11	1456508	8950	95	873206	934
5BCd	0,01048	09:24:00	288	300	40078	205	40606	134	12	1457040	10211	101	974353	987
6BCd	0,01038	09:33:45	289	300	38847	200	39192	129	11	1457625	9915	100	955186	977
7BCd	0,01070	09:42:07	292	300	26536	165	26748	88	9	1458127	6783	82	633911	796
8BCd	0,01069	09:49:23	294	300	17854	135	17970	60	8	1458563	4570	68	427483	654

Tabela C.3 - Taxa de reação nas folhas de ouro coberta com cádmio no EIBe, canal A e B, detetor NaI, experimento A1 e A2, posição 45 PM Figura 4.3.

Irradiação 12/11/96 - Contagem 09/12/96 - Detetor NaI - Canal A do EIBe														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	NET	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
1ACdW	0,01060	11:06:30	59	60	9681	112	11083	161	13	2329290	165381	407	15602007	3950
2ACdW	0,01035	11:09:00	59	60	25090	175	27844	418	20	2329440	428806	655	41430512	6437
3ACdW	0,01045	11:12:00	59	60	41549	224	45909	692	26	2329620	710482	843	67986730	8246
4ACdW	0,01055	11:14:00	59	60	59029	266	64792	984	31	2329740	1009748	1005	95710749	9783
5ACdW	0,01048	11:16:00	59	60	67049	283	73500	1117	33	2329860	1147348	1071	109479770	10463
6ACdW	0,01010	11:18:00	59	60	62934	273	68850	1049	32	2329980	1077316	1038	106664996	10328
7ACdW	0,01026	11:20:00	59	60	51026	246	55769	850	29	2330100	873785	935	85164231	9228
8ACdW	0,01035	11:22:00	59	60	27299	181	30078	455	21	2330220	467644	684	45182948	6722

Irradiação 12/11/96 - Contagem 09/12/96 - Detetor / NaI - Canal B do EIBe														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	NET	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
1BCdW	0,01039	11:24:00	59	60	10301	115	11754	172	13	2330340	176524	420	16989755	4122
2BCdW	0,01035	11:26:00	59	60	24990	173	27412	417	20	2330460	428395	655	41390845	6434
3BCdW	0,01068	11:28:00	59	60	40462	221	44567	674	26	2330580	693874	833	64969509	8060
4BCdW	0,01025	11:30:00	59	60	52486	251	57662	875	30	2330700	900393	949	87843212	9372
5BCdW	0,01048	11:32:00	59	60	60554	270	66699	1009	32	2330820	1039170	1019	99157428	9958
6BCdW	0,01038	11:34:00	59	60	57710	262	63243	962	31	2330940	990718	995	95444856	9770
7BCdW	0,01070	11:36:00	59	60	42354	224	46230	706	27	2331060	727358	853	67977403	8245
8BCdW	0,01069	11:38:00	59	60	26212	179	29144	437	21	2331180	450307	671	42124181	6490

Tabela C.4 - Taxa de reação nas folhas de índio cobertas com cádmio no EIBe, canal A e B, detetor NaI, experimento A3, posição 45 PM, Figura 4.4.

In2A folhas de InCd canal A do EIBe - Irradiação 12/11/96 - 1a. Contagem 13/11/96														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
1EA1In	0,17695	09:04:00	29	30	108990	358	118737	3633	60	65280	4,0847E+09	63912	2,3084E+10	151935
1EA2In	0,17653	09:06:00	28	30	289521	584	315225	9651	98	65400	1,1132E+10	105509	6,3061E+10	251120
1EA3In	0,17715	09:08:00	26	30	455945	736	499064	15198	123	65520	1,7986E+10	134112	1,0153E+11	318638
1EA4In	0,17540	09:10:00	25	30	588889	842	649100	19663	140	65640	2,3874E+10	154511	1,3611E+11	368930
1EA5In	0,17895	09:12:00	24	30	669149	850	740969	22305	149	65760	2,7784E+10	166685	1,5526E+11	394031
1EA6In	0,17884	09:14:00	25	30	654063	891	724182	21802	148	65880	2,7862E+10	166919	1,5579E+11	394708
1EA7In	0,17640	09:16:00	26	30	541023	805	594834	18034	134	66000	2,3645E+10	153768	1,3404E+11	366114
1EA8In	0,17710	09:18:00	27	30	315784	609	343540	10526	103	66120	1,4159E+10	118991	7,9949E+10	282752

In2B folhas de InCd canal B do EIBe - Irradiação 12/11/96 - 1a. Contagem 13/11/96														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
1EA1BIn	0,17700	09:34:00	29	30	112331	361	121430	3744	61	67080	6,1819E+09	78625	3,4926E+10	186885
1EA2BIn	0,17582	09:36:00	28	30	280695	573	304725	9357	97	67200	1,5848E+10	125890	9,0139E+10	300231
1EA3BIn	0,17575	09:39:00	26	30	423853	709	463192	14128	119	67380	2,4868E+10	157697	1,4150E+11	376162
1EA4BIn	0,17720	09:42:00	25	30	543935	810	589717	18131	135	67560	3,3164E+10	182109	1,8715E+11	432612
1EA5BIn	0,17700	09:45:00	25	30	591779	847	654338	19726	140	67740	3,7494E+10	193633	2,1183E+11	460249
1EA6BIn	0,17492	09:47:00	25	30	560230	826	621142	18674	137	67860	3,6416E+10	190829	2,0818E+11	456273
1EA7BIn	0,17554	09:49:00	26	30	461242	743	506575	15375	124	67980	3,0759E+10	175383	1,7523E+11	418600
1EA8BIn	0,17470	09:51:00	28	30	259150	555	283315	8638	93	68100	1,7730E+10	133156	1,0149E+11	318576

Tabela C.5 - Taxa de reação nas folhas de índio cobertas com cádmio no EIBe, canal A e B, detetor NaI, experimento A3, posição 45 PM, Figura 4.5.

Ir3 - folhas de Ir/Cd canal A do EIBe - 3a. Contagem														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/g	ERRO
IEA1Air2	0,17666	09:28:00	120	119	10299	169	19371	86	9	153120	1,3382E+16	1,16E+08	7,5628E+16	275005046
IEA2Air2	0,17653	09:36:00	120	119	28200	272	50961	235	15	153600	4,0696E+16	2,01E+08	2,2966E+17	479545328
IEA3Air2	0,17715	09:40:00	120	118	44579	351	84026	371	19	153840	6,7547E+16	2,60E+08	3,8130E+17	617492845
IEA4Air2	0,17540	09:44:00	120	118	62125	413	116341	518	23	154080	9,9080E+16	3,15E+08	5,6488E+17	751586084
IEA5Air2	0,17895	09:49:00	120	117	72321	450	137337	603	25	154380	1,2297E+17	3,51E+08	6,8716E+17	828953948
IEA6Air2	0,17884	09:52:00	120	117	68958	441	131625	575	24	154560	1,2184E+17	3,49E+08	6,8129E+17	825403441
IEA7Air2	0,17640	09:55:00	120	118	55328	387	102551	461	21	154740	1,0159E+17	3,19E+08	5,7590E+17	758877549
IEA8Air2	0,17710	09:58:00	120	119	29446	287	55798	245	16	154920	5,6183E+16	2,37E+08	3,1724E+17	563241459

Ir3 - folhas de Ir/Cd canal B do EIBe - 3a. Contagem														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/g	ERRO
IEA1Bir2	0,17700	10:06:00	120	119	10295	173	20177	86	9	155100	2,0412E+16	1,43E+08	1,1532E+17	338993615
IEA2Bir2	0,17582	10:10:00	120	119	26653	270	49873	222	15	155340	5,5623E+16	2,36E+08	3,1637E+17	562464170
IEA3Bir2	0,17575	10:14:00	120	118	41450	342	79223	345	19	155580	9,1051E+16	3,02E+08	5,1807E+17	719769646
IEA4Bir2	0,17720	10:20:00	120	118	54744	400	107421	456	21	155940	1,2986E+17	3,6E+08	7,3282E+17	866051311
IEA5Bir2	0,17700	10:24:00	120	118	61687	422	119710	514	23	156180	1,5402E+17	3,92E+08	8,7015E+17	932817232
IEA6Bir2	0,17492	10:33:00	120	118	56244	407	110919	469	22	156720	1,5758E+17	3,97E+08	9,0087E+17	949142524
IEA7Bir2	0,17554	10:37:00	120	118	44750	361	87545	373	19	156960	1,3197E+17	3,63E+08	7,5178E+17	867050744
IEA8Bir2	0,17470	10:41:00	120	119	23642	264	46538	197	14	157200	7,3384E+16	2,71E+08	4,2006E+17	648118880

Tabela C.18 - Taxa de reação radial total nas folhas de Alumínio dopado com ouro dentro da cápsula padrão com amostra de MoO<sub>3</sub> no EIBe, canal A, detetor NaI, experimento R1, posição 45 PM, Figura 4.18.

Folhas de Al dopada com Au															
ARQ.	MASSA	DATA	HORA	LT	ERRO	NET	ERRO	GROSS	CONT/g	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/g	ERRO
IEAA	0,04507	18/11/96	09:03:00	114	120	1325469	1205	1388974	11046	105	498540	48705	221	1080656	1040
IEAB	0,05050	18/11/96	09:09:00	114	120	1390129	1240	1463709	11584	108	498900	51136	226	1012592	1006
IEAJ	0,04668	18/11/96	09:16:00	115	120	1277939	1186	1342419	10649	103	499320	47068	217	1008307	1004

## 2ª ETAPA

Tabela C.6 - Taxa de reação total nas folhas de ouro no EIBe, canal A e B, detector NaI, experimento A4, posição 65 PM, Figura 4.6.

Folhas de Au - Irradiação 06/05/97 - Contagem 02/06/97 - Canal A														
ARQ	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
1AW	0,01288	08:14:22	297	300	303820	588	325038	1013	32	2309902	979834	990	76074077	8722
2AW	0,01042	08:53:40	295	300	481175	739	513414	1604	40	2312260	1562741	1250	149975167	12246
3AW	0,01009	09:00:00	293	300	817589	960	869810	2725	52	2312640	2658338	1630	263462653	16232
4AW	0,01222	09:06:29	288	300	1352961	1235	1439584	4510	67	2313029	4404162	2099	360406040	18984
5AW	0,01318	09:12:51	285	300	1630587	1357	1735492	5435	74	2313411	5313929	2305	403181231	20079
6AW	0,01198	09:20:00	287	300	1431765	1269	1521323	4773	69	2313840	4671948	2161	389978952	19748
7AW	0,01277	09:26:34	289	300	1223173	1974	1301247	4077	64	2314234	3995981	1999	312919406	17690
8AW	0,01212	09:33:13	293	300	756599	922	803670	2522	50	2314633	2474668	1573	204180554	14289

Folhas de Au - Irradiação 06/05/97 - Contagem 02/06/97 - Canal B														
ARQ	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
1BW	0,01220	09:39:57	297	300	287602	574	308356	959	31	2314797	941142	970	77142780	8783
2BW	0,01238	09:46:07	295	300	551469	788	586025	1838	43	2315167	1806602	1344	145929103	12080
3BW	0,01206	09:52:21	292	300	932818	1024	990858	3109	56	2315541	3059298	1749	253673136	15927
4BW	0,01230	10:04:00	288	300	1362577	1239	1449097	4542	67	2316240	4478055	2116	364069502	19081
5BW	0,01306	10:10:18	286	300	1611989	1344	1715298	5373	73	2316618	5303701	2303	406102663	20152
6BW	0,01200	10:16:39	287	300	1457260	1283	1551093	4858	70	2316999	4800058	2191	400004797	20000
7BW	0,01228	10:22:48	289	300	1214245	1170	1291958	4047	64	2317368	4003987	2001	326057585	18057
8BW	0,01222	10:29:07	293	300	772749	933	821777	2576	51	2317747	2551025	1597	208758166	14448

Tabela C.7 - Taxa de reação nas folhas de ouro cobertas com cádmio no EIBe, canal A e B, detector NaI, experimento A4, posição 65 PM, Figura 4.7.

Folhas de Au cobertas com Cd - Irradiação 06/05/97 - Contagem 27/05/97 - Canal A														
ARQ	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
1ACd	0,01327	09:02:31	292	300	379847	656	405783	1266	36	1791811	262113	512	19752264	4444
2ACd	0,01263	09:10:00	292	300	876295	994	932599	2921	54	1792260	605494	778	47940928	6924
3ACd	0,01124	09:23:22	288	300	1375553	1246	1463489	4585	68	1793062	952738	976	84763152	9207
4ACd	0,01178	09:30:27	284	300	1820304	1435	1939104	6068	78	1793487	1262378	1124	107162798	10352
5ACd	0,01078	09:37:10	282	300	1997758	1501	2125774	6659	82	1793890	1387105	1178	128673889	11343
6ACd	0,01147	09:46:22	283	300	1939444	1408	2065348	6465	80	1794442	1348829	1161	117596290	10844
7ACd	0,01092	09:53:00	286	300	1540132	1319	1639924	5134	72	1794840	1072389	1036	98204081	9910
8ACd	0,01085	09:59:40	292	300	855690	980	908394	2852	53	1795240	596524	772	54979143	7415

Folhas de Au cobertas com Cd - Irradiação 06/05/97 - Contagem 27/05/97 - Canal B														
ARQ	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
1BCd	0,01180	10:07:01	296	300	391905	667	418161	1306	36	1795441	273371	523	23167003	4813
2BCd	0,01064	10:13:43	292	300	897890	1004	953234	2993	55	1795843	627067	792	58934847	7677
3BCd	0,00971	10:20:37	288	300	1304581	1210	1384933	4349	66	1796257	912214	955	93945847	9693
4BCd	0,01094	10:27:18	283	300	1863168	1452	1985232	6211	79	1796658	1304356	1142	119228141	10919
5BCd	0,01065	10:33:42	282	300	2036449	1522	2176897	6788	82	1797042	1427296	1195	134018375	11577
6BCd	0,01091	10:40:26	281	300	2064892	1533	2207068	6883	83	1797446	1448972	1204	132811352	11524
7BCd	0,01006	10:47:04	286	300	1605157	1347	1709653	5351	73	1797844	1127703	1062	112097668	10588
8BCd	0,01082	10:54:24	291	300	988137	1057	1052841	3294	57	1798284	695125	834	64244457	8015

Tabela C.8 - Taxa de reação total no fio de molibdênio no EIBe, canal A, detector NaI, experimento A5, posição 65 PM, Figura 4.8.

Potência = 20 kW - Tempo de Irradiação = 30 min. - Canal A - Irradiação 06/05/97 - Contagem 13/05/97																	
POS.	MASSA	(h, m, s)	LT	RT	NET	E	GROSS	C	E	Te	Co	E	cont/s.g	ERRO	média/erro		
1	0,02200	07:09:09	119	120	2680	52	2680	22	5	584109	123	11	5577	75	4945 70		
2	0,02328	07:12:07	119	120	2554	59	3011	21	5	584287	117	11	5025	71			
3	0,02283	07:15:05	119	120	1997	69	3368	17	4	584465	92	10	4009	63			
4	0,02116	07:18:11	118	120	1725	73	3553	14	4	584651	79	9	3738	61			
5	0,02124	07:21:51	118	120	2952	69	3866	25	5	584871	135	12	6377	80			
6	0,02216	07:24:48	118	120	1104	87	4303	9	3	585048	51	7	2287	48	6080 76		
7	0,02021	07:27:57	118	120	1638	84	4380	14	4	585237	75	9	3723	61			
8	0,02209	07:32:35	118	120	3747	81	5118	31	6	585515	172	13	7788	88			
9	0,02165	07:35:43	118	120	3865	87	5693	32	6	585703	178	13	8212	91			
10	0,02249	07:38:55	117	120	4096	93	6381	34	6	585895	189	14	8382	92			
11	0,02260	07:41:49	117	120	4601	96	6886	38	6	586069	212	15	8374	97	11565 107		
12	0,02421	07:44:44	117	120	6444	96	7815	54	7	586244	297	17	12262	111			
13	0,02341	07:47:44	117	120	6324	100	8152	53	7	586424	291	17	12452	112			
14	0,02422	07:50:56	117	120	5856	111	9055	49	7	586615	270	16	11151	106			
15	0,02154	07:53:53	117	120	5874	111	9073	49	7	586793	271	16	12584	112			
16	0,02143	07:56:50	116	120	6007	115	9663	50	7	586970	277	17	12941	114	15804 125		
17	0,02343	07:59:41	116	120	6889	123	11002	57	8	587141	318	18	13581	117			
18	0,02250	08:02:39	116	120	9094	117	11379	76	9	587319	420	21	18679	137			
19	0,02013	08:05:39	116	120	6917	119	10573	58	8	587499	320	18	15888	126			
20	0,02213	08:08:35	115	120	8576	126	12232	71	8	587675	397	20	17928	134			
21	0,02258	08:12:08	115	120	8961	131	18074	75	9	587888	415	20	18371	136	20407 143		
22	0,02398	08:15:12	115	120	9992	167	15019	83	9	588072	463	22	19299	139			
23	0,02206	08:18:30	115	120	10761	134	14417	90	9	588270	499	22	22606	150			
24	0,02389	08:21:26	114	120	9577	153	16432	80	9	588446	444	21	18587	136			
25	0,02600	08:24:30	114	120	12985	152	18012	108	10	588630	602	25	23169	152			
26	0,02365	08:27:23	114	120	11923	151	17407	99	10	588803	553	24	23400	153	25551 160		
27	0,02435	08:30:15	114	120	13440	153	18467	112	11	588975	624	25	25632	160			
28	0,02335	08:34:28	113	120	12423	156	18364	104	10	589228	577	24	24725	157			
29	0,02428	08:37:38	113	120	14612	157	19639	122	11	589418	679	26	27983	167			
30	0,02351	08:46:15	114	120	13134	161	19532	109	10	589935	612	25	26016	161			
31	0,02116	08:49:12	114	120	13012	152	18039	108	10	590112	606	25	28651	169	28151 168		
32	0,02251	08:52:08	114	120	12751	163	19606	106	10	590288	594	24	26406	163			
33	0,01994	08:55:04	114	120	11473	156	17871	96	10	590464	535	23	26836	164			
34	0,02151	08:57:00	114	120	14525	154	19095	121	11	590580	678	26	31505	177			
35	0,01931	09:00:52	114	120	11315	155	17713	94	10	590812	528	23	27358	165			
36	0,02149	09:03:51	114	120	14811	155	19381	123	11	590991	692	26	32194	179	30185 174		
37	0,02307	09:06:57	113	120	14353	168	21208	120	11	591177	671	26	29078	171			
38	0,02453	09:09:55	113	120	15909	169	22307	133	12	591355	744	27	30328	174			
39	0,02364	09:12:47	113	120	13868	171	21637	116	11	591527	649	25	27446	166			
40	0,02571	09:15:40	112	120	17509	169	22993	146	12	591700	820	29	31878	179			
41	0,02217	09:18:39	113	120	13807	163	20205	115	11	591879	647	25	29167	171	28778 170		
42	0,02250	09:21:40	113	120	12915	166	20227	108	10	592060	605	25	26897	164			
43	0,02228	09:24:37	113	120	14584	160	20068	122	11	592237	684	26	30688	175			
44	0,02053	09:27:35	114	120	12938	155	18422	108	10	592415	607	25	29561	172			
45	0,02570	09:30:23	113	120	15102	170	21957	126	11	592583	709	27	27577	166			

