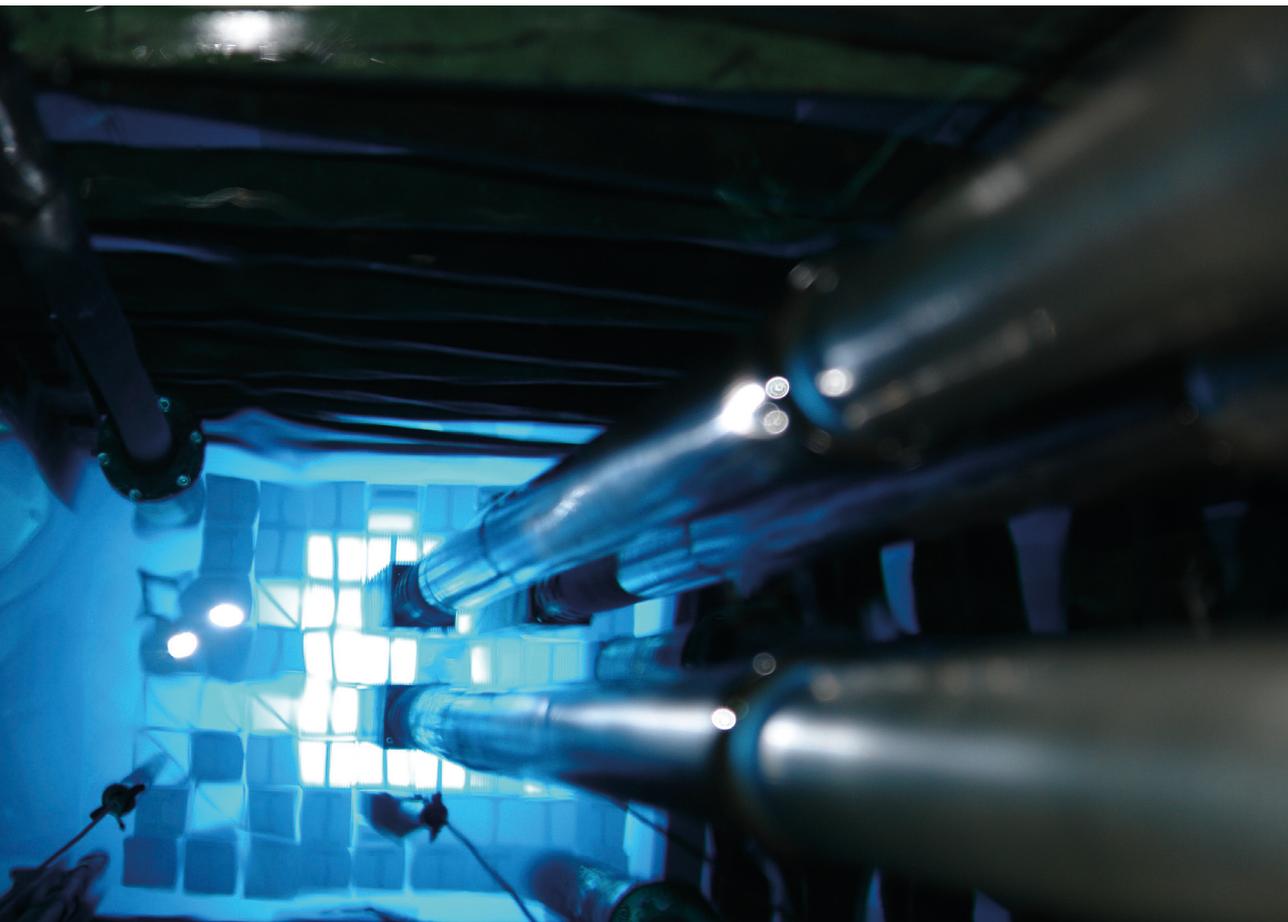


Paulo Sergio Cardoso Da Silva
Guilherme Soares Zahn
Francisco De Assis Souza
organizadores

