

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

Rogério 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.



SUMÁRIO

PREFÁCIO	13
PARTE 1 – FÍSICA DE REATORES	19
CAPÍTULO 1 – SIMULAÇÃO DE UM DIFRATÔMETRO DE TENSÃO RESIDUAL NO IEA-R1	21
<i>Alexandre P. S. Souza¹, Luiz P. de Oliveira¹, Fabiano Yokaichiya², Frederico A. Genezini³, Paulo de T. D. Siqueira⁴, Margaret K. K. D. Franco¹</i>	
CAPÍTULO 2 – ANÁLISE DOS DADOS DE MANUTENÇÃO CORRETIVA E PREDITIVA DO CONJUNTO MOTOBOMBA NO CIRCUITO PRIMÁRIO DE REFRIGERAÇÃO DO REATOR IEA-R1	31
<i>Alexandre Rubio de Oliveira, Thadeu das Neves Conti</i>	
CAPÍTULO 3 – ANÁLISE DOS RADIONUCLÍDEOS ENCONTRADOS NA ÁGUA DO REATOR IEA-R1	39
<i>Guilherme S. Zahn, Regina B. Ticianelli, Paulo S. C. da Silva, Frederico A. Genezini</i>	
CAPÍTULO 4 – 16 ANOS DE RESULTADOS DE DETERMINAÇÃO DE RADIONUCLÍDEOS EMISSORES GAMA NA ÁGUA DA PISCINA DO REATOR IEA-R1: UMA RETROSPECTIVA.....	47
<i>Marcelo Francis Máduar, Marcos Medrado de Alencar, Luiz Flávio Lopes Teixeira, Marcelo Bessa Nisti</i>	
CAPÍTULO 5 – MEDIDA DE DISTRIBUIÇÃO DE VAZÃO NO NÚCLEO DO REATOR IEA-R1 USANDO O ELEMENTO DMPV-01	53
<i>Walmir M. Torres, Pedro E. Umbehaun, Delvonei A. Andrade</i>	
CAPÍTULO 6 – ESTUDOS E AÇÕES CORRETIVAS PARA AUMENTAR A VAZÃO DO NÚCLEO ATIVO DO REATOR IEA-R1	61
<i>Walmir M. Torres, Pedro E. Umbehaun, Delvonei A. Andrade</i>	
CAPÍTULO 7 – COMPARAÇÃO ENTRE A QUEDA DE PRESSÃO NO DMPV-01 E QUEDA DE PRESSÃO NO NÚCLEO DO REATOR IEA-R1 MEDIDA PELO INSTRUMENTO DO SISTEMA.....	71
<i>Walmir M. Torres, Pedro E. Umbehaun, Delvonei A. Andrade</i>	

CAPÍTULO 8 – DISTRIBUIÇÃO DE VAZÃO ENTRE OS CANAIS DE RESFRIAMENTO DO ELEMENTO COMBUSTÍVEL DO IEA-R1.....	79
<i>Walmir M. Torres¹, Pedro E. Umbehaun¹, Delvonei A. Andrade¹, José A. B. Souza²</i>	
CAPÍTULO 9 – PROJETO E VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO DE EMERGÊNCIA DO REATOR IEA-R1	87
<i>Walmir M. Torres, Benedito D. B. Filho (in memoriam), Daniel K. S. Ting</i>	
PARTE 2 – FÍSICA NUCLEAR E DADOS NUCLEARES	97
CAPÍTULO 10 – APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE COINCIDÊNCIA GAMA-GAMA NO LFNA-CRPQ.....	99
<i>Guilherme S. Zahn, Frederico A. Genezini, Iberê S. Ribeiro Jr.</i>	
CAPÍTULO 11 – DETERMINAÇÃO DE K_0 E Q_0 PARA AS REAÇÕES $^{74}\text{Se}(n,\gamma)$ ^{75}Se , $^{113}\text{In}(n,\gamma)$ $^{114\text{M}}\text{In}$, $^{186}\text{W}(n,\gamma)$ ^{187}W E $^{191}\text{Ir}(n,\gamma)$ ^{192}Ir	105
<i>Lívia F. Barros, Mauro da S. Dias, Marina F. Koskinas</i>	
CAPÍTULO 12 – DESENVOLVIMENTO DE DETECTORES DE NÊUTRONS SENSÍVEL À POSIÇÃO.....	117
<i>L.A. Serra Filho¹, F. A. Souza², M. Moralles², H. Natal da Luz¹, M. Bregant¹, M. G. Munhoz¹</i>	
CAPÍTULO 13 – PADRONIZAÇÃO PRIMÁRIA DE RADIONUCLÍDEOS PRODUZIDOS NO REATOR IEA-R1	123
<i>Marina F. Koskinas, Denise S. Moreira, Ione M. Yamazaki, Franco Brancaccio, Renato Semmler, Mauro S. Dias</i>	
CAPÍTULO 14 – MEDIDAS DE PARÂMETROS ASSOCIADOS A REAÇÕES NUCLEARES INDUZIDAS POR NÊUTRONS NO REATOR IEA-R1	135
<i>Mauro S. Dias, Renato Semmler, Ione M. Yamazaki, Denise S. Moreira, Franco Brancaccio, Marina F. Koskinas</i>	
CAPÍTULO 15 – IMAGEAMENTO COM NÊUTRONS NO IPEN-CNEN/SP	143
<i>Grupo de imageamento com nêutrons</i>	
CAPÍTULO 16 – MEDIDA DA MEIA-VIDA DO $^{166\text{G}}\text{Ho}$	153
<i>Thales S. L. Moraes, Marina F. Koskinas, Denise S. Moreira, Mauro S. Dias</i>	
PARTE 3 – ANÁLISE POR ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA APLICADA A AMOSTRAS DE INTERESSE BIOLÓGICO.....	157
CAPÍTULO 17 – AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS ESSENCIAIS E TÓXICOS EM ALGAS MARINHAS COMESTÍVEIS E EM SEUS DERIVADOS USADOS NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA.....	159
<i>C. R. Albuquerque, V. A. Maihara, P. S. C. Silva</i>	