Tabela C.8 cont. - Taxa de reação total no fio de molibdênio no EIBe, canal A, detector NaI, experimento A5, posição 65 PM, Figura 4.8.

46	0,02257	09:33:19	114	120	13991	158	19475	117	11	592759	657	26	29106	171	25706	160
47	0,02282	09:36:09	114	120	11594	165	19363	97	10	592929	545	23	23667	154		
48	0,02277	09:39:03	114	120	12253	158	18651	102	10	593103	576	24	25292	159		
49	0,02246	09:41:55	114	120	11204	158	18059	93	10	593275	527	23	23458	153		
50	0,02267	09:44:49	114	120	12916	152	17943	108	10	593449	608	25	26805	164		
51	0,02284	09:47:38	114	120	10777	154	17175	90	9	593618	507	23	22211	149	19912	141
52	0,02299	09:59:47	114	120	9743	153	16598	81	9	594347	460	21	19991	141		
53	0,02384	10:02:41	114	120	10537	153	16935	88	9	594521	497	22	20860	144		
54	0,02318	10:05:27	115	120	9712	147	15653	81	9	594687	459	21	19784	141		
55	0,02338	10:08:10	115	120	8273	148	15128	69	8	594850	391	20	16716	129		
56	0,02273	10:10:53	115	120	10768	131	13967	90	9	595013	509	23	22390	150	17697	133
57	0,02321	10:13:38	115	120	7681	140	13622	64	8	595178	363	19	15649	125		
58	0,02333	10:16:43	116	120	9139	128	12795	76	9	595363	432	21	18533	136		
59	0,02425	10:19:48	116	120	8338	125	11994	69	8	595548	395	20	16276	128		
60	0,02169	10:25:06	116	120	7158	116	10357	60	8	595865	339	18	15636	125		
61	0,02429	10:27:55	116	120	7223	117	10422	60	8	596035	342	19	14096	119	11021	104
62	0,02400	10:31:22	117	120	7005	108	9290	58	8	596242	332	18	13845	118		
63	0,02388	10:34:43	117	120	5996	103	8281	50	7	596443	285	17	11917	109		
64	0,02259	10:37:40	117	120	4392	99	7134	37	6	596620	209	14	9232	96		
65	0,02094	10:40:40	118	120	3379	84	5207	28	5	596800	161	13	7667	88		
66	0,02167	10:43:49	118	120	4270	89	6098	36	6	596989	203	14	9367	97		

Tabela C.9 - Taxa de reação total no fio de molibdênio no EIBe, canal B, detector NaI, experimento A4, posição 65 PM, Figura 4.9.

Potência = 20 kW - Tempo de Irradiação = 30 min. - Canal B - Irradiação 06/05/97 - Contagem 12/05/97																
POS.	MASSA	(h, m, s)	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO	média/erro	
1	0,02123	12:36:05	119	120	2212	64	3126	18	4	517025	83	9	3923	63	4518 67	
2	0,02309	12:39:25	118	120	2780	68	3694	23	5	517225	105	10	4535	67		
3	0,02580	12:43:05	118	120	2705	80	4533	23	5	517445	102	10	3952	63		
4	0,02446	12:46:13	118	120	3216	83	5044	27	5	517633	121	11	4959	70		
5	0,02416	12:49:32	118	120	3344	89	5629	28	5	517832	126	11	5223	72		
6	0,02347	12:52:45	118	120	3908	92	6193	33	6	518025	148	12	6287	79	7894 88	
7	0,02215	12:55:49	117	120	3450	99	6649	29	5	518209	130	11	5884	77		
8	0,02203	12:58:33	117	120	5038	98	7323	42	6	518373	190	14	8643	93		
9	0,02233	13:01:16	117	120	5164	103	7906	43	7	518536	195	14	8745	94		
10	0,02314	13:04:07	117	120	6063	111	9232	51	7	518707	229	15	9913	100		
11	0,02260	13:07:00	117	120	6159	116	9815	51	7	518880	233	15	10315	102	12823 113	
12	0,02230	13:09:51	116	120	7353	117	10552	61	8	519051	278	17	12487	112		
13	0,02212	13:12:42	116	120	6628	126	11198	55	7	519222	251	16	11353	107		
14	0,02249	13:15:33	116	120	9618	123	12360	80	9	519393	365	19	16212	127		
15	0,02291	13:18:43	115	120	8305	135	13332	69	8	519583	315	18	13750	117		
16	0,02191	13:21:30	115	120	8601	137	13628	72	8	519750	326	18	14897	122	16694 129	
17	0,02247	13:24:22	115	120	8756	144	14697	73	9	519922	332	18	14795	122		
18	0,02204	13:27:12	115	120	10773	141	15343	90	9	520092	409	20	18567	136		
19	0,02279	13:29:58	114	120	8540	155	16852	80	9	520258	363	19	15909	126		
20	0,02311	13:32:49	114	120	11732	157	18130	98	10	520429	446	21	19303	139		
21	0,02290	13:35:42	114	120	14248	153	18818	119	11	520602	542	23	23669	154	22961 151	
22	0,02309	13:38:26	113	120	12248	167	20017	102	10	520766	466	22	20189	142		
23	0,02479	13:41:18	113	120	15977	170	22375	133	12	520938	608	25	24542	157		
24	0,02307	13:44:06	113	120	13554	173	21780	113	11	521106	516	23	22383	150		
25	0,02312	13:47:01	112	120	14569	181	23709	121	11	521281	555	24	24020	155		
26	0,02465	13:50:18	112	120	17227	181	24996	144	12	521478	657	26	26655	163	27876 167	
27	0,02206	13:53:27	112	120	15551	181	24234	130	11	521667	593	24	26901	164		
28	0,02220	13:56:32	112	120	16599	182	24825	138	12	521852	634	25	28548	169		
29	0,02235	13:59:22	112	120	18566	180	25421	155	12	522022	709	27	31733	178		
30	0,02422	14:02:19	111	120	16186	200	28068	135	12	522199	619	25	25542	160		
31	0,02202	14:05:09	112	120	15242	193	26210	127	11	522369	583	24	26469	163	30059 173	
32	0,02212	14:08:08	111	120	18580	187	25806	155	12	522548	711	27	32136	179		
33	0,02230	14:10:57	111	120	18095	191	27235	151	12	522717	693	26	31060	176		
34	0,02200	14:13:47	111	120	18642	190	27325	155	12	522887	714	27	32451	180		
35	0,02207	14:16:35	111	120	16231	195	27199	135	12	523055	622	25	28179	168		
36	0,02307	14:19:25	111	120	18757	197	28811	156	13	523225	719	27	31168	177	29784 173	
37	0,02194	14:22:18	111	120	16967	197	27932	141	12	523398	651	26	29661	172		
38	0,02470	14:25:34	111	120	20019	196	29159	167	13	523594	768	28	31103	176		
39	0,02362	14:32:03	111	120	17439	203	29321	145	12	523983	670	26	28366	168		
40	0,02465	14:34:56	111	120	18356	198	28867	153	12	524156	706	27	28624	169		
41	0,02558	14:38:00	111	120	17481	203	29363	146	12	524340	672	26	26283	162	27554 166	
42	0,02497	14:41:01	111	120	17516	199	28484	146	12	524521	674	26	26993	164		
43	0,02455	14:44:07	111	120	18616	194	28213	155	12	524707	717	27	29195	171		
44	0,02443	14:47:06	111	120	18657	190	27340	155	12	524886	719	27	29418	172		
45	0,02507	14:50:25	111	120	16834	195	27345	140	12	525085	649	25	25881	161		

Tabela C.9 cont. - Taxa de reação total no fio de molibdênio no EIBe, canal B, detector NaI, experimento A4, posição 65 PM, Figura 4.9.

46	0,02513	14:53:21	112	120	16854	190	26451	140	12	525261	650	25	25863	161	25738	160
47	0,02491	14:56:19	112	120	17092	186	25775	142	12	525439	659	26	26474	163		
48	0,02484	14:59:12	112	120	16207	183	24890	135	12	525612	626	25	25186	159		
49	0,02514	15:02:11	112	120	17903	175	24301	149	12	525791	691	26	27504	166		
50	0,02500	15:05:10	112	120	15309	178	23535	128	11	525970	592	24	23663	154		
51	0,02504	15:07:53	113	120	12453	175	22050	104	10	526133	481	22	19227	139	17889	134
52	0,02471	15:10:50	113	120	12325	172	21008	103	10	526310	477	22	19294	139		
53	0,02752	15:13:40	114	120	13080	158	19021	109	10	526480	506	22	18394	136		
54	0,02447	15:16:41	114	120	10815	159	18127	90	9	526661	419	20	17113	131		
55	0,02528	15:20:15	114	120	10060	157	17372	84	9	526875	390	20	15418	124		
56	0,02348	15:23:45	115	120	9953	145	15437	83	9	527085	386	20	16434	128	12622	112
57	0,02435	15:26:34	115	120	7745	146	14600	65	8	527254	300	17	12337	111		
58	0,02335	15:29:20	116	120	7999	131	12569	67	8	527420	310	18	13294	115		
59	0,02248	15:38:05	116	120	6341	128	11368	53	7	527945	246	16	10963	105		
60	0,02284	15:40:55	116	120	5921	119	10034	49	7	528115	230	15	10081	100		
61	0,02361	15:44:07	117	120	5094	115	9207	42	7	528307	198	14	8394	92	7920	89
62	0,02497	15:47:16	117	120	4280	112	8393	36	6	528496	167	13	6673	82		
63	0,01669	15:50:10	118	120	3725	86	5553	31	6	528670	145	12	8693	93		

Tabela C.10 - Taxa de reação no fio de molibdênio coberto com cádmio no EIBe, canal A, detector NaI, experimento A6, posição 65 PM, Figura 4.10.

IRRADIAÇÃO 06/05/97 - CONTAGEM 08/05/97-POSICÃO 65 DA PM																
POS	MASSA	(h, m, s)	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO	média/erro	
1	0,02115	12:20:00	118	120	2781	71	3934	23	5	174420	39	6	1822	43	2148 46	
2	0,02415	12:23:00	118	120	2799	86	5106	23	5	174600	39	6	1607	40		
3	0,02477	12:27:40	117	120	4478	91	6400	37	6	174840	62	8	2509	50		
4	0,02227	12:30:42	117	120	3708	99	6784	31	6	175062	51	7	2312	48		
5	0,02128	12:33:42	117	120	3815	107	7660	32	6	175242	53	7	2491	50		
6	0,02328	12:37:44	116	120	6483	112	9559	54	7	175484	90	9	3872	62	4861 69	
7	0,02364	12:40:00	116	120	6912	124	11141	58	8	175620	96	10	4067	64		
8	0,02379	12:44:00	115	120	7327	135	12710	61	8	175860	102	10	4287	65		
9	0,02356	12:47:10	115	120	9725	138	14339	81	9	176050	135	12	5748	76		
10	0,02170	12:50:10	115	120	9861	141	14859	82	9	176230	137	12	6332	80		
11	0,02242	12:53:04	114	120	10667	149	16434	89	9	176404	149	12	6633	81	7598 87	
12	0,02370	12:56:10	113	120	10105	167	18948	84	9	176590	141	12	5947	77		
13	0,02227	12:59:30	113	120	12346	164	19651	103	10	176790	172	13	7737	88		
14	0,02376	13:02:40	112	120	15375	171	22296	128	11	176980	215	15	9036	95		
15	0,02315	13:05:35	112	120	14315	179	23158	119	11	177155	200	14	8639	93		
16	0,02371	13:09:05	111	120	16040	186	25268	134	12	177365	224	15	9457	97	10714 103	
17	0,02498	13:12:18	110	120	18462	184	28074	154	12	177558	258	16	10338	102		
18	0,02285	13:15:25	110	120	18126	193	27738	151	12	177745	254	16	11102	105		
19	0,02380	13:18:20	110	120	19474	202	30240	162	13	177920	273	17	11457	107		
20	0,02356	13:21:25	109	120	18859	210	31547	157	13	178105	264	16	11214	106		
21	0,02416	13:24:40	108	120	20377	217	33834	170	13	178300	286	17	11823	109	13374 115	
22	0,02363	13:27:00	108	120	20184	221	34410	168	13	178440	283	17	11978	109		
23	0,02319	13:31:05	108	120	21638	222	35480	180	13	178685	304	17	13094	114		
24	0,02309	13:34:08	108	120	25028	219	36563	209	14	178868	351	19	15219	123		
25	0,02090	13:37:20	108	120	21953	218	34641	183	14	179060	308	18	14756	121		
26	0,02237	16:15:35	107	120	24395	223	36699	203	14	188558	352	19	15751	126	15835 126	
27	0,02285	16:18:40	107	120	23968	229	38194	200	14	188740	346	19	15158	123		
28	0,02224	16:21:40	106	120	21834	233	36983	182	13	188920	316	18	14195	119		
29	0,02324	16:30:00	106	120	27378	230	40006	228	15	189420	396	20	17058	131		
30	0,02287	16:33:24	106	120	26857	230	39930	224	15	189624	389	20	17014	130		
31	0,02259	16:36:47	106	120	22867	240	40169	191	14	189827	331	18	14675	121	16451 128	
32	0,02319	16:39:50	106	120	26223	240	41987	219	15	190010	380	20	16402	128		
33	0,02319	16:42:45	106	120	26705	240	42085	223	15	190185	388	20	16712	129		
34	0,02363	16:45:50	105	120	29775	238	43232	248	16	190370	432	21	18296	135		
35	0,02346	16:49:45	105	120	26112	245	43030	218	15	190605	379	19	16172	127		
36	0,02497	16:53:00	104	120	28992	248	45141	242	16	190800	421	21	16880	130	16735 129	
37	0,02507	16:56:30	104	120	28351	252	46038	236	15	191010	412	20	16451	128		
38	0,02483	16:59:45	104	120	28973	251	45891	241	16	191205	422	21	16984	130		
39	0,02297	17:02:50	105	120	28248	240	42859	235	15	191390	411	20	17809	134		
40	0,02301	17:05:50	105	120	24398	246	42469	203	14	191570	355	19	15450	124		
41	0,02301	17:08:52	105	120	27125	241	42505	226	15	191752	395	20	17186	131	16827 130	
42	0,02287	17:11:00	106	120	25669	241	41818	214	15	191880	374	19	16369	128		
43	0,02259	17:15:10	106	120	26380	236	40991	220	15	192130	385	20	17043	131		
44	0,02271	17:18:29	106	120	26471	234	40697	221	15	192329	387	20	17021	130		
45	0,02296	17:21:22	106	120	25957	233	40183	216	15	192502	379	19	16518	129		

Tabela C.10 cont. - Taxa de reação total no fio de molibdênio coberto com cádmio no EIBe, canal A, detetor NaI, experimento A6, posição 65 PM, Figura 4.10.