CONTRIBUIÇÕES DO REATOR IEA-R1 PARA A PESQUISA NUCLEAR

WARP2: II Workshop Anual do Reator de Pesquisas



CONTRIBUIÇÕES DO
REATOR IEA-R1 PARA A
PESQUISA NUCLEAR

Conselho editorial

André Costa e Silva

Cecilia Consolo

Dijon de Moraes

Jarbas Vargas Nascimento

Luis Barbosa Cortez

Marco Aurélio Cremasco

Rogerio Lerner

Blucher Open Access

PAULO SERGIO CARDOSO DA SILVA
GUILHERME SOARES ZAHN
FRANCISCO DE ASSIS SOUZA
(organizadores)

CONTRIBUIÇÕES DO
REATOR IEA-R1 PARA A
PESQUISA NUCLEAR
WARP2: II Workshop Anual do
Reator de Pesquisas

21 e 22 de novembro de 2019
Centro do Reator de Pesquisas
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

2022

Contribuições do Reator IEA-R1 para a Pesquisa Nuclear

WARP2: II Workshop Anual do Reator de Pesquisas

© 2022 Paulo Sergio Cardoso da Silva, Guilherme Soares Zahn e Francisco de Assis Souza

Editora Edgard Blücher Ltda.

Publisher Edgard Blücher

Editor Eduardo Blücher

Coordenação editorial Jonatas Eliakim

Produção editorial Thaís Costa

Diagramação Taís do Lago

Capa Laércio Flenic

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar
04531-934 – São Paulo – SP – Brasil
Tel 55 11 3078-5366
contato@blucher.com.br
www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed.
do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer
meios, sem autorização escrita da Editora.

Todos os direitos reservados pela Editora
Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Workshop anual do reator de pesquisas (2. : 2019 :
São Paulo)
Contribuições do reator IEA-R1 para a pesquisa
nuclear WARP 2 / organizado por Paulo Sergio Cardoso
da Silva, Guilherme Soares Zahn, Francisco de Assis
Souza. -- São Paulo : Blucher, 2022.
478 p : il.
21 e 22 de novembro de 2019 - Centro do Reator de
Pesquisas
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Bibliografia
ISBN 978-65-5550-147-6 (impresso)
ISBN 978-65-5550-148-3 (eletrônico)
1. Pesquisa nuclear 2. Física nuclear I. Título II. Silva,
Paulo Sergio Cardoso da III. Zahn, Guilherme Soares IV.
Souza, Francisco de Assis IV. IPEN

21-5617

CDD 539.7

Índices para catálogo sistemático:

1. Pesquisa nuclear

COMITÊ ORGANIZADOR

Paulo Sergio Cardoso da Silva

Guilherme Soares Zahn

Francisco de Assis Souza

COMITÊ CIENTÍFICO

Paulo Sergio Cardoso da Silva

Guilherme Soares Zahn

Francisco de Assis Souza

Frederico Antônio Genezini

APOIO

O Comitê Organizador agradece o apoio do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), do Departamento de Ensino do IPEN e da Marinha do Brasil, para a realização do II Workshop Anual do Reator de Pesquisas.



DESENVOLVIMENTO DE DETECTORES DE NÊUTRONS SENSÍVEL À POSIÇÃO

*L. A. Serra Filho¹, F. A. Souza², M. Morales², H. Natal da Luz¹,
M. Bregant¹, M. G. Munhoz¹*

¹Instituto de Física da Universidade de São Paulo
Rua do Matão, 1371
05508-090 São Paulo – SP
lserra@if.usp.br

²Centro do Reator de Pesquisas – IPEN-CNEN/SP
Av. Professor Lineu Prestes, 2242
05508-000 São Paulo – SP

RESUMO

O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) possui atualmente o maior reator de pesquisas nacional (IEA-R1), com algumas linhas de feixes de nêutrons disponíveis tanto para a inserção de novos instrumentos como para

utilização desses feixes na caracterização e testes de detectores. Desde 2015 vem sendo desenvolvido, por meio de uma colaboração entre o IPEN e o Centro de Instrumentação e Física de Altas Energias (HEPIC) do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IF-USP), um protótipo de detector de nêutrons térmicos sensível à posição baseado em sistema de microestruturas multiplicadoras de elétrons em gás (GEM). Os experimentos têm sido realizados utilizando o feixe monocromático do difratômetro de nêutrons AURORA instalado no saguão experimental do reator IEA-R1.