46	0,02259	17:24:20	107	120	22665	234	38814	189	14	192680	331	18	14667	121	15182	123
47	0,02263	17:27:23	107	120	24128	229	38354	201	14	192863	353	19	15594	125		
48	0,02275	17:30:20	107	120	24376	226	37833	203	14	193040	357	19	15679	125		
49	0,02257	17:32:57	108	120	22427	224	36269	187	14	193197	328	18	14547	121		
50	0,02221	17:35:46	108	120	23387	214	34537	195	14	193366	343	19	15423	124		
51	0,02430	17:38:48	108	120	21421	223	35647	179	13	193548	314	18	12919	114	12921	114
52	0,02340	07:25:08	110	120	19929	194	28772	166	13	243129	338	18	14423	120		
53	0,02271	07:28:09	111	120	17246	191	26858	144	12	243309	292	17	12867	113		
54	0,02304	07:31:19	111	120	16599	187	25827	138	12	243499	281	17	12214	111		
55	0,02267	07:34:34	111	120	16279	178	23969	136	12	243694	276	17	12181	110		
56	0,02272	07:37:35	112	120	13803	175	22262	115	11	243875	234	15	10311	102	8586	92
57	0,02478	07:40:53	112	120	13405	178	22633	112	11	244073	228	15	9187	96		
58	0,02514	07:44:04	113	120	12264	163	20416	102	10	244264	208	14	8289	91		
59	0,02485	07:47:15	113	120	12351	157	18503	103	10	244455	210	14	8450	92		
60	0,02637	07:50:33	114	120	10376	153	16912	86	9	244653	177	13	6693	82		
61	0,02363	07:53:30	115	120	7558	138	13325	63	8	244830	129	11	5444	74	4995	71
62	0,02484	07:56:29	115	120	8371	124	11831	70	8	245009	143	12	5739	76		
63	0,02218	07:59:38	116	120	6142	111	9218	51	7	245198	105	10	4718	69		
64	0,02414	08:02:38	117	120	5776	102	8083	48	7	245378	98	10	4079	64		

Tabela C.11 - Taxa de reação no fio de molibdênio coberto com cádmio no EIBe, canal B, detector NaI, experimento A6, posição 65 PM, Figura 4.11.

Mo/Cd - Potência = 20 kW - Tempo de Irradiação = 30 min. - Detetor NaI															
POS.	MASSA	(h, m, s)	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO	média/erro
1	0,02277	08:08:19	119	120	1380	57	2294	12	3	504919	50	7	2203	47	3144 55
2	0,02238	08:11:25	119	120	1517	58	2431	13	4	505105	55	7	2465	50	
3	0,02364	08:18:45	119	120	1128	69	2956	9	3	505545	41	6	1737	42	
4	0,02251	08:21:46	119	120	2825	61	3882	24	5	505726	103	10	4572	68	
5	0,02282	08:24:35	118	120	2970	69	3884	25	5	505895	108	10	4743	69	
6	0,02337	08:27:38	118	120	2026	81	4311	17	4	506078	74	9	3161	56	5448 73
7	0,02250	08:30:28	118	120	2978	81	4806	25	5	506248	109	10	4829	69	
8	0,02280	08:33:25	118	120	2817	91	5559	23	5	506425	103	10	4510	67	
9	0,02218	08:36:20	118	120	3731	91	6016	31	6	506600	136	12	6143	78	
10	0,02303	08:39:00	117	120	5420	90	6791	45	7	506760	198	14	8599	93	
11	0,02220	08:41:58	117	120	4800	97	7085	40	6	506938	175	13	7904	89	9626 98
12	0,02233	08:44:53	117	120	5749	102	8034	48	7	507113	210	15	8416	97	
13	0,02263	08:47:49	117	120	5348	108	8547	45	7	507289	196	14	8648	93	
14	0,02259	08:50:39	117	120	7370	105	9198	61	8	507459	270	16	11945	109	
15	0,02248	08:53:40	116	120	6271	117	9927	52	7	507640	230	15	10219	101	
16	0,02260	08:56:40	116	120	7031	120	10687	59	8	507820	258	16	11402	107	13580 116
17	0,02241	08:59:38	116	120	7798	123	11454	65	8	507998	286	17	12760	113	
18	0,02168	09:02:32	116	120	7546	126	11659	63	8	508172	277	17	12770	113	
19	0,02208	09:05:28	116	120	9252	125	12451	77	9	508348	340	18	15381	124	
20	0,02267	09:08:27	115	120	9623	130	13279	80	9	508527	353	19	15590	125	
21	0,02200	09:11:12	115	120	9434	133	13547	79	9	508692	347	19	15756	126	17570 132
22	0,02348	09:13:57	115	120	11126	139	15239	93	10	508857	409	20	17419	132	
23	0,02282	09:16:48	115	120	11167	139	15290	93	10	509028	411	20	17998	134	
24	0,02200	09:19:43	115	120	10577	144	15604	88	9	509203	389	20	17692	133	
25	0,02268	09:22:34	114	120	11696	147	16723	97	10	509374	431	21	18986	138	
26	0,02261	09:25:25	114	120	11650	147	16677	97	10	509545	429	21	18980	138	18879 137
27	0,02200	09:28:13	114	120	11054	151	16995	92	10	509713	407	20	18517	136	
28	0,02259	09:31:08	114	120	12281	152	17765	102	10	509888	453	21	20045	142	
29	0,02239	09:33:57	114	120	11238	158	18093	94	10	510057	415	20	18516	136	
30	0,02239	09:36:51	114	120	11125	160	18437	93	10	510231	411	20	18339	135	
31	0,02180	09:39:43	114	120	12000	157	18401	100	10	510403	443	21	20327	143	22591 150
32	0,02233	09:42:40	114	120	12771	160	19169	106	10	510580	472	22	21131	145	
33	0,02179	09:45:21	114	120	14809	152	18922	123	11	510740	547	23	25121	158	
34	0,02148	09:48:13	114	120	14418	153	18988	120	11	510913	533	23	24824	158	
35	0,02263	09:51:09	114	120	13182	158	19123	110	10	511089	488	22	21553	147	
36	0,02264	09:54:03	113	120	14155	161	20096	118	11	511263	524	23	23146	152	22227 149
37	0,02241	09:56:01	113	120	14018	161	19959	117	11	511381	519	23	23165	152	
38	0,02341	09:59:50	113	120	11890	171	20573	99	10	511610	441	21	18822	137	
39	0,02387	10:02:40	113	120	14118	167	20973	118	11	511780	523	23	21929	148	
40	0,02398	10:05:45	113	120	15563	166	21504	130	11	511965	577	24	24075	155	
41	0,02189	10:08:35	113	120	12960	160	19358	108	10	512135	481	22	21974	148	22958 151
42	0,02359	10:11:30	113	120	16226	159	20796	135	12	512310	603	25	25542	160	
43	0,02314	10:14:30	113	120	14527	163	20468	121	11	512490	540	23	23324	153	
44	0,02364	10:17:23	113	120	14551	163	20492	121	11	512663	541	23	22880	151	
45	0,02341	10:20:08	113	120	13263	164	20118	111	11	512828	493	22	21070	145	

Tabela C.11 cont. - Taxa de reação total no fio de molibdênio coberto com cádmio no EIBe, canal B, experimento A6, posição 65 PM, Figura 4.11.

46	0,02315	10:22:57	114	120	13863	158	19347	116	11	512997	516	23	22281	149	20266	142
47	0,02378	10:25:40	114	120	11898	163	19210	99	10	513160	443	21	18625	136		
48	0,02273	10:28:34	114	120	11685	159	18540	97	10	513334	435	21	19147	138		
49	0,02310	10:31:35	114	120	14024	149	18137	117	11	513515	523	23	22623	150		
50	0,02396	10:34:35	114	120	11988	157	18386	100	10	513695	447	21	18654	137		
51	0,02366	10:37:30	114	120	10429	155	17284	87	9	513870	389	20	16443	128	18545	136
52	0,02273	10:40:05	115	120	11820	145	16390	99	10	514025	441	21	19407	139		
53	0,02212	10:43:15	115	120	11580	137	15236	97	10	514215	432	21	19548	140		
54	0,02252	10:46:03	115	120	11358	133	14557	95	10	514383	424	21	18842	137		
55	0,02266	10:48:55	115	120	11206	133	14405	93	10	514555	419	20	18484	136		
56	0,02183	10:51:40	116	120	9191	132	13304	77	9	514720	344	19	15744	125	12935	113
57	0,02100	10:54:38	116	120	7987	127	12100	67	8	514898	299	17	14230	119		
58	0,02214	10:57:27	116	120	8108	125	11864	68	8	515067	304	17	13709	117		
59	0,02409	11:00:12	116	120	6716	129	11743	56	7	515232	252	16	10441	102		
60	0,02243	11:03:20	116	120	6315	117	9971	53	7	515420	237	15	10550	103		
61	0,02228	11:06:05	117	120	7012	108	9297	58	8	515585	263	16	11799	109	7934	88
62	0,02248	11:08:55	117	120	5249	108	8448	44	7	515755	197	14	8758	94		
63	0,02272	11:11:36	117	120	5492	96	7320	46	7	515916	206	14	9071	95		
64	0,02315	11:14:15	118	120	4484	95	6769	37	6	516075	168	13	7272	85		
65	0,02329	11:17:05	118	120	3529	90	5817	29	5	516245	133	12	5692	75		
66	0,02667	11:19:50	118	120	3556	85	5384	30	5	516410	134	12	5011	71		

Tabela C.19 - Taxa de reação radial nas folhas de alumínio dopadas com ouro dentro da cápsula padrão com MoO<sub>3</sub> no EIBe, canal A, detector NaI, experimento R2, posição 65 PM, Figura 4.19.

Folhas de Al dopada com Au - Fluxo Radial - 1a. e 2a. contagem															
POS.	MASSA	DATA	h,m,s	LT	RT	NET	E	GROSS	C	E	Te	Co	E	CONT/s.g	E
A	0,04507	19/05/97	10:00:38	294	300	618282	840	662124	2061	45	1108669	55856	236	1239324	1113
B	0,05050	19/05/97	10:19:50	294	300	632583	850	677242	2109	46	1109821	57345	239	1135536	1066
J	0,04668	19/05/97	10:37:04	294	300	579631	813	620030	1932	44	1110855	52706	230	1129099	1063
	0,04507	19/05/97	10:07:31	294	300	617222	841	662129	2057	45	1109082	55829	236	1238721	1113
B	0,05050	19/05/97	10:28:20	294	300	628917	848	673931	2096	46	1110331	57099	239	1130670	1063
J	0,04668	19/05/97	10:43:00	294	300	581790	812	620840	1939	44	1111211	52959	230	1134506	1065

### 3. ETAPA

Tabela C.12 – Taxa de reação total de folhas de ouro no EIBe, canal A, detector NaI, experimento A7, posição 65 PM, Figura 4.12.

1. Contagem - irradiação 07/07/97 - contagem 01/08/97														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	E	GROSS	C	E	Te	Co	E	CONT/s.g	E
E11	0,01221	08:57:39	59	60	95110	326	100774	1585	40	2153079	961681	981	78761790	8875
E21	0,01048	08:59:31	58	60	162211	425	171533	2704	52	2153191	1640704	1281	156555686	12512
E31	0,01123	09:01:18	57	60	256882	534	271278	4281	65	2153298	2599093	1612	231441933	15213
E41	0,01212	09:03:18	57	60	337012	613	356364	5617	75	2153418	3411054	1847	281440103	16776
E51	0,01163	09:05:08	57	60	350836	628	372902	5847	76	2153528	3552136	1885	305428706	17477
E61	0,01019	09:06:59	57	60	297623	576	314851	4960	70	2153639	3014362	1736	295815683	17199
E71 *	0,01184	09:09:08	57	60	264897	544	280473	4415	66	2151848	2668646	1634	225392403	15013
E81	0,01081	09:11:26	58	60	157074	420	161233	2618	51	2153906	1592129	1262	147282995	12136

2. Contagem - irradiação 07/07/97 - contagem 04/08/97														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	E	GROSS	C	E	Te	Co	E	CONT/s.g	E
E12	0,01221	09:21:36	59	60	43735	226	47511	729	27	2413716	960550	990	78669097	8870
E22	0,01048	09:23:21	59	60	75602	291	80204	1260	35	2413821	1660962	1289	158488741	12589
E32	0,01113	09:25:14	58	60	121484	367	127974	2025	45	2413934	2669879	1634	239881298	15488
E42	0,01212	09:27:21	58	60	159913	424	169943	2665	52	2414061	3515770	1875	290079993	17032
E52	0,01163	09:29:10	58	60	166899	432	176929	2782	53	2414170	3670551	1916	315610565	17765
E62	0,01019	09:31:20	58	60	140373	396	148633	2340	48	2414300	3088369	1757	303078369	17409
E72 *	0,01184	09:33:10	58	60	126001	371	133081	2100	46	2412490	2757275	1661	232877925	15260
E82	0,01081	09:35:03	59	60	73718	287	78084	1229	35	2414523	1622958	1274	150134891	12253

3. Contagem - irradiação 07/07/97 - contagem 04/08/97														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	ERRC	GROSS	C	ERRC	Te	Co	ERRC	CONT/s.g	ERRO
E13	0,01221	14:11:22	59	60	42416	218	45012	707	27	2431102	981053	990	80348351	8964
E23	0,01048	14:13:10	59	60	71511	285	76349	1192	35	2431210	1654533	1286	157875263	12565
E33	0,01113	14:15:06	59	60	114293	358	121255	1905	44	2431326	2645283	1626	237671398	15417
E43	0,01212	14:16:57	58	60	153113	410	160665	2552	51	2431437	3544933	1883	292486195	17102
E53	0,01163	14:18:50	58	60	159454	422	168776	2658	52	2431550	3692984	1922	317539449	17820
E63	0,01019	14:20:53	58	60	133075	387	141335	2218	47	2431673	3083170	1756	302568184	17394
E73 *	0,01184	14:22:48	59	60	118997	366	126313	1983	45	2429868	2742230	1656	231607292	15219
E83	0,01081	14:24:44	59	60	69619	281	74221	1160	34	2431904	1614088	1270	149314379	12219

4. Contagem - irradiação 07/07/97 - contagem 06/08/97														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	ERRC	GROSS	C	ERRC	Te	Co	ERRC	CONT/s.g	ERRO
E14	0,01221	09:20:26	119	120	52107	249	57063	434	21	2586446	956794	978	78361509	8852
E24	0,01048	09:23:27	119	120	90018	322	96862	750	27	2586627	1653810	1286	157806328	12562
E34	0,01113	09:26:24	118	120	146497	406	155583	1221	35	2586804	2692860	1641	241946132	15555
E44	0,01212	09:29:15	118	120	194702	467	206384	1623	40	2586975	3580771	1892	295443157	17188
E54	0,01163	09:32:14	118	120	203214	476	215014	1693	41	2587154	3739307	1934	321522536	17931
E64	0,01019	09:35:21	118	120	169486	436	179752	1412	38	2587341	3120420	1766	306223743	17499
E74 *	0,01184	09:38:16	118	120	151268	412	160590	1261	36	2412796	1656604	1287	139915851	11829
E84	0,01081	09:41:03	119	120	87654	317	94144	730	27	2587683	1615448	1271	149440156	12225

Tabela C.13 - Taxa de reação total de folhas de ouro cobertas com cádmio no EIBe, canal A, detector NaI, experimento A7, posição 65 PM, Figura 4.13.

1. Contagem - irradiação 07/07/97 - contagem 25/07/97														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	ERRC	GROSS	C	ERRC	Te	Co	ERRC	CONT/s.g	ERRO
ECd11	0,01081	11:50:52	59	60	109235	355	117535	1821	43	1556752	187235	433	17320498	4162
ECd21	0,01046	11:53:06	57	60	282616	571	304316	4710	69	1556886	484612	696	46330022	6807
ECd31	0,01155	11:55:23	56	60	456756	730	494656	7613	87	1557023	783536	885	67838588	8236
ECd41	0,01132	11:58:24	55	60	547704	804	596704	9128	96	1557204	940057	970	63043943	9113
ECd51	0,01174	12:00:18	54	60	588574	837	644574	9810	99	1557318	1010548	1005	86077333	9278
ECd61	0,01145	12:03:04	55	60	557000	816	611600	9283	96	1557484	956810	978	83564189	9141
ECd71	0,01159	12:04:59	55	60	431093	722	476293	7185	85	1559519	745026	863	64281834	8018
ECd81	0,01169	12:07:09	57	60	258254	559	285254	4304	66	1557729	443950	666	37976909	6163

2. Contagem - irradiação 07/07/97 - contagem 28/07/97														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	ERRC	GROSS	C	ERRC	Te	Co	ERRC	CONT/s.g	ERRO
ECd12	0,01081	15:30:34	119	120	100181	337	106918	835	29	1829134	193128	439	17865720	4227
ECd22	0,01046	16:15:34	117	120	260726	541	276893	2173	47	1831834	506682	712	48439917	6960
ECd32	0,01155	15:36:12	116	120	432834	697	459294	3607	60	1829472	835255	914	72316453	8504
ECd42	0,01132	15:40:00	115	120	528129	772	562306	4401	66	1829700	1019841	1010	90091957	9492
ECd52	0,01174	15:42:51	115	120	574732	804	610379	4789	69	1829871	1110398	1054	94582489	9725
ECd62	0,01145	15:45:50	115	120	542233	779	574818	4519	67	1830050	1048168	1024	91543030	9568
ECd72	0,01159	15:48:36	116	120	432165	695	457890	3601	60	1818719	807697	899	69689144	8348
ECd82	0,01169	15:51:38	117	120	245367	526	260802	2045	45	1830398	474800	689	40615918	6373

3. Contagem - irradiação 07/07/97 - contagem 29/07/97														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	ERRC	GROSS	C	ERRC	Te	Co	ERRC	CONT/s.g	ERRO
ECd13	0,01081	10:04:00	119	120	82880	306	88392	691	26	1895940	194922	441	18031623	4246
ECd23	0,01046	10:06:52	118	120	215208	494	229663	1793	42	1896112	506397	712	48412756	6958
ECd33	0,01155	10:09:42	116	120	360533	635	381848	3004	55	1896282	848785	921	73487902	8573
ECd43	0,01132	10:12:31	116	120	438656	702	465973	3655	60	1896451	1033226	1016	91274382	9554
ECd53	0,01174	10:15:26	115	120	477581	734	508451	3980	63	1896626	1125497	1061	95868602	9791
ECd63	0,01145	10:18:42	116	120	449145	712	477810	3743	61	1896822	1059101	1029	92497900	9618
ECd73	0,01159	10:21:36	117	120	356385	636	380395	2970	54	1943747	966324	983	83375711	9131
ECd83	0,01169	10:24:28	118	120	202863	477	215358	1691	41	1897168	478852	692	40962490	6400

4. Contagem - irradiação 07/07/97 - contagem 30/07/97														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	ERRC	GROSS	C	ERRC	Te	Co	ERRC	CONT/s.g	ERRO
ECd14	0,01081	09:56:04	119	120	64292	270	68702	536	23	1981864	195267	442	18063539	4250
ECd24	0,01046	09:59:09	118	120	167889	436	179159	1399	37	1982049	510191	714	48775448	6984
ECd34	0,01155	10:01:55	117	120	279320	563	298462	2328	48	1982215	849234	922	73528742	8575
ECd44	0,01132	10:04:41	117	120	343950	623	366122	2866	54	1982381	1046249	1023	92424844	9614
ECd54	0,01174	10:07:36	116	120	372812	648	396332	3107	56	1982556	1134634	1065	96646876	9831
ECd64	0,01145	10:10:45	117	120	354351	629	374931	2953	54	1982745	1079056	1039	94240700	9708
ECd74	0,01159	10:13:47	117	120	277623	560	295508	2314	48	1984847	850712	922	73400542	8567
ECd84	0,01169	10:16:44	118	120	158850	423	168772	1324	36	1983104	484241	696	41423525	6436

Tabela C.14 - Taxa de reação das folhas de ouro no EIA, canal A, detector NaI, experimento A8, posição 65 PM, Figura 4.14.

1.contagem - Irradiação 07/07/97 - contagem 01/08/97														
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
C11	0,02419	08:22:07	58	60	179981	450	191073	3000	55	2134687	1722897	1313	71223502	8439
C21	0,01610	08:24:11	57	60	263794	544	280022	4397	66	2134811	2526142	1589	156903216	12526
C31	0,01847	08:26:09	56	60	465556	723	494351	7759	88	2134929	4459819	2112	241462872	15539
C41	0,01480	08:28:15	56	60	464706	723	493734	7745	88	2135055	4453346	2110	300901779	17347
C51	0,01191	08:31:56	56	60	409325	677	439751	6822	83	2135276	3925203	1981	329572034	18154
C61	0,01055	08:33:44	57	60	349011	626	370133	5817	76	2135384	3347901	1830	317336549	17814
C71	0,01001	08:35:34	57	60	282553	561	298483	4709	69	2135494	2711287	1647	270857873	16458
C81	0,01116	08:37:21	58	60	188617	458	199001	3144	56	2135601	1810484	1346	162229773	12737

2.contagem - Irradiação 07/07/97 - contagem 04/08/97														
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
C12	0,02419	08:46:22	59	60	85451	310	90643	1424	38	2395342	1776882	1333	73455229	8571
C22	0,01610	08:48:09	58	60	124681	372	131525	2078	46	2395449	2593463	1610	161084642	12692
C32	0,01847	08:49:57	58	60	221593	500	235753	3693	61	2395557	4610790	2147	249636723	15800
C42	0,01480	08:51:57	58	60	222785	502	237181	3713	61	2395677	4637249	2153	313327611	17701
C52	0,01191	08:53:55	58	60	197561	467	207945	3293	57	2395795	4113658	2028	345395291	18585
C62	0,01055	08:55:45	58	60	166228	430	175668	2770	53	2395905	3462369	1861	328186610	18116
C72	0,01001	08:57:37	58	60	133061	387	141439	2218	47	2396017	2772456	1665	276968646	16642
C82	0,01116	08:59:19	59	60	87372	315	93390	1456	38	2396119	1821034	1349	163175077	12774

3.contagem - Irradiação 07/07/97 - contagem 04/08/97														
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
C13	0,02419	13:54:37	59	60	79484	303	85502	1325	36	2413837	1746332	1321	72192310	8497
C23	0,01610	13:56:29	59	60	118314	365	125748	1972	44	2413949	2600327	1613	161511006	12709
C33	0,01847	13:58:27	58	60	210326	486	223306	3505	59	2414067	4624208	2150	250363173	15823
C43	0,01480	14:00:00	58	60	213864	488	225782	3564	60	2414160	4703296	2169	317790242	17827
C53	0,01191	14:02:11	58	60	185763	456	196973	3096	56	2414280	4086758	2022	343136682	18524
C63	0,01055	14:04:48	58	60	157009	421	166921	2617	51	2414448	3455902	1859	327573627	18099
C73	0,01001	14:06:38	58	60	126175	375	133373	2103	46	2414558	2778129	1667	277535318	16659
C83	0,01116	14:08:40	59	60	83632	307	88824	1394	37	2414680	1842083	1357	165061201	12848

4.contagem - Irradiação 07/07/97 - contagem 06/08/97														
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
C14	0,02419	08:50:05	119	120	100638	341	108308	839	29	2568365	1751112	1323	72389888	8508
C24	0,01610	08:58:09	118	120	150757	412	160079	1256	35	2568849	2626969	1621	163165765	12774
C34	0,01847	09:57:00	117	120	268683	549	284849	2239	47	2572380	4731312	2175	256162002	16005
C44	0,01480	09:03:57	117	120	271085	552	287841	2259	48	2569197	4728602	2175	319500108	17875
C54	0,01191	09:07:05	118	120	237052	516	251802	1975	44	2569385	4137270	2034	347377831	18638
C64	0,01055	09:09:59	118	120	199046	475	212144	1659	41	2569559	3475751	1864	329455024	18151
C74	0,01001	09:13:01	118	120	160936	424	170494	1341	37	2569741	2811795	1677	280898557	16760
C84	0,01116	09:15:55	119	120	105884	346	112964	882	30	2569915	1850911	1360	165852274	12878

Tabela C.15 - Taxa de reação nas folhas de ouro cobertas com cádmio no EIA, canal A, detector NaI, experimento A8, posição 65 PM, Figura 4.15.

1.contagem - Irradiação 07/07/97 - contagem 25/07/97														
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
CCd11	0,01260	11:30:27	59	60	105662	348	113362	1761	42	1539267	171927	415	13644962	3694
CCd21	0,01617	11:33:09	57	60	308185	591	328585	5136	72	1539429	501701	708	31026653	5570
CCd31	0,01224	11:35:33	56	60	457292	720	487792	7622	87	1539573	744755	863	60845962	7800
CCd41	0,01274	11:38:59	54	60	600024	829	644024	10000	100	1539779	977810	989	76751175	8761
CCd51	0,01251	11:41:06	54	60	585465	822	630465	9758	99	1539906	954445	977	76294569	8735
CCd61	0,01139	11:43:21	55	60	524923	780	566923	8749	94	1540041	856091	925	75161661	8670
CCd71	0,01249	11:45:24	56	60	439259	713	474059	7321	86	1540164	716645	847	57377511	7575
CCd81	0,01257	11:47:21	57	60	262791	554	284791	4380	66	1540281	428889	655	34120070	5841

2.contagem - Irradiação 07/07/97 - contagem 28/07/97														
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
CCd12	0,01260	15:00:52	119	120	97469	330	103104	812	28	1811092	178077	422	14133076	3759
CCd22	0,01617	15:04:53	117	120	284254	566	302139	2369	49	1811333	519707	721	32140215	5669
CCd32	0,01224	15:10:23	116	120	428783	694	455243	3573	60	1811663	784723	886	64111347	8007
CCd42	0,01274	16:12:00	115	120	569894	799	604316	4749	69	1815360	1054512	1027	82771717	9098
CCd52	0,01251	15:16:37	115	120	562782	795	597082	4690	68	1812037	1031104	1015	82422363	9079
CCd62	0,01139	15:20:48	115	120	502128	749	531528	4184	65	1812288	920664	960	80830882	8991
CCd72	0,01249	15:23:48	116	120	417972	683	442227	3483	59	1812468	766772	876	61390901	7835
CCd82	0,01257	15:26:41	117	120	246028	526	261095	2050	45	1812641	451572	672	35924616	5994

3.contagem - Irradiação 07/07/97 - contagem 29/07/97														
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
CCd13	0,01260	09:40:54	119	120	78576	301	84701	655	26	1878294	175345	419	13916238	3730
CCd23	0,01617	09:43:40	118	120	236828	516	251405	1974	44	1878460	528750	727	32699421	5718
CCd33	0,01224	09:46:34	117	120	354479	630	375671	2954	54	1878634	791831	890	64692068	8043
CCd43	0,01274	09:49:41	116	120	478387	730	505827	3987	63	1878821	1069210	1034	83925432	9161
CCd53	0,01251	09:52:34	116	120	468403	723	495598	3903	62	1878994	1047435	1023	83727788	9150
CCd63	0,01139	09:55:32	116	120	414087	681	438832	3451	59	1879172	926465	963	81340194	9019
CCd73	0,01249	09:58:16	117	120	346979	621	366579	2891	54	1879336	776699	881	62185633	7886
CCd83	0,01257	10:01:05	118	120	203705	477	215832	1698	41	1879505	456215	675	36293944	6024

4.contagem - Irradiação 07/07/97 - contagem 30/07/97														
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
CCd14	0,01260	09:31:00	119	120	60804	268	66194	507	23	1964100	175163	419	13901843	3729
CCd24	0,01617	09:33:52	118	120	183919	454	194944	1533	39	1964272	530102	728	32783074	5726
CCd34	0,01224	09:36:46	117	120	275815	559	293495	2298	48	1964446	795382	892	64982208	8061
CCd44	0,01274	09:39:43	116	120	375596	646	397156	3130	56	1964623	1083697	1041	85062534	9223
CCd54	0,01251	09:42:39	116	120	364221	639	386516	3035	55	1964799	1051427	1025	84046948	9168
CCd64	0,01139	09:45:39	117	120	325040	604	344762	2709	52	1964979	938823	969	82425201	9079
CCd74	0,01249	09:48:23	117	120	268153	550	285058	2235	47	1965143	774893	880	62041049	7877
CCd84	0,01257	09:51:18	118	120	157913	422	168203	1316	36	1965318	456565	676	36321829	6027

Tabela C.16 - Taxa de reação total nas folhas de ouro no EIGRA, canal A, detector NaI, experimento A9, posição 65 PM, Figura 4.16.

1contagem - Irradiação 07/07/97 - contagem 01/08/97														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
2G11	0,01139	08:41:40	58	60	137258	394	146108	2288	48	2126680	1282983	1133	112641143	10613
5G21	0,01250	08:43:33	57	60	244076	523	258708	4068	64	2126793	2282203	1511	182576228	13512
8G31	0,01248	08:45:23	56	60	363085	637	384325	6051	78	2126903	3396094	1843	272122886	16496
11G41	0,01166	08:47:25	56	60	405191	673	429381	6753	82	2127025	3791306	1947	325154880	18032
14G51	0,01180	08:49:15	56	60	429781	693	454797	7163	85	2127135	4022707	2006	340907394	18464
17G61	0,01037	08:51:08	57	60	338334	617	359692	5639	75	2127248	3167838	1780	305480970	17478
20G71	0,01081	08:53:08	57	60	284354	567	302762	4739	69	2127368	2663371	1632	246380327	15697
23G81	0,01329	08:54:50	58	60	236469	513	249803	3941	63	2127470	2215534	1488	166706853	12912

2contagem - Irradiação 07/07/97 - contagem 04/08/97														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
2G12	0,01139	08:29:26	58	60	64313	271	68797	1072	33	2385146	1297363	1139	113903657	10673
5G22	0,01250	08:31:44	59	60	114875	360	122073	1915	44	2385284	2318283	1523	185462669	13618
8G32	0,01248	08:33:33	58	60	172947	441	183803	2882	54	2385393	3491362	1869	279756592	16726
11G42	0,01166	08:35:22	58	60	195570	467	207016	3260	57	2385502	3949344	1987	338708780	18404
14G52	0,01180	08:37:09	58	60	207375	480	218939	3456	59	2385609	4189069	2047	355005812	18842
17G62	0,01037	08:39:27	58	60	161582	425	170904	2693	52	2385747	3265370	1807	314886227	17745
20G72	0,01081	08:41:10	58	60	135538	390	143798	2259	48	2385850	2739893	1655	253459138	15920
23G82	0,01329	08:43:14	59	60	111782	356	114098	1863	43	2385974	2260501	1503	170090378	13042

3contagem - Irradiação 07/07/97 - contagem 04/08/97														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	ERRO	gross	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
2G13	0,01139	13:37:05	59	60	60501	264	65103	1008	32	2403605	1289390	1136	113203689	10640
5G23	0,01250	13:39:05	59	60	110124	351	116732	1835	43	2403725	2347788	1532	187823021	13705
8G33	0,01248	13:41:04	58	60	165684	429	174652	2761	53	2403844	3533550	1880	283137019	16827
11G43	0,01166	13:43:00	58	60	185116	453	195028	3085	56	2403960	3949340	1987	338708435	18404
14G53	0,01180	13:45:05	58	60	194742	468	206896	3246	57	2404085	4156251	2039	352224688	18768
17G63	0,01037	13:47:15	58	60	154559	413	162741	2576	51	2404215	3299928	1817	318218737	17839
20G73	0,01081	13:49:11	58	60	128096	380	136356	2135	46	2404331	2735872	1654	253087103	15909
23G83	0,01329	13:51:27	59	60	105097	345	112177	1752	42	2404467	2245568	1499	168966756	12999

4contagem - Irradiação 07/07/97 - contagem 06/08/97														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
2G14	0,01139	08:30:29	119	120	76755	298	82773	640	25	2558009	1295009	1138	113697043	10663
5G24	0,01250	08:33:30	118	120	139630	395	148008	1164	34	2558190	2357105	1535	188568391	13732
8G34	0,01248	08:36:20	118	120	211873	485	223673	1766	42	2558360	3578455	1892	286735149	16933
11G44	0,01166	08:39:13	118	120	234559	515	249899	1955	44	2558533	3963653	1991	339935926	18437
14G54	0,01180	08:42:16	117	120	250555	530	265541	2088	46	2558716	4236265	2058	359005512	18947
17G64	0,01037	08:45:18	118	120	195384	467	206830	1628	40	2558890	3305171	1818	318724313	17853
20G74	0,01081	08:48:22	118	120	164679	427	173647	1372	37	2559082	2787349	1670	257849118	16058
23G84	0,01329	08:51:18	118	120	133715	391	143273	1114	33	2559258	2264440	1505	170386726	13053

Tabela C.17 - Taxa de reação total de folhas de ouro cobertas com cádmio no EIGRA, canal A, detector NaI, experimento A9, posição 65 PM, Figura 4.17.