1. INTRODUÇÃO

Detetores de nêutrons com alta resolução em posição, alta eficiência de detecção para nêutrons com comprimentos de onda no intervalo de 1Å a 10Å (energias da ordem de meV) e baixa sensibilidade para raios gama, são um dos principais componentes de instrumentos de espalhamento de nêutrons como difratômetros e espectrômetros. Por várias décadas o gás ^3He , com alta seção de choque de absorção de nêutrons térmicos $\sigma_a = 5333$ barns, foi amplamente utilizado em detetores de nêutrons de grande área sensíveis a posição ($n + ^3\text{He} \rightarrow ^3\text{H} + ^1\text{H} + 0,764$ MeV) [1,2]. Entretanto, a grande demanda mundial, nos últimos anos estimada em mais de 4 vezes o suprimento total anual [3, 4], gerou uma escassez e consequentemente um enorme aumento no preço do ^3He . A escassez do ^3He praticamente estagnou a fabricação de novos sistemas detectores para nêutrons térmicos que exigem grandes volumes, sendo que hoje a busca por tecnologias que substituam o uso deste gás é o principal motivo de estudo nesta área [5,6,7].

Em 2015 uma colaboração entre o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) e o Centro de Instrumentação e Física de Altas Energias do Instituto Física da Universidade de São Paulo (HEPIC-IFUSP) deu início ao estudo de viabilidade e construção de detectores de nêutrons para técnicas de difração, espectroscopia, imagem e monitoramento de feixe. Inicialmente, foram construídos protótipos de um detector para monitoramento de feixe, utilizando um detector GEM (Gas Electron Multiplier) [8] e uma espessa camada do isótopo ^{10}B ($s_a = 3835$ barns) com área de (10×10) cm^2 como conversor [9,10] no qual o processo será explicado com um pouco mais detalhes adiante. Atualmente já se encontra em andamento a implementação das medidas de posição do nêutron incidente no detector, por meio da carga coletada em diferentes trilhas de cobre no anodo.

Os experimentos foram e continuam sendo realizados no saguão experimental localizado no 1º andar do reator de pesquisas (IEA-R1) do IPEN. Um feixe monocromático com comprimento de onda de 1,4 Å, proveniente do difratômetro

de nêutrons AURORA [11] e devidamente colimado por fendas de cádmio, vem sendo utilizado nos testes com os protótipos e resultados preliminares sugerem uma eficiência de detecção de aproximadamente 0,7%, o que está dentro do esperado para uma única camada de ^{10}B com 2 μmm de espessura. A baixa eficiência também é adequada para o propósito inicial de desenvolvimento de um protótipo sensível à posição para monitoramento de feixe. Após a implementação das medidas de posição, daremos início à construção de protótipos com camadas de ^{10}B depositadas sobre os GEM, com objetivo de aumentar a eficiência de detecção para outras aplicações em espalhamento de nêutrons.

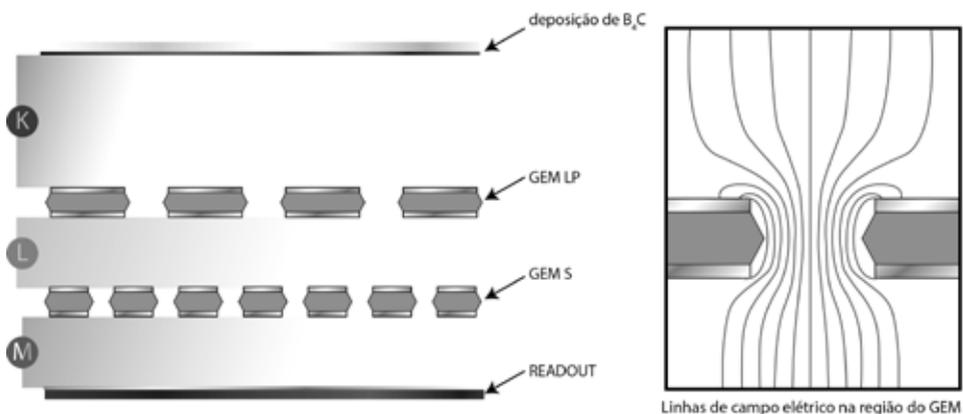
2. PARTE EXPERIMENTAL E RESULTADOS

Nos subitens a seguir, serão apresentados brevemente um dos protótipos construído e utilizado nos primeiros testes e seu princípio de funcionamento, bem como os resultados preliminares para as eficiências de detecção em duas configurações do protótipo.

2.1. Protótipo de Detector

Na Figura 1 são apresentados, à esquerda, um esquema da seção transversal do protótipo de detector que tem sido utilizado nos testes realizado no saguão experimental do reator IEA-R1 e, à direita, uma simulação das linhas de campos geradas em um dos orifícios de um GEM.

Figura 1 – Esquema da seção transversal do detector (esquerda). Linhas de campo geradas em um orifício de um GEM (direita).



Na parte superior da região J foi depositada uma camada de $^{10}\text{B}_4\text{C}$ que atua como conversor, sendo que o nêutron é detectado de modo indireto, no qual produtos da reação $n + ^{10}\text{B} \rightarrow ^7\text{Li}$

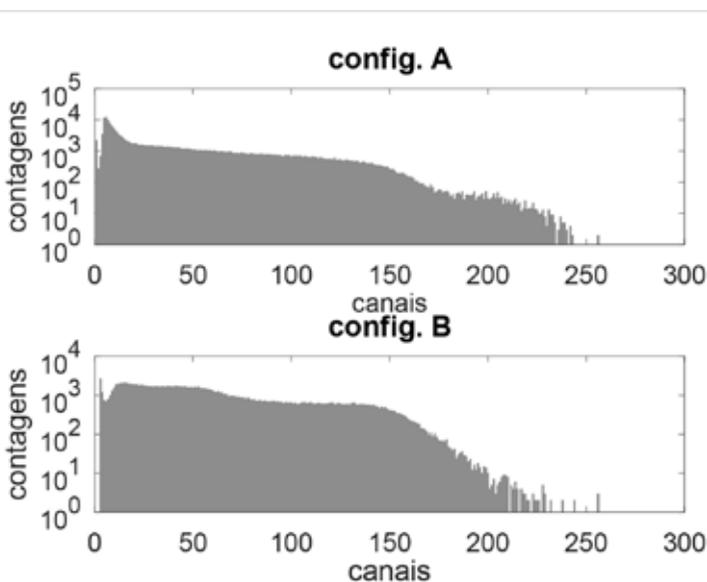
+ ^4He ionizam o gás na região K. A camada de Polipropileno (PP) aluminizado serve como cátodo do detector e absorve pequena fração da energia dos íons de $^4\text{He}^{2+}$ e $^7\text{Li}^{3+}$. Os elétrons criados pelas ionizações na região K são arrastados em direção ao readout pelo campo elétrico e são multiplicados pelos GEM.

Os GEM utilizados no protótipo consistem em uma folha dielétrica de 50 μm de espessura, revestida com cobre em ambos os lados com furos de 50 μm espaçados de 140 μm (GEM S) ou 280 μm (GEM LP) entre si. A diferença de potencial entre os lados condutores produz um campo elétrico intenso de modo a acelerar os elétrons, gerando novas ionizações (isto é, multiplicando-os). Tais cargas são colhidas no readout, seguindo para a eletrônica de aquisição de dados.

2.2. Eficiência de Detecção

A Figura 2 mostra dois espectros da energia (não calibrados) depositada pelos núcleos de ^4He e ^7Li no protótipo de detector para duas configurações, sendo que na configuração A foi utilizada uma zona de deriva (região K da Figura 1) com espaçamento de 22 mm e a na configuração B um espaçamento de 2 mm na zona de deriva.