1contagem - Irradiação 07/07/97 - contagem 25/07/97														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
2GCd11	0,01167	11:09:10	57	60	178354	446	188754	2973	55	1528030	280661	530	24049613	4904
5GCd21	0,01185	11:13:20	57	60	344973	623	366573	5750	76	1528280	543260	737	45844749	6771
8GCd31	0,01196	11:15:44	55	60	480386	737	511886	8006	89	1528424	756832	870	63280242	7955
11GCd41	0,00949	11:17:53	56	60	476163	734	507463	7936	89	1528553	750467	866	79079723	8893
14GCd51	0,01657	11:19:49	53	60	728555	912	780155	12143	110	1528669	1148651	1072	69321105	8326
17GCd61	0,01157	11:22:14	55	60	528212	777	566112	8804	94	1528814	833146	913	72009197	8486
20GCd71	0,01240	11:24:23	56	60	457476	723	490076	7625	87	1528943	721852	850	58213864	7630
23GCd81	0,01078	11:26:22	57	60	275092	561	294892	4585	68	1529062	434222	659	40280311	6347

2contagem - Irradiação 07/07/97 - contagem 28/07/97														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
2GCd12	0,01167	14:32:12	118	120	161856	427	172146	1349	37	1799412	285609	534	24473817	4947
5GCd22	0,01185	14:36:38	117	120	318782	598	338137	2657	52	1799678	562965	750	47507592	6893
8GCd32	0,01196	14:41:07	116	120	450226	712	478646	3752	61	1799947	795730	892	66532626	8157
11GCd42	0,00949	14:44:16	116	120	448639	707	474119	3739	61	1800136	793371	891	83600789	9143
14GCd52	0,01657	14:47:26	113	120	702940	890	747530	5858	77	1800326	1243780	1115	75062133	8664
17GCd62	0,01157	14:50:16	115	120	502796	752	533911	4190	65	1800496	890096	943	76931347	8771
20GCd72	0,01240	14:53:12	116	120	429664	696	456736	3581	60	1800672	761029	872	61373325	7834
23GCd82	0,01078	14:56:30	117	120	251639	536	269279	2097	46	1800870	445971	668	41370187	6432

3contagem - Irradiação 07/07/97 - contagem 29/07/97														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
2GCd13	0,01167	09:17:00	118	120	131598	389	141275	1177	34	1866900	304748	552	26113775	5110
5GCd23	0,01185	09:19:35	117	120	263163	544	279578	2330	48	1867020	603300	777	50911388	7135
8GCd33	0,01196	09:22:27	116	120	371677	648	395932	3299	57	1867227	854906	925	71480450	8455
11GCd43	0,00949	09:25:25	116	120	373399	643	393611	3280	57	1867405	850345	922	89604319	9466
14GCd53	0,01657	09:28:22	115	120	588438	811	623105	5193	72	1867582	1346846	1161	81282197	9016
17GCd63	0,01157	09:31:15	116	120	416025	683	441137	3676	61	1867755	954012	977	82455655	9081
20GCd73	0,01240	09:35:11	117	120	356815	633	378620	3155	56	1867991	819387	905	66079573	8129
23GCd83	0,01078	09:38:00	118	120	209672	486	222779	1856	43	1868160	482368	695	44746523	6689

4contagem - Irradiação 07/07/97 - contagem 30/07/97														
ARQ.	MASSA	HORA	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
2GCd14	0,01167	09:06:47	119	120	103531	342	110391	863	29	1952687	288290	537	24703500	4970
5GCd24	0,01185	09:09:51	118	120	204349	480	217456	1703	41	1952871	569337	755	48045303	6931
8GCd34	0,01196	09:12:44	117	120	291672	572	309679	2431	49	1953044	813046	902	67980435	8245
11GCd44	0,00949	09:15:41	117	120	288936	572	307923	2408	49	1953221	805844	898	84915037	9215
14GCd54	0,01657	09:18:40	116	120	457971	717	486146	3816	62	1953400	1277964	1130	77125146	8782
17GCd64	0,01157	09:21:43	117	120	324401	604	344736	2703	52	1953583	905731	952	78282717	8848
20GCd74	0,01240	09:24:39	117	120	278685	559	295835	2322	48	1953759	778499	882	62782190	7924
23GCd84	0,01078	09:27:38	118	120	163859	430	174271	1365	37	1953938	457980	677	42484201	6518

Tabela C.20 – Taxa de reação radial nos fios de molibdênio no EIBe, canal A, detector NaI, experimento R3, posição 65 PM, Figura 4.20.

1. Contagem - irradiação 07/07/97 - contagem 11/07/97- posição 5 do EIRA														
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/g.s	ERRO
E51B	0,02123	09:35:10	115	120	677288	913	755036	5644	75	337030	15084	123	710494	843
E52B	0,02309	09:40:20	115	120	588195	854	659027	4902	70	337340	13111	115	567841	754
E53B	0,02580	09:43:45	115	120	660498	904	738474	5504	74	337545	14732	121	571007	756
E54B	0,02446	09:47:26	115	120	682329	918	762433	5686	75	337766	15229	123	622596	789
2. Contagem - irradiação 07/07/97 - contagem 14/07/97- posição 5 do EIRA														
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/g.s	ERRO
E51B	0,02123	09:14:00	120	120	323005	640	366173	2692	52	594960	15264	124	718982	848
E52B	0,02309	09:18:09	120	120	281816	597	318980	2348	48	595209	13327	115	577186	760
E53B	0,02580	09:21:32	120	120	318222	633	359718	2652	51	595412	15058	123	583635	764
E54B	0,02446	09:24:29	117	120	326113	643	369509	2718	52	595589	15439	124	631200	794

Tabela C.21 – Taxa de reação radial nos fios de molibdênio no EIBe, canal A, detector NaI, experimento R3, posição 65 PM, Figura 4.20.

1. Contagem - irradiação 07/07/97 - contagem 11/07/97- posição 6 do EIRA														
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/g.s	ERRO
E65B	0,02416	09:52:53	115	120	679298	913	756058	5661	75	338093	15176	123	628126	793
E66B	0,02347	09:58:32	116	120	540561	815	602349	4505	67	338432	12088	110	515044	718
E67B	0,02215	10:02:00	116	120	537704	814	599872	4481	67	338640	12031	110	543183	737
E68B	0,02203	10:05:30	115	120	570006	843	639926	4750	69	338850	12762	113	579305	761
2. Contagem - irradiação 07/07/97 - contagem 14/07/97- posição 6 do EIRA														
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/g.s	ERRO
E65B	0,02416	09:27:43	117	120	324554	639	366658	2705	52	595783	15374	124	636343	798
E66B	0,02347	09:30:43	118	120	258768	570	291980	2156	46	595963	12264	111	522548	723
E67B	0,02215	09:33:52	118	120	255643	569	289767	2130	46	596152	12123	110	547304	740
E68B	0,02203	09:36:51	117	120	270359	588	307827	2253	47	596331	12827	113	582266	763

Tabela C.22 – Taxa de reação radial nos fios de molibdênio no EIBe, canal A, detector NaI, experimento R3, posição 65 PM, Figura 4.20.

1. Contagem - irradiação 07/07/97 - contagem 11/07/97- posição 7 do EIRA														
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/g.s	ERRO
E79B	0,02233	10:08:49	116	120	516431	759	577535	4304	66	339049	11569	108	518105	720
E710B	0,02314	10:12:00	116	120	484435	773	541283	4037	64	339240	10859	104	469255	685
E711B	0,02260	10:15:04	116	120	447319	743	499911	3728	61	339424	10032	100	443893	666
E712B	0,02230	10:18:10	116	120	435088	737	489428	3626	60	339610	9763	99	437802	662
2. Contagem - irradiação 07/07/97 - contagem 14/07/97- posição 7 do EIRA														
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/g.s	ERRO
E79B	0,02233	09:39:49	118	120	244352	561	279388	2036	45	596509	11599	108	519455	721
E710B	0,02314	09:42:41	118	120	227873	542	260553	1899	44	596681	10823	104	467701	684
E711B	0,02260	09:45:35	118	120	210909	521	240929	1758	42	596855	10022	100	443451	666
E712B	0,02230	09:48:26	118	120	203307	516	234695	1694	41	597026	9666	98	433434	658

Tabela C.23 – Taxa de reação radial nas amostras de MoO<sub>3</sub> no EIA, canal A, detector NaI – 1ª Contagem, experimento R4, posição 65 PM, Figura 4.21.

1. Contagem - Irradiação 07/07/97 - Contagem 11/07/97 → Posição 5 do EIRA														
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
C513E	0,02212	10:21:19	115	120	661814	906	741766	5515	74	323599	14173	119	640729	800
C514E	0,02249	10:24:30	115	120	614722	875	690266	5123	72	323760	13171	115	585622	765
C515E	0,02291	10:27:34	115	120	609429	872	684517	5079	71	323940	13064	114	570235	755
C516E	0,02191	10:30:44	115	120	579184	850	650548	4827	69	324140	12423	111	567000	753
1. Contagem - Irradiação 07/07/97 - Contagem 11/07/97 → Posição 6 do EIRA														
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
C617E	0,02247	10:34:04	115	120	627487	882	702955	5229	72	324364	13468	116	599369	774
C618E	0,02204	10:37:13	116	120	551591	830	620067	4597	68	324553	11845	109	537450	733
C619E	0,02279	10:40:17	115	120	574646	846	645554	4789	69	324737	12347	111	541778	736
C620E	0,02311	10:43:20	115	120	572991	845	643595	4775	69	324920	12318	111	533022	730
1. Contagem - Irradiação 07/07/97 - Contagem 11/07/97 → Posição 7 do EIRA														
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
C721E	0,02290	10:46:35	116	120	499743	790	562139	4165	65	325115	10750	104	469413	685
C722E	0,02309	10:49:51	116	120	463189	761	521481	3860	62	325311	9969	100	431744	657
C723E	0,02479	10:52:47	116	120	492368	784	553624	4103	64	325487	10602	103	427690	654
C724E	0,02307	10:55:49	116	120	455869	754	512185	3799	62	325669	9822	99	425734	652

Tabela C.24 – Taxa de reação radial nas amostras de MoO<sub>3</sub> no EIA, canal A, detector NaI – 2ª Contagem, experimento R4, posição 65 PM, Figura 4.21.

2.Contagem - Irradiação 07/07/97 - Contagem 14/07/97 → Posição 5 do EIRA															
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO	
C513B	0,02212	09:51:26	117	120	313291	637	359499	2611	51	580980	14213	119	642559	802	
C514B	0,02249	09:54:28	117	120	292955	614	334907	2441	49	581188	13299	115	591323	769	
C515B	0,02291	09:57:20	117	120	290630	610	331518	2422	49	581360	13200	115	576165	759	
C516B	0,02191	10:01:27	117	120	272910	596	314254	2274	48	581607	12404	111	566137	752	

2.Contagem - Irradiação 07/07/97 - Contagem 14/07/97 → Posição 6 do EIRA															
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO	
C617B	0,02247	10:04:24	117	120	296177	621	341017	2468	50	581784	13469	116	599400	774	
C618B	0,02204	10:07:18	118	120	261754	581	299374	2181	47	581958	11909	109	540344	735	
C619B	0,02279	10:10:13	117	120	271682	593	311810	2264	48	582133	12367	111	542659	737	
C620B	0,02311	10:13:12	117	120	271804	593	312008	2265	48	582312	12379	111	535665	732	

2.Contagem - Irradiação 07/07/97 - Contagem 14/07/97 → Posição 7 do EIRA															
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO	
C721B	0,02290	10:16:59	118	120	235825	554	271545	1965	44	582539	10748	104	469331	685	
C722B	0,02309	10:19:52	118	120	218030	533	250938	1817	43	582712	9942	100	430563	656	
C723B	0,02479	10:22:53	118	120	232185	550	267525	1935	44	582893	10593	103	427298	654	
C724B	0,02307	10:25:46	118	120	214309	527	246153	1786	42	583020	9781	99	423962	651	

Tabela C.25 – Taxa de reação radial nas amostras de MoO<sub>3</sub> no EIGRA, canal A, detector NaI – Posição 14 do EIGRA, experimento R5, posição 65 PM, Figura 4.22.

1contagem - 14 EIGRA = (posição 5 do EIRA) - Irradiação 07/07/97 - Contagem 11/07/97															
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO	
G525B	0,02484	10:59:19	114	120	739185	968	838213	6160	78	315498	15460	124	622392	789	
G526B	0,02465	11:02:54	114	120	691735	932	780199	5764	76	315714	14477	120	587298	766	
G527B	0,02206	11:05:53	115	120	617954	880	696854	5150	72	315893	12940	114	586561	766	
G528B	0,02220	11:09:13	115	120	605070	874	684566	5042	71	316093	12677	113	571043	756	
2contagem - 14 EIGRA = (posição 5 do EIRA) - Irradiação 07/07/97 - Contagem 14/07/97															
ARQ.	MASSA	h,m,s	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO	
G525B	0,02484	10:29:04	117	120	356191	678	406175	2968	54	572884	15783	126	635369	797	
G526B	0,02465	10:32:18	117	120	329373	654	378317	2745	52	573078	14603	121	592395	770	
G527B	0,02206	10:35:16	117	120	293771	615	336179	2448	49	573256	13031	114	590703	769	
G528B	0,02220	10:38:27	117	120	287080	614	331768	2392	49	573447	12741	113	573929	758	

Tabela C.26 – Taxa de reação radial nas amostras de MoO<sub>3</sub> no EIGRA, canal A, detetor NaI – Posição 17 do EIGRA, experimento R5, posição 65 PM, Figura 4.22.

1a. contagem - 17 EIGRA = (posição 6 do EIRA) - Irradiação 07/07/97 - Contagem 11/07/97														
ARQ	MASSA	h <sub>m,s</sub>	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
G629B	0,02235	11:12:14	115	120	663996	914	749120	5531	74	316274	13913	118	622496	789
G630B	0,02422	11:15:22	115	120	662440	910	745432	5520	74	316462	13894	118	573662	757
G631B	0,02202	11:19:50	115	120	570585	852	648105	4755	69	316730	11977	109	543908	738
G632B	0,02212	11:22:55	115	120	573159	851	648323	4776	69	316915	12037	110	544185	738
2a. contagem - 17 EIGRA = (posição 6 do EIRA) - Irradiação 07/07/97 - Contagem 14/07/97														
ARQ	MASSA	h <sub>m,s</sub>	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
G629B	0,02235	10:41:27	117	120	317920	641	364680	2649	51	573627	14117	119	631650	795
G630B	0,02422	10:44:27	117	120	313404	639	360829	2612	51	573807	13924	118	574903	758
G631B	0,02202	10:47:47	117	120	270521	599	314753	2254	47	574007	12026	110	546136	739
G632B	0,02212	10:50:39	117	120	271322	596	313426	2261	48	574179	12069	110	545551	739

Tabela C.27 – Taxa de reação radial nas amostras de MoO<sub>3</sub> no EIGRA, canal A, detetor NaI – Posição 20 do EIGRA, experimento R5, posição 65 PM, Figura 4.22.


1a. contagem - 20 EIGRA = (posição 7 do EIRA) - Irradiação 07/07/97 - Contagem 11/07/97														
ARQ	MASSA	h <sub>m,s</sub>	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
G733B	0,02230	11:26:06	116	120	533611	826	607559	4447	67	317106	11213	106	502827	709
G734B	0,02200	11:30:51	116	120	486232	788	552872	4044	64	317391	10205	101	463960	681
G735B	0,02207	11:34:20	116	120	468808	773	533104	3907	63	317600	9866	99	447010	669
G736B	0,02307	11:37:40	116	120	486038	790	555274	4050	64	317800	10234	101	443609	666
2a. contagem - 20 EIGRA = (posição 7 do EIRA) - Irradiação 07/07/97 - Contagem 14/07/97														
ARQ	MASSA	h <sub>m,s</sub>	LT	RT	NET	ERRO	GROSS	C	ERRO	Te	Co	ERRO	CONT/s.g	ERRO
G733B	0,02230	10:53:46	118	120	254743	577	293731	2123	46	574366	11336	106	508359	713
G734B	0,02200	11:03:54	118	120	229350	552	266970	1911	44	574974	10224	101	464749	682
G735B	0,02207	11:07:14	118	120	219745	541	255997	1831	43	575174	9802	99	444132	666
G736B	0,02307	11:10:06	118	120	230011	552	267251	1917	44	575346	10265	101	444953	657

# **APÊNDICE D**

## **ROTINA EXPERIMENTAL**


Neste Apêndice, encontra-se a rotina experimental, que visa mostrar, que o experimento continua mantendo o reator com margem de desligamento alta e segura. Esta rotina, depois de redigida pelo interessado, é avaliada por um grupo de pesquisadores ou Comitê de Revisão e Segurança, quanto aos requisitos de segurança necessários e previstos pelo Relatório de Análise e Segurança (RAS). Após avaliação e aprovação, as etapas estabelecidas pela rotina devem ser seguidas passo a passo de modo a manter o reator seguro.



 <b>CNEN/SP</b> <b>ipen</b> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	Nº do Projeto: PSI.ROI.IEAR1.001 Nº do Documento: PRTR.001.R00	Rubrica:
	Data de Emissão: <u>17</u> / <u>06</u> / <u>97</u>	Página: <u>1</u> / <u>22</u>
Assunto: Avaliação do fluxo de neutrons nos elementos de irradiação de amostras.		

## ÍNDICE

<b>1. Objetivo</b>	<b>03</b>
<b>2. DEFINIÇÕES E ABREVIATURAS</b>	<b>03</b>
<b>3. Critérios de Segurança</b>	<b>03</b>
<b>3.1 Excesso de Reatividade do Núcleo</b>	<b>04</b>
<b>3.2 Critérios de desligamento Seguro para o Reator IEA-R1m</b>	<b>04</b>
<b>3.3 Critérios para Ganho de Reatividade em Mudança de Configuração</b>	<b>04</b>
<b>3.4 Margem de Desligamento do Reator</b>	<b>05</b>
<b>3.5 Reatividade das Amostras Experimentais</b>	<b>05</b>
<b>4. Condições Iniciais e Precauções</b>	<b>06</b>
<b>5. Instrumentos e Equipamentos Especiais</b>	<b>06</b>
<b>6. Procedimento Experimental</b>	<b>07</b>
<b>6.1 Medidas no EIBe</b>	<b>10</b>
<b>6.2 Medidas no Caixa D'Água</b>	<b>13</b>
<b>6.3 Medidas no EIGRA</b>	<b>16</b>
<b>7. Critérios de Aceitação</b>	<b>19</b>
<b>8. Observações e Recomendações</b>	<b>19</b>
<b>9. Documentos de Referência</b>	<b>19</b>
<b>10. Identificação das Rubricas</b>	<b>20</b>

	Nº do Projeto: PSI.ROI.IEAR1.001	Rubrica:
	Nº do Documento: PRTR.001.R00	
	Data de Emissão: 17 / 06 / 97	Página: / 22
Assunto: Avaliação do fluxo de neutrons nos elementos de irradiação de amostras.		

## 1. OBJETIVO

Esta rotina visa levantar o perfil de fluxo axial e radial dos elementos de irradiação "Caixa d'água", EIGRA e EIBe para determinação de qual dos elementos de irradiação é mais eficiente na posição de teste (posição 65 da placa matriz) a 20 KW, e obter, também, parâmetros neutrônicos relativos a estes elementos que permitam estudar a viabilidade de produção de novos radioisótopos.

## 2. DEFINIÇÕES E ABREVIATURAS


<b>Caixa d'água</b>	Elemento de irradiação refrigerado a água, possui as mesmas dimensões de um elemento combustível.
<b>EC</b>	Elemento Combustível.
<b>PM</b>	Placa Matriz.
<b>SPND</b>	Self Power Neutron Detector - mini câmara de fissão.
<b>EIRA</b>	Elemento de Irradiação Refrigerado a Água - dispositivo onde são acondicionadas as amostras a serem irradiadas.
<b>EIGRA</b>	Elemento de Irradiação Grafitado.
<b>pcm</b>	Partes por cem mil.
<b>EIBe</b>	Elemento de Irradiação de Berílio
<b>BS</b>	Barra de Segurança
<b>BC</b>	Barra de Controle

## 3. CRITÉRIOS DE SEGURANÇA

Basicamente, o experimento constará da operação do Reator IEA-R1 a 20 KW por algumas horas, conforme descrição detalhada no item 4.

O experimento consta em retirar um elemento combustível da posição central e em seu lugar colocar os elementos de irradiação EIBe, Caixa D'Água e EIGRA, conforme item 4.

Este procedimento é uma repetição, em parte, do experimento realizado em Maio/1997 quando da última mudança de configuração.

 <b>CNEN/SP</b> <b>ipen</b> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	Nº do Projeto: PSI.ROI.IEAR1.001 Nº do Documento: PRTR.001.R00	Rubrica:
	Data de Emissão: <u>17</u> / <u>06</u> / <u>97</u>	Página: <u>1</u> / <u>22</u>
Assunto: Avaliação do fluxo de neutrons nos elementos de irradiação de amostras.		

Está análise de segurança visa mostrar que este experimento continua mantendo o reator com uma margem de desligamento alta e segura e que as amostras de MoO<sub>3</sub> e folhas de ativação estão abaixo do limite permitido. Por se tratar de um experimento a 20 KW , esta operação não difere das demais operações normais.

Durante a troca de configuração ou dos elementos de irradiação, utilizar o procedimento padrão, conforme **Rotina 17-OP-011/D**.

### 3.1 Excesso de Reatividade do Núcleo


De acordo com a especificação técnica, o excesso de reatividade máximo do núcleo é de 4800 pcm. As configurações na troca de cada elemento de irradiação (**Caixa D'água, EIGRA e EIBE**) terá um excesso de reatividade abaixo deste valor, observar item 3.5.

### 3.2 Critério de Desligamento Seguro para o Reator IEA-R1m

Para o desligamento seguro do reator, serão seguidos os critérios estabelecidos nas referências [1,2,3,4] sobre dimensionamento de barras de controle e segurança:

**a** .O reator deve manter-se subcrítico quando a barra mais reativa é retirada completamente do núcleo e as outras estão completamente inseridas no núcleo (critério da barra presa) e não permitir que os limites de combustível sejam ultrapassados. Este critério impõe considerações quanto a rapidez de atuação do sistema de controle de reatividade, atendidas pela velocidade de movimentação das barras de controle e de segurança;

**b** . A reatividade das barras de controle e de segurança deve ser capaz de absorver em torno de duas vezes o excesso de reatividade máximo do núcleo. Este critério busca garantir uma margem de segurança de desligamento, no caso 100% sobre o excesso de reatividade;

	Nº do Projeto: PSI.ROI.IEAR1.001 Nº do Documento: PRTR.001.R00	Rubrica:
	Data de Emissão: <u>17</u> / <u>06</u> / <u>97</u>	Página: <u>1</u> / <u>22</u>
Assunto: Avaliação do fluxo de neutrons nos elementos de irradiação de amostras.		

c . O sistema de controle de reatividade de barras de controle e de segurança deve ser capaz de controlar a reatividade devido ao xenônio, não ultrapassando os limites do combustível. Este critério busca garantir que transientes de xenônio sejam controlados pelas barras de controle com segurança e impõe que estas insiram reatividade numa taxa superior a do envenenamento de xenônio.

### 3.3 Critérios para Ganho de Reatividade em Mudanças de Configuração

O Comitê de Revisão e Segurança recomenda que em mudança de configuração a diferença entre o ganho de reatividade estimado via cálculo e medido no reator atenda aos seguintes critérios: diferenças entre 100 pcm e 300 pcm o reator pode operar em condição de observação; e para discrepância superior a 300 pcm o reator deve ser desligado até que seja justificado.

Nesta mudança de configuração não haverá troca de elementos combustíveis , sairá o EC 140 e no seu lugar serão colocados os três elementos de irradiação em etapas distintas.


### 3.4 Margem de desligamento do Reator

Na configuração 189 as reatividade das barras de controle e de segurança do Reator IEA-R1m são :

BS#1	2506 pcm
BS#2	2536 pcm
BS#3	4438 pcm
BC	4040 pcm

---

Total de reatividade 13520 pcm

 <b>CNEN/SP</b> <b>ipen</b> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	Nº do Projeto: PSI.ROI.IEAR1.001 Nº do Documento: PRTR.001.R00	Rubrica:
	Data de Emissão: <u>17</u> / <u>06</u> / <u>97</u>	Página: <u> / 22</u>
Assunto: Avaliação do fluxo de neutrons nos elementos de irradiação de amostras.		

Para atender o critério 3.2.a, tem-se que o excesso de reatividade do núcleo não pode ser superior às reatividades das barras **BS#1, BS#2 e BC**, isto é, **9082 pcm**. Para atender o critério 3.2.b tem-se que o excesso de reatividade do núcleo não pode ser superior a **6760 pcm**. Para atender ambos os critérios tem-se que o máximo excesso de reatividade do núcleo deve ser menor que aproximadamente **6600 pcm**.


O excesso de reatividade para o experimento não ultrapassa **4800 pcm**. Este excesso de reatividade pode ser absorvido pelas barras de controle com margem de desligamento maior que **8720 pcm (13520 - 4800)**. Portanto, as barras de controle e segurança do reator absorvem o excesso de reatividade proposto para o núcleo do experimento em análise, satisfazendo os critérios de desligamento seguro com muita folga, com margem de mais de **8700 pcm**.

### 3.5 Reatividade das Amostras Experimentais

Os irradiadores (**Caixa d'água, EIGRA e EIBe**) tem as mesmas dimensões de um elemento combustível e deve ser manuseado com o mesmo cuidado, ou seja, a sua colocação e retirada do núcleo deve ser com o reator desligado com todas as barras inseridas. Cada irradiador comporta duas amostras experimentais. Cada amostra insere uma reatividade negativa de aproximadamente **170 pcm** e, portanto abaixo do limite estabelecido nas especificações técnicas (**500 pcm**), mesmo considerando as duas amostras juntas.

De acordo com a rotina experimental 17-OP-011/F realizada em 05/11/1996 os valores de reatividade com a retirada do EC 130 posição 45 da PM e a inserção da Caixa D'Água, EIGRA, e EIBe são os seguintes:

Caixa D'Água	= -2699 pcm	valor medido
EIGRA	= -1800 pcm	valor teórico

 <b>CNEN/SP</b> <b>ipen</b> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	Nº do Projeto: PSI.ROI.IEAR1.001 Nº do Documento: PRTR.001.R00	Rubrica:
	Data de Emissão: <u>17</u> / <u>06</u> / <u>97</u>	Página: <u>1</u> / <u>22</u>
Assunto: Avaliação do fluxo de neutrons nos elementos de irradiação de amostras.		

EIBe = -1027 pcm valor medido  
= - 923pcm valor calculado


De acordo com a rotina experimental 17-OP-011/F realizada em 05/05/97 os valores de reatividade com a retirada do EC 140 posição 65 da PM e a inserção do EIBe são os seguintes:

EIBe = - 1710 pcm valor calculado  
= - 1500 pcm valor medido

Com os dados obtidos acima espera-se para esses dispositivos, Caixa D'Água, e EIGRA valores de reatividade negativa maiores para a posição central do núcleo do Reator IEA-R1m.

#### 4. CONDIÇÕES INICIAIS E PRECAUÇÕES

- a) Tomar todas as precauções normalmente consideradas em operação normal;
- b) Durante a troca dos elementos de irradiação utilizar o procedimento padrão (conforme rotina 17-OP-011/D);
- c) Monitorar o ganho/perda de reatividade em cada etapa de troca no núcleo para garantir que haja reatividade de desligamento suficiente de acordo com a seção 3.2;
- d) Monitorar sistematicamente o posicionamento das barras de controle e segurança durante a operação do reator, em baixa potência, de forma a garantir condição de desligamento seguro do reator em qualquer tempo;
- e) Monitorar continuamente a temperatura de entrada do núcleo; caso esta temperatura atinja o valor limite de 38°C, o reator deverá ser desligado.

	Nº do Projeto: PSI.ROI.EAR1.001 Nº do Documento: PRTR.001.R00	Rubrica:
	Data de Emissão: 17 / 06 / 97	Página: / 22
Assunto: Avaliação do fluxo de neutrons nos elementos de irradiação de amostras.		

## 5. INSTRUMENTOS E EQUIPAMENTOS ESPECIAIS

- a) Canal experimental posicionado na face norte;
- b) Micro computador para aquisição do tempo de dobramento alimentado pelo canal linear.
- c) Folha de ouro e cádmio.
- d) Amostras de Molibidênio

## 6. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O experimento visa determinar para cada irradiador o fluxo axial e radial através da irradiação de folhas na posição central do núcleo do reator à potência de 20 KW.


- a) Acoplar o micro-computador ao canal linear, para aquisição do tempo de dobramento e determinação da reatividade através do programa REATIMED.BAS.

**WALTER** (E) HORA **7 h 30m**

**ALBERTO/LOYOLA** (O) DATA **07/07/97**

- b) Na configuração 189 (**Figura 1**), criticalizar o reator em 20 KW (conforme rotina 17-OP-002/C). A criticalidade deve ser atingida com as barras **BS#2**, **BS#3** e **BC** posicionadas a uma mesma altura do núcleo e com a **BS#1** realizando o controle de potência. Anotar as posições das barras, nível de potência e temperatura da água da piscina. Determinar o excesso de reatividade por meio de curvas de reatividade de barras de controle. Continuar o experimento se o excesso de reatividade atender os critérios da seção 2.2.

BS#1 **674 (943 WL)** Potência **20 kW**

 <b>CNEN/SP</b> <b>ipen</b> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	Nº do Projeto: PSI.ROI.IEAR1.001 Nº do Documento: PRTR.001.R00	Rubrica:
	Data de Emissão: <u>17</u> / <u>06</u> / <u>97</u>	Página: / <u>22</u>
Assunto: Avaliação do fluxo de neutrons nos elementos de irradiação de amostras.		

BS#2 **670 (921 WL)**      Temperatura      **T 15 = 28,7 °C - T 17 = 28,7 °C**  
**T 16 = 27,8 °C**

BS#3 **670 (384)**      Excesso de Reatividade \*\*\*\*\*

BC **670 (968 WL)**


**WALTER**      (E)      HORA      **8 h 59 m**

**LOYOLA/ALBERTO**      (O)      DATA      **07/07/97**

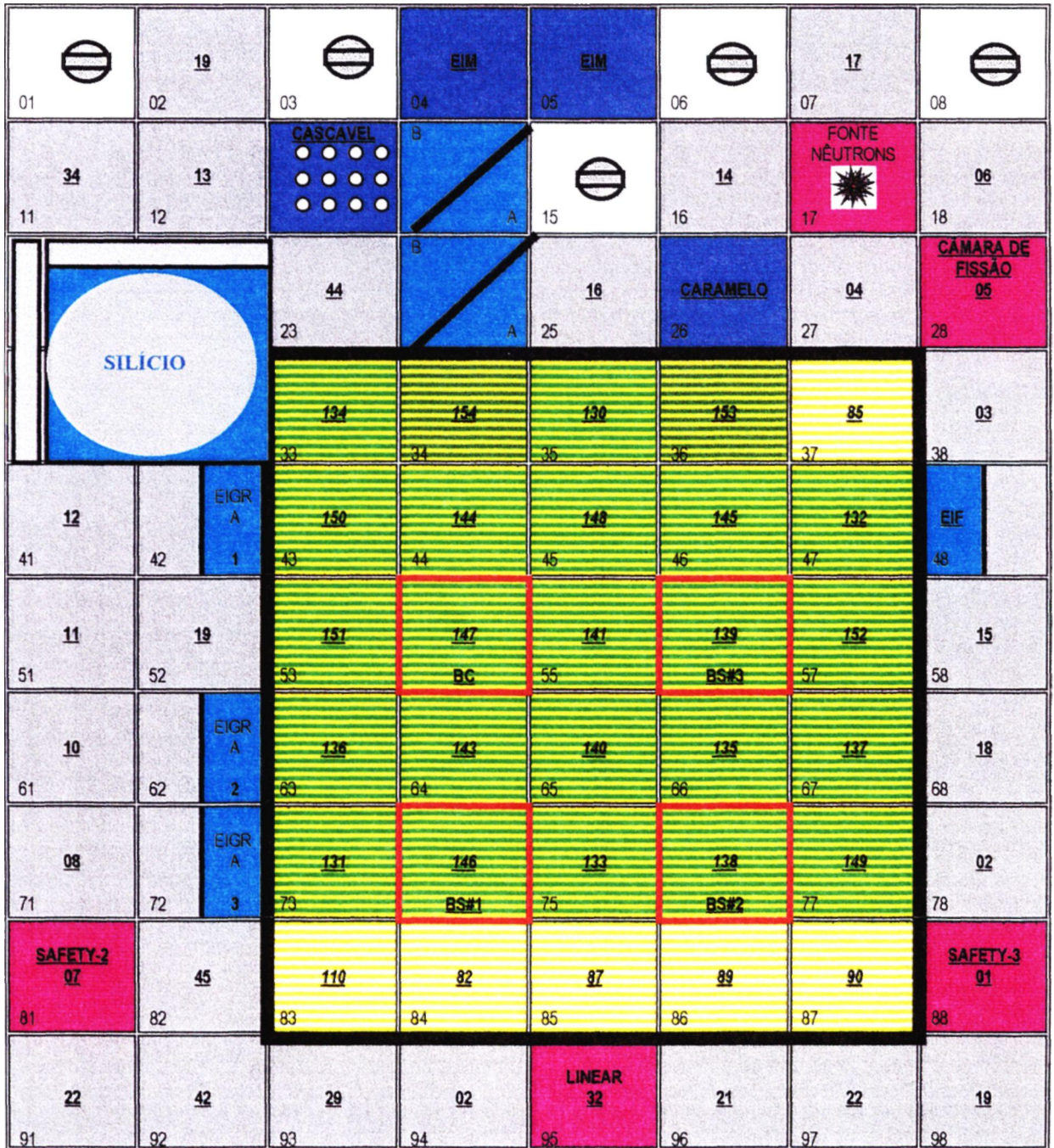
c) Desligar o reator seguindo o procedimento de desligamento utilizando a rotina 17-OP-005/B.


WALTER      (E)      HORA      9 h 13 m

LOYOLA/ALBERTO      (O)      DATA      07/07/97

 <b>CNEN/SP</b> <b>ipen</b> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	Nº do Projeto: PSI.ROI.IEAR1.001 Nº do Documento: PRTR.001.R00	Rubrica:
	Data de Emissão: <u>17</u> / <u>06</u> / <u>97</u>	Página: <u> / 22</u>
Assunto: Avaliação do fluxo de neutrons nos elementos de irradiação de amostras.		