Figura 2 – Espectro da energia depositada (em canais) pelos núcleos de ^4He e ^7Li para duas configurações do protótipo de detector.



Foi utilizado o feixe de nêutrons monocromático com comprimento de onda de 1,4 Å do difratômetro Aurora instalado no IEA-R1. O fluxo de nêutrons de $6,22(19) \times 10^4 \text{ n cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ foi obtido pela irradiação de folhas de ^{197}Au pela reação $^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$. A partir do fluxo, e das contagens obtidas nos espectros, foi calculada as eficiências de detecção para as configurações A e B e os resultados obtidos foram 0,63(4)% e 0,76(5)%, respectivamente.

3. CONCLUSÕES

O protótipo mostrou a viabilidade da aplicação de $^{10}\text{B}_4\text{C}$ em detectores a gás baseados em microestruturas para detecção de nêutrons. No estágio atual, devido à baixa eficiência, este protótipo pode ser utilizado como um monitor de fluxo de nêutrons no feixe. Futuramente após implementação do sistema de medidas de posição dos nêutrons incidentes, será possível utilizá-lo também como um monitor de perfil do feixe.

Com o aumento da eficiência, depositando-se novas camadas de $^{10}\text{B}_4\text{C}$ nas superfícies dos GEM, será possível expandir as aplicações deste tipo de detector para uso em diversos instrumentos de espalhamento de nêutrons. Neste contexto, pode ser possível uma melhoria no próprio difratômetro AURORA do IEA-R1, aumentando o intervalo angular das medidas e reduzindo consideravelmente o tempo total do experimento.

Os resultados obtidos nos experimentos realizados também mostraram que o feixe de nêutrons monocromático do difratômetro AURORA é adequado para medidas de caracterização de detectores de nêutrons sensível à posição.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos às agências de fomento Fapesp e CNPq que viabilizaram a execução deste projeto.

REFERÊNCIAS

1. FRIED, J. *et al.* A large, high performance, curved 2D position-sensitive neutron detector. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A*, v. 478, p. 415-419, 2002.
2. BERLINER, R. *et al.* A large area position sensitive neutron detector. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res.*, v. 185, n. 1-3, p. 481-495, 1981.

3. KOUZES, R. T. *et al.* Neutron detection alternatives to ^3He for national security applications. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A*, v. 623, p. 1035-1045, 2010.
4. SIMPSON, A. P. *et al.* A review of neutron detection technology alternatives to helium-3 for safeguards applications. *In: INMM 52nd ANNUAL MEETING*, July 17-21, 2011, Palm Desert, California.
5. PEERANI, P. *et al.* Testing on novel neutron detectors as alternative to ^3He for security applications. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A*, v. 696, p. 110-120, 2012.
6. TSORBATZOGLOU, K.; McKEAG, R. D. Novel and efficient ^{10}B lined tubelet detector as a replacement for ^3He neutron proportional counters. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A*, v. 652, p. 381-383, 2011.
7. PIETROPAOLO, A. *et al.* A new ^3He -free thermal neutrons detector concept based on the GEM technology. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A*, v. 729, p. 117-126, 2013.
8. SAULI, F. GEM: a new concept for electron amplification in gas detectors. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A*, v. 386, p. 531-534, 1997.
9. NATAL DA LUZ, H. *et al.* GEM-based thermal neutron detector preparing for a ^{10}B -coated multi-ThickGEM cascade. *In: RD51 MINIWEEK*, , December 2017.
10. NATAL DA LUZ, H. *et al.* Characterization of multilayer Thick-GEM geometries as ^{10}B converters aiming thermal neutron detection. *In: EPJ WEB OF CONFERENCES*, v. 174, p. 01012, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1051/epjconf/201817401012>.
11. PARENTE, C. B. R. *et al.* AURORA: a high-resolution powder diffractometer installed on the IEA-R1 research reactor at IPEN-CNEN/SP. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A*, v. 622, p. 678-684, 2010.