**Figura 1 - Configuração 189**



 <b>ipen</b> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	Nº do Projeto: PSI.ROI.IEAR1.001 Nº do Documento: PRTR.001.R00	Rubrica:
	Data de Emissão: <u>17</u> / <u>06</u> / <u>97</u>	Página: <u>1</u> / <u>22</u>
Assunto: Avaliação do fluxo de neutrons nos elementos de irradiação de amostras.		

### 6.1 MEDIDAS NO EIBe

- a) Retirar o EC 140 e colocar o EIBe na posição 65 da PM, conforme a rotina 17-OP-011/D, (Figura 2).
- b) Criticalizar o reator em 20 KW (conforme rotina 17-OP-002/C). A criticalidade deve ser atingida com as barras BS#2, BS#3 e BC posicionadas na mesma altura do item **6.b** e com a barra BS#1 realizando o controle da potência. Anotar as posições das barras, nível de potência e temperatura de saída do núcleo. Manter a temperatura igual a indicada no item b. Determinar o ganho/perda e o excesso de reatividade.

BS#1	943 WL	Potência	20 kW / $i = 0,5452 \times 10^{-6} A$
(corrente no eletrômetro, ligado ao canal linear)			
BS#2	918 WL	Temperatura	$t_{15} = 28,7^{\circ}C$ - $t_{16} = 27,5^{\circ}C$ $t_{17} = 28,7^{\circ}C$
BS#3	621	Excesso de Reatividade	*****
BC	968 WL		

- c) Determinar o ganho/perda de reatividade da seguinte forma:


- levar a BS# 1 à mesma posição que se encontra no item **6.b** de forma que cada movimento não insira mais que 50 pcm em valor absoluto;
- anotar o tempo de dobramento;
- compensar a criticalidade com a BS# 3;
- repetir os itens i e iii tantas vezes até que se posicione a barra BS#1 a posição indicada no item **6.b**.

- d) Iniciar as irradiações da seguinte forma:

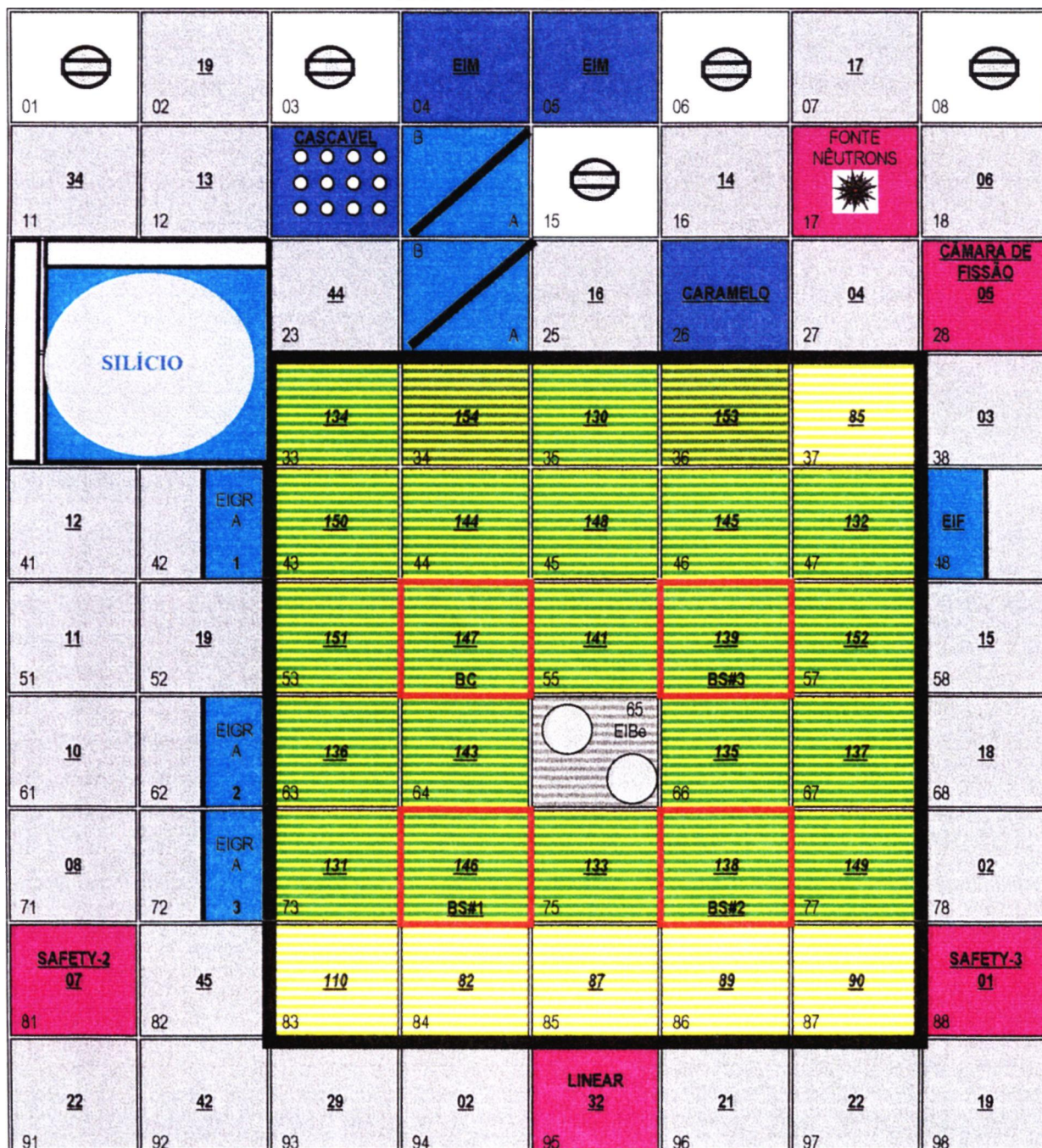
- Colocar o EIRA 1 com as folhas de ouro nuas na posição A do EIBe por 30 minutos


BS#1 943                      BS#2 918                      BS#3 615                      BC 968



 <b>CNEN/SP</b> <b>ipen</b> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	Nº do Projeto: PSI.ROI.IEAR1.001 Nº do Documento: PRTR.001.R00	Rubrica:
	Data de Emissão: <u>17</u> / <u>06</u> / <u>97</u>	Página: <u>/ 22</u>
Assunto: Avaliação do fluxo de neutrons nos elementos de irradiação de amostras.		

**Figura 2 - Configuração 190**



 <b>ipen</b> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	Nº do Projeto: PSI.ROI.IEAR1.001	Rubrica:
	Nº do Documento: PRTR.001.R00	
	Data de Emissão: 17 / 06 / 97	Página: / 22
Assunto: Avaliação do fluxo de neutrons nos elementos de irradiação de amostras.		

## 6.2 MEDIDAS COM A CAIXA D'ÁGUA

a) Realizar a segunda etapa: retirada do EIBE e a colocação da Caixa d'água, conforme a rotina 17-OP-011/D. (Figura 3)

**WALTER** (E) HORA **12 h 30 m**

**EDSON/HERTZ** (O) DATA **07/07/97**

b) Criticalizar reator em 20 KW (conforme rotina 17-OP-002/C). A criticalidade deve ser atingida com as barras **BS#2**, **BS#3** e **BC** posicionadas na mesma altura do item **6.b** e com a barra **BS#1** realizando o controle da potência. Anotar as posições das barras, nível de potência e temperatura de saída do núcleo. Manter a temperatura igual a indicada no item **6.b**. Determinar o ganho/perda e o excesso de reatividade.

BS#1 **943 WL** Potência **20 kW / i = 0,5452 x**

**10<sup>-6</sup> A** (corrente no eletrômetro, ligado ao canal linear)

BS#2 **916 WL** Temperatura **\*\*\*\*\***


BS#3 **950** Excesso de Reatividade **\*\*\*\*\***

BC **968 WL**

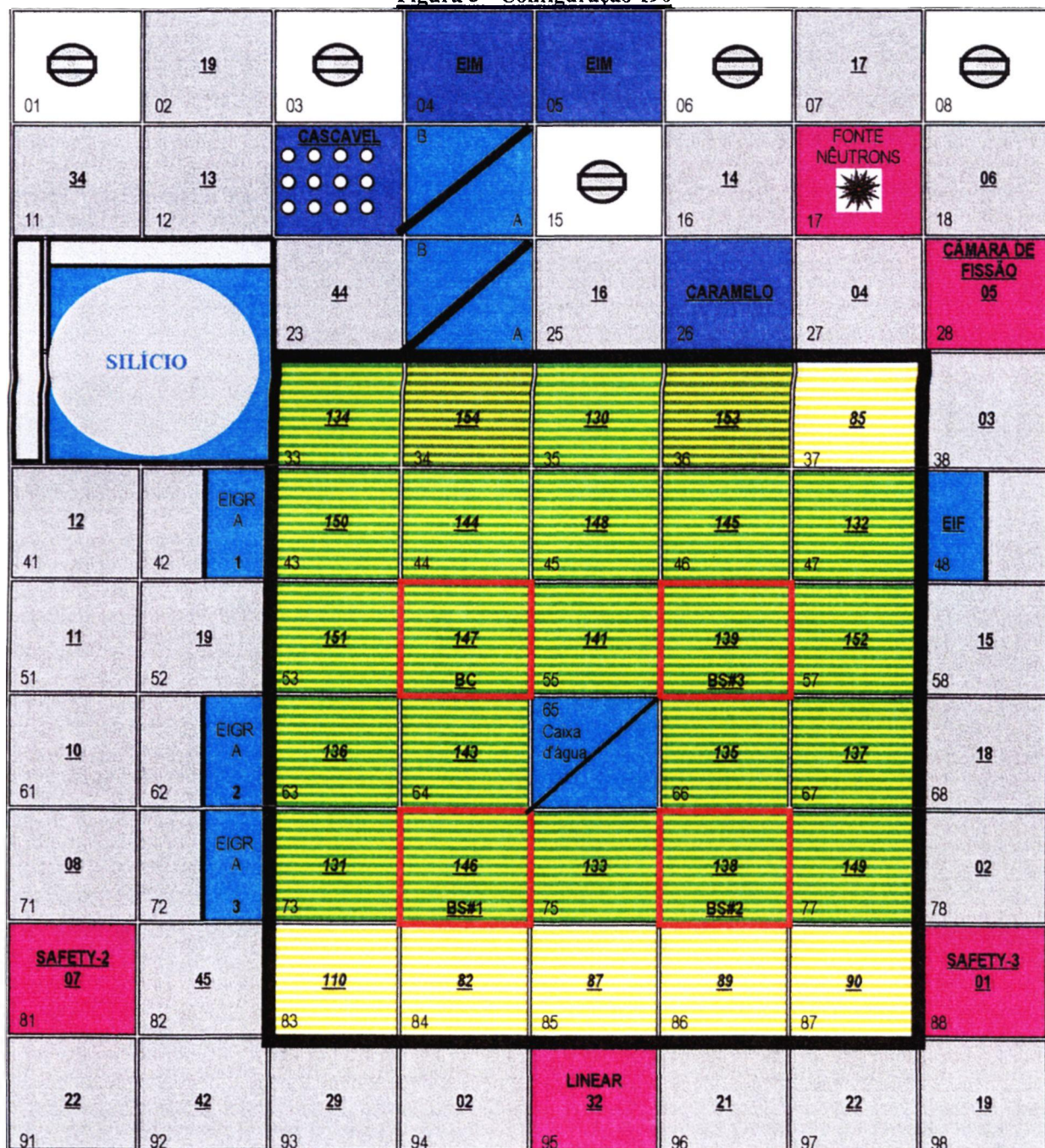
c) Determinar o ganho/perda de reatividade da seguinte forma:


- i) levar a **BS#1** à mesma posição que se encontra no item b de forma que cada movimento não insira mais que **50 pcm** em valor absoluto;
- ii) anotar o tempo de dobramento;
- iii) compensar a criticalidade com a **BS#3**;



 <b>CNEN/SP</b> <b>ipen</b> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	Nº do Projeto: PSI.ROI.IEAR1.001 Nº do Documento: PRTR.001.R00	Rubrica:
	Data de Emissão: <u>17</u> / <u>06</u> / <u>97</u>	Página: <u>  </u> / <u>22</u>
Assunto: Avaliação do fluxo de neutrons nos elementos de irradiação de amostras.		

**Figura 3 - Configuração 190**



 <b>ipen</b> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	Nº do Projeto: PSI.ROI.IEAR1.001 Nº do Documento: PRTR.001.R00	Rubrica:
	Data de Emissão: <u>17</u> / <u>06</u> / <u>97</u>	Página: <u>1</u> / <u>22</u>
Assunto: Avaliação do fluxo de neutrons nos elementos de irradiação de amostras.		

### 6.3 MEDIDAS COM O EIGRA

a) Realizar a terceira etapa: retirada da **Caixa d'água** e a colocação do **EIGRA**, conforme a rotina 17-OP-011/D. (Figura 4)

**WALTER** (E) HORA **17 h 12 m**

**TONINHO/MELLO** (O) DATA **07/07/97**

b) Criticalizar reator em 20 KW (conforme rotina 17-OP-002/C). A criticalidade deve ser atingida com as barras **BS#2**, **BS#3** e **BC** posicionadas na mesma altura do item **6.b** e com a barra **BS#1** realizando o controle da potência. Anotar as posições das barras, nível de potência e temperatura de saída do núcleo. Manter a temperatura igual a indicada no item **6.b**. Determinar o ganho/perda e o excesso de reatividade.

BS#1 **943 WL** Potência **20 kW / i = 0,5452 x**

**10<sup>-6</sup> A** (corrente no eletrômetro, ligado ao canal linear)

BS#2 **916 WL** Temperatura **T 1 = 26°C - T 2 =**

**23,7°C**

**T 15 = 28,79°C**


BS#3 **781** Excesso de Reatividade \*\*\*\*\*

BC **968 WL**

c) Determinar o ganho/perda de reatividade da seguinte forma:

i) levar a **BS#1** à mesma posição que se encontra no item b de forma que cada movimento não insira mais que **50 pcm** em valor absoluto;

ii) anotar o tempo de dobramento;

	Nº do Projeto: PSI.ROI.IEAR1.001 Nº do Documento: PRTR.001.R00	Rubrica:
	Data de Emissão: 17 / 06 / 97	Página: / 22
Assunto: Avaliação do fluxo de neutrons nos elementos de irradiação de amostras.		

iii) compensar a criticalidade com a **BS#3**;

iv) repetir os itens **i** e **iii** tantas vezes até que se posicione a barra **BS#1** a posição indicada no item **6.b**.

**d)** Iniciar as irradiações da seguinte forma:

1. Colocar o **EIGRA II** com as folhas de ouro nuas no **EIGRA** por 30 minutos.

**BS#1 943**                      **BS#2 916**                      **BS#3 781**                      **BC 968**

2. Colocar o **EIGRA II** com as folha de ouro coberta com cádmio, no **EIGRA**, por 30 minutos.

**BS#1 943**                      **BS#2 916**                      **BS#3 806**                      **BC 968**

3. Colocar o **EIGRA II** com amostra de **Mo** para determinação do fluxo radial por 30 minutos.

**BS#1 943**                      **BS#2 916**                      **BS#3 812**                      **BC 968**

**e)** Desligar o reator seguindo o procedimento de desligamento utilizando a rotina 17-OP-005/B.

**f)** Retirar o **EIGRA** e colocar o **EC 140** na posição original (**Figura 1 - posição 65 da PM**)


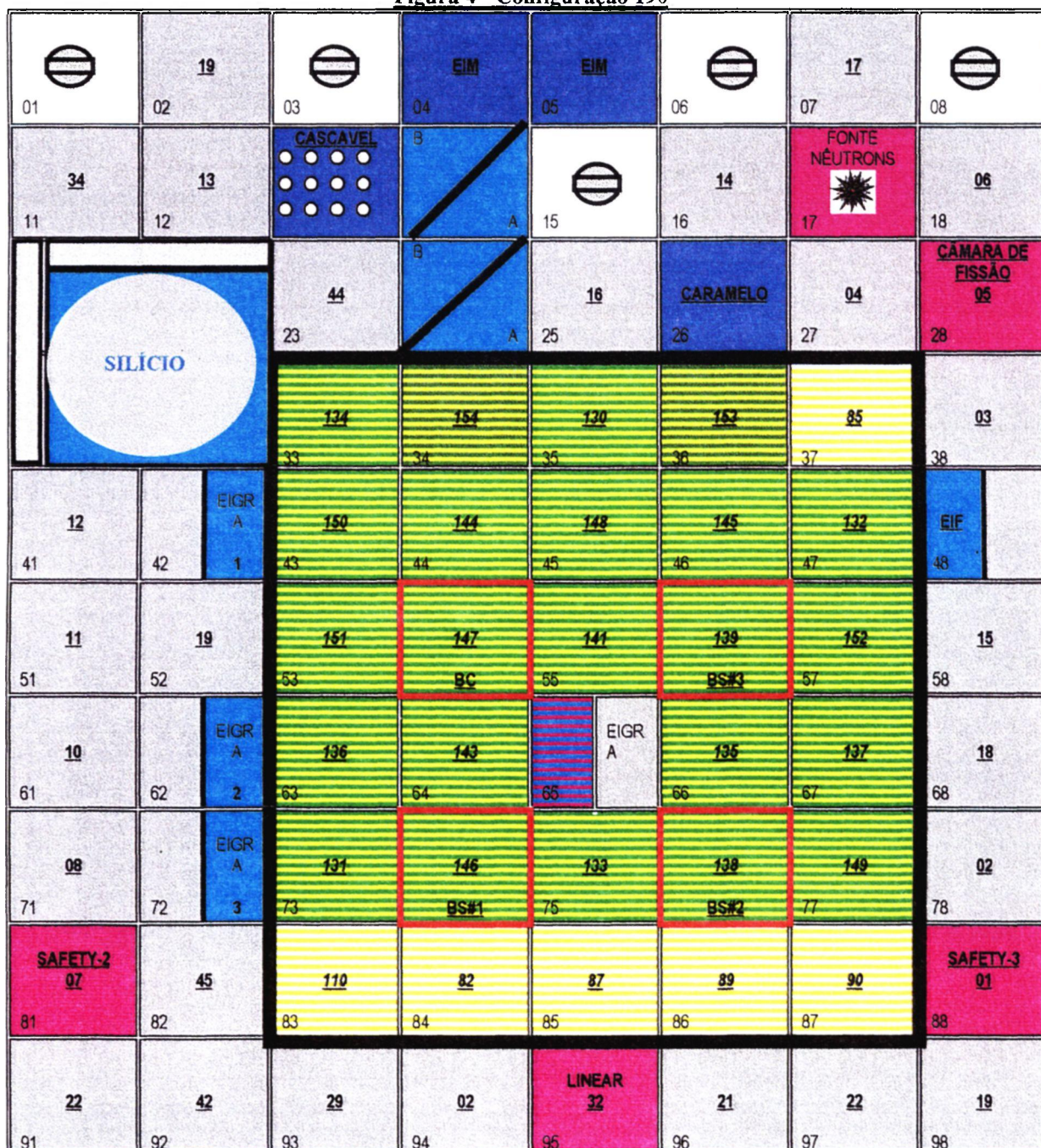

 <b>CNEN/SP</b> <b>ipen</b> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	Nº do Projeto: PSI.ROI.IEAR1.001	Rubrica:
	Nº do Documento: PRTR.001.R00	
	Data de Emissão: 17 / 06 / 97	Página: / 22
Assunto: Avaliação do fluxo de neutrons nos elementos de irradiação de amostras.		

Figura 4 - Configuração 190



 <b>ipen</b> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	Nº do Projeto: PSI.ROI.IEAR1.001	Rubrica:
	Nº do Documento: PRTR.001.R00	
	Data de Emissão: 17 / 06 / 97	Página: / 22
Assunto: Avaliação do fluxo de neutrons nos elementos de irradiação de amostras.		

### LEGENDA DAS CONFIGURAÇÕES



## 7. CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO

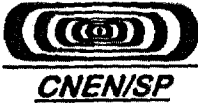
- Ter-se obtido todos os dados citados anteriormente nesta rotina, conforme as condições preestabelecidas acima.
- A potência não pode ter sofrido grandes variações, o que poderia acarretar em um mascaramento dos dados obtidos devido a efeitos paralelos.

## 8. OBSERVAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

- O excesso de reatividade e a perda de reatividade em cada etapa de substituição deve ser monitorada durante o experimento e atender aos critérios das seções 2.2.
- A margem de desligamento do reator deve ser verificada em cada etapa de carregamento.
- O experimento pode ser realizado com segurança não causando riscos adicionais ao público

## 9. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- [1] Safety Series nº. 35, International Energy Agency (1984)
- [2] Design Guide for Category III Reactor - Pool Type Reactors, BNL (1978).
- [3] General Design Criteria, 10 CFR 50 - Apendice A .
- [4] Rotina Experimental, PSI.RAF.IEAR1.007 - PREX.001.R00 (1996).
- [5] Rotina Operacional 17-OP-011/D - Operação do Reator IEA-R1 para Mudança de Configuração do núcleo.

 <b>ipen</b> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	N° do Projeto: PSI.ROI.IEAR1.001 N° do Documento: PRTR.001.R00	Rubrica:
	Data de Emissão: <u>17</u> / <u>06</u> / <u>97</u>	Página: <u>1</u> / <u>22</u>
Assunto: Avaliação do fluxo de neutrons nos elementos de irradiação de amostras.		

[6] Rotina Operacional 17-OP-005/B -Desligamento do Reator IEA-R1 em Potências Superiores a 200 KW.

[7] Rotina Operacional 17-OP-002/C - Operação do Reator IEA-R1 em Potências Inferiores a 200 KW.

## 10. IDENTIFICAÇÃO DAS RUBRICAS

- a. \_\_\_\_\_
- b. \_\_\_\_\_
- c. \_\_\_\_\_
- d. \_\_\_\_\_
- e. \_\_\_\_\_
- f. \_\_\_\_\_
- g. \_\_\_\_\_
- h. \_\_\_\_\_
- i. \_\_\_\_\_
- j. \_\_\_\_\_

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATALLA, L. T. **Interpretação Quantitativa de Resultados Experimentais**, São Paulo: 1978 (IEA-inf-60).
- AXTON, E. J. **Absolute measurement of the neutron flux density in the A.E.R.E. reactor "GLEEP"** J. nucl. Energy, Parts A/B: Reactor Sci. Technol., 17 - 125-35, 1963.
- BARHEN, J.; RHOTENSTEIN, W. and TAVIV, E., **The HAMMER Code System Technion, Israel Institute of Technology**. Haifa, Israel, NP-565, 1978.
- BENSCH, F. **Flux depression and the absolute measurement of the thermal neutron flux density**. Atomkernergie, 25(4):257-63, 1975.
- BERCKURTZ, F. **Flux depression and the absolute measurement of the thermal neutron flux density**. Atomkernergie, 25:257-64, 1975.
- BERCKURTZ, K.H. & WIRTZ, K. **Neutron physics**. Berlin, springer, 1964.
- BROWN, H. I. & CONNOLY, T. J. **Cadmium cutoff energies for resonance absorbers in activation and reactivity measurements**. Nucl. Sci. Engng, 24 : 6-17, 1966.
- CARTWRIGHT, D. K.; McNIGHT, J. \*A.; PICKERING, W. **The measurement of flux distribution in the Winscale advanced gas-cooled at zero power and comparasion with calculation**. In: BERKELEY NUCLEAR LABORATORIES (C.E.G.B.). **Radiation measurements in nuclear power: proceedings...** in Gloucestershire, England, September 1966. London, The Institute of physics and the physical society, 1967. p.48-53.

- CHARBONNEL, A., **Problèmes posés par l'utilisation des détecteurs par activation**. In: International Atomic Energy Agency. Neutron dosimetry: proceedings of the symposium on... held in Harwell, England, 10-14 December, 1962, v.1 Vienna, 1963. P.71. (Proceedings series).
- COLLINSON, C. B.; HIGHAM, E. J.; ROWBOTHAM, J. R. **Measurements of neutron flux and fission rate in advanced gas-cooled reactor lattices**. In: BERKELEY NUCLEAR LABORATORIES (C.E.G.B.). **Radiation measurements in nuclear power: proceedings...** in Gloucestershire, England, September, 1966. London, The Institute of physics and the physical society, 1967. P.54-62.
- COPPERSMITH, W. C. & MEEM, J. L. **Correlation of two group theory neutron flux measurement in a pool-type reactor**. J. nuclear Energy, Parts A/B: Reactor Sci. Technol., 20:635-48, 1966.
- DUDERSTADT, J. J., HAMILTON, J. L. **Nuclear Reactor Analysis**. Oxford: John Wiley, 1972.
- ENGLE, W. W., **ANISN – A One-Dimensional Discrete Ordinate Transport Code**, Oake Ridge National Laboratory, Technical Report RSIC/CCC-254, 1979.
- FANARO, L. C. C. B. and MAIORINO, J. R. **“Calculation of the Safety-Related Benchmark Problem-IAEA 10 MW: Static Calculations. IAEA-ARCAL V – Workshop to Compare Benchmark Calculations”**. Santiago-Chile 23-27 October 1989.
- FLEISHER, R. L.; PRICE, P. B.; WALKER, R. M. **Neutron flux measurement by fission tracks in solids**. Nucl. Sci. Engng, 22:153-56, 1965.
- FOREMAN, C. E. & HUBBARD, R. B. **In core system provides continuous flux map of reactor cores**. Power, 111:106-9, Nov. 1967.

- FOWLER, T. B.; VONDY, D. R.; CUNNINGHAM, G. W., "Nuclear reactor core analysis code: CITATION", Oak Ridge National Laboratory, ORNL-TM-2496, Rev. 2, Suppl. 3, July 1972.
- HILBORN, J. W. Self powered neutrons detectors for reactors flux monitoring. *Nucleonics*: 22(2):69, 1964.
- HUGHES, D. J. **File neutron research**. Cambridge, Mass., Addison Wesley, 1953.
- INITIAL testing of the la Crosse boiling water reactor. Bethesda, Md., Allis-Chalmers, Dec. 1967.(ACNP-67533).
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Handbook on nuclear activation cross-sections: neutron photon and charged-particle nuclear reaction cross-section data**. Vienna, 1974 (Technical reports series, 156)
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Neutron cross section for reactor dosimetry proceedings of a meeting on...**, held in Vienna, 15-19 Nov., 1976. Vienna, 1978. v. 1.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Neutron fluence measurements**. Vienna, 1970. (Technical reports series, 107).
- KOMPANEK, JR., A. J. & TARNUZZER, E. C. Neutron activated wires plot fluxes in Yankee core. *Nucleonics*, 20 (2) : 44 Feb. 1962.
- LEGRAND, J. PEROLAT, J. P.; LAGOUTINE, F.; LE GALLIC, Y. **Table des radionucléides**. Saclay, Centre d'Etudes Nucleaires, 1974.
- LEME, M. P. T., **Medida absoluta do fluxo de nêutrons lentos em um feixe colimado. Aplicação do método de ativação utilizando ouro e disprósio**. São Paulo, 1970. (Dissertação de Mestrado).
- LITTLE, W. W., Jr.; HARDIE, R. W.; "2DB user's manual - revision I", BNWL-831, REVI, Battelle Pacific Northwest Laboratory, 1969.

- LOOSEMORES, W. R. & KNILL, G. **Design and performance of miniature primary emission neutron activation detectors for spatial distributions measurements of neutrons in reactors.** In: BERKELEY NUCLEAR LABORATORIES (C.E.G.B.). Radiation measurements in nuclear power: proceedings... in Gloucestershire, England, September, 1966. London, The Institute of physics and physical society, 1967, p.430-9.
- MACFARLANE, R. E., MUIR, D. W. and Boicurt, R. M., NJOY 91.38 – **A Code System for Producing Pointwise and Multigroup Neutron and Photon Cross Section from ENDF/B Evaluated Nuclear Data,** Oak Ridge National Laboratory, PSR – 171, 1992.
- MANUAL DE OPERAÇÃO DO REATOR IEA-R1m, **Operação para utilização de elemento de irradiação (EIGRA) para irradiação de amostras no Reator IEA-R1m.** Rotina 17-OP-049/C. 1990.
- MANUAL DE OPERAÇÃO DO REATOR IEA-R1m, **Operação para utilização de elemento (EIRA) para irradiação de amostras no Reator IEA-R1m.** Rotina 17-OP-050/C. 1989.
- MANUAL DE OPERAÇÃO DO REATOR IEA-R1m. **Levantamento das curvas de reatividade diferencial e integral das barras de controle e de segurança do Reator IEA-R1m pela técnica do período estável.** Rotina 17-OP-057/B. 1990.
- MANUAL DE OPERAÇÃO DO REATOR IEA-R1m. **Operação do Reator IEA-R1m para mudança de configuração do núcleo.** Rotina 17-OP-011/G. 1989.
- MANUAL DE OPERAÇÃO DO REATOR IEA-R1m. **Operação do Reator IEA-R1m em potências inferiores a 200 kW.** Rotina 17-OP-002/C. 1991.
- MANUAL DE OPERAÇÃO DO REATOR IEA-R1m. **Processo de selagem de cápsulas padrão de irradiação de amostras no Reator IEA-R1m.** Rotina 17-OP-052/C. 1995.

- MARAGNI, M. G.; SILVA, A. T. and MAIORINO, J. R. "Calculation of Safety-Related Benchmark Problem-IAEA 10 MW: Transient Calculations". IAEA-ARCAL V – Primer Taller Sobre Reactores Nucleares de Investigacion en America Latina.. Santiago-Chile 21-25 January 1991.
- MARTIN, M. J. & BLICHERT-TOFT, P. H. Radioactive atoms: auger-electron,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  and X-ray data. Nucl. Data tabl., A8: 1 - 198, 1970.
- MISTINIK F<sup>o</sup>., J. A distribuição espacial do fluxo de nêutrons no núcleo do Reator IEA-R1m, obtida por meio da ativação de folhas. São Paulo, 1978 (Dissertação de mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo). (IEA-DT-132).
- MULLER, E. Evaluation of the FDR-O neutron measurements, comparison of experimental and theoretical results. Atomkernergie, 13:327-33. 1968.
- NAKAJIMA, T.; TOJO, T.; KONDO, M. Measurement of material buckling of U-H<sub>2</sub>O assembly. J. nucl. Sci. Technol., 5(1):1-6, 1968
- NUCLEAR Data Sheets. 20 (3), Mar. 1977.
- OKUMO, E., CALDAS, I. L., CHOW, C. – Física para ciências biológicas e biomédicas, Cap. 7 e 8, 1982.
- PRICE, W. J. Nuclear radiation detection. New York, N. Y., McGraw-Hill, 1964. (McGraw series in nuclear engineering).
- PROFIO, A. E. Experimental reactor physics. New York, Wiley, 1976.
- PROGRESS report of Nora project, October 1-December 31, 1967. [s.l.], [s.e.d.], Jan. 1968. (IAEA-3498-21).
- RELATÓRIO DE ANÁLISE DE SEGURANÇA DO REATOR IEA-R1m, Cap. 17, Vol II, 1996.

**RELATÓRIO DE ANÁLISE DE SEGURANÇA DO REATOR IEA-R1m.  
Instrumentação e controle. Cap. 8, Vol. I. 1996.**

**RENNER, C., DIAS, M. S., ORTEGA, A. Flux measurements of thermal and fast neutrons at locations available for sample irradiation in the IEA-R1 facility. São Paulo, Instituto de Energia Atômica, dez. 1976. (IEA-Pub-456).**

**SHIBATA, K et alli Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 – JENDL-3, JAERI – 1319, 1990.**

**SRIVASTAVA, D. S.; SAMPATHKUMAR, R.; CHAUDHURI, N. K.; IYER, R. H. Neutron flux mapping at Apsara reactor using solid state track detectors. Bombay Bhaba Atomic Research Center, 1974. (BARC-752).**

**STHEN, J. R.; GOLDBERG, M. D.; MAGURNO, B. A.; WIENERCHASMAN, R. Neutron cross sections, v.1 2.ed. /s.1./, Brookhaven National Lab., may 1964. (BNL-325, Suppl.2).**

**TARABELLA, A. Cartes de flux par detecteurs a semi-conducteurs sur le reacteur EDF-3. Saclay, Commissariat a l'energie atomique, 1968. (CEA-R-3297).**

**VAN HOWE, K. R. & BROWN, J. R. Progress of zero-power experiments in the peach bottom high-temperature gas-cooled reactor. In: WYMER, R. G. Thorium fuel cycle: proceedings of second international... symposium Gatlinburg, Tenn., May 3-6, 1966. Oak Ridge, Tenn., USAEC, Division of Technical Information Extension, Feb. 1968. P.695-715.**

**VERDANT, R. Mesures continues de flux de neutrons dans le reacteurs nucleaires avec collectrons Saclay, Commissariat a l'energie atomique, 1973. (CEA-R-4411).**

**VUOLO, J. H., Fundamentos da Teoria dos Erros, 1996. Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo.**

YAMAGUCHI, M. e SANTOS, A. "Metodologia de cálculo de  $\beta_{ef}$  e  $\Lambda$ ", Anais do X Encontro de Física de Reatores e Termo-hidráulica, Águas de Lindóia, SP, Agosto 1995.

YAMAGUCHI, M., MENDONÇA, A. G., SANTOS, A., OSSO JUNIOR, J. A. **Perspectiva de produção de  $^{99}\text{Mo}$  via captura radioativa no  $^{98}\text{Mo}$  utilizando o Reator IEA-R1m a 5 MW e operando continuamente 5 dias por semana.** ANAIS do XI ENFIR/IV ENAN – Poços de Caldas, MG, Brasil. Agosto 18-22, 1997.

YAMAGUCHI, M.; MENDONÇA, A. G., **Análise do experimento de irradiação de amostras de  $\text{MoO}_3$  no Reator IEA-R1m utilizando irradiador de berílio,** Relatório Técnico, PSI.RAF.IEAR1.007, RELT.002.R00, Fevereiro 1997.