CAPÍTULO 18 – APLICAÇÕES NA ÁREA DA SAÚDE E MEIO AMBIENTE DESENVOLVIDAS NO LEER.....	167
<i>Cibele B. Zamboni¹, Sabrina Metairon¹, Dalton N. S. Giovanni¹, Jose A. G. de Medeiros²</i>	
CAPÍTULO 19 – ANÁLISE POR ATIVAÇÃO COM NÊUTRONS INSTRUMENTAL APLICADA PARA A DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS TÓXICOS EM PEIXES DO GÊNERO <i>ASTYANAX</i> , CONSUMIDOS POR PESCADORES ARTESANAIS DO DISTRITO DE RIACHO GRANDE, SÃO BERNARDO DO CAMPO – SP.....	175
<i>Daniele P. Reis, Edson G. Moreira</i>	
CAPÍTULO 20 – APLICAÇÃO DA ANÁLISE POR ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA (INAA) EM AMOSTRAS DE INTERESSE NUTRICIONAL E AMBIENTAL.....	185
<i>Deborah I.T. Favaro¹, Gisiele Schenemann¹, Mauricio B. Alves¹, Josiane S. Soares¹, Sharlley A. Silva², Flavio R. Rocha¹, Larissa A. Souza¹, Robson. L. Franklin², Luciana A. Farias³, Elisabete S. Braga⁴, Silvia M. F. Cozzolino⁵, Sonia M.B. Oliveira⁶, Isabella C. Bordon⁷, Andrews K. Emerenciano⁷, Jose Roberto M.C. Silva⁷</i>	
CAPÍTULO 21 – DETERMINAÇÃO DE CONSTITUINTES INORGÂNICOS EM PLANTAS MEDICINAIS: UMA REVISÃO.....	197
<i>Fábio V. Sussa, Lucilaine S. Francisconi, Rodolfo D. M. R. Gonçalves, Allan Santos, Paulo S. C. da Silva</i>	
CAPÍTULO 22 – CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE ARGILAS DE USO TERAPÊUTICO E COSMÉTICO.....	205
<i>Jefferson K. Torrecilha, Paulo F. de M. Gouvêa, Layla B. Soufia, João P. M. Martins, Paulo S. C. da Silva</i>	
CAPÍTULO 23 – ESTUDO DE AMOSTRAS DE INTERESSE NAS ÁREAS DO MEIO AMBIENTE E DA SAÚDE UTILIZANDO O REATOR NUCLEAR IEA-R1.....	217
<i>Mitiko Saiki</i>	
CAPÍTULO 24 – CARACTERIZAÇÃO MULTIELEMENTAR DE ALIMENTOS E DIETAS REGIONAIS EMPREGANDO A TÉCNICA DE ANÁLISE POR ATIVAÇÃO COM NÊUTRONS.....	229
<i>V. A. Maihara</i>	
PARTE 4 – ANÁLISE POR ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA APLICADA A AMOSTRAS AMBIENTAIS.....	239
CAPÍTULO 25 – APLICAÇÃO DA ANÁLISE POR ATIVAÇÃO COM NÊUTRONS A ESTUDOS DE POLUIÇÃO URBANA NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO.....	241
<i>Ana M.G. Figueiredo</i>	

CAPÍTULO 26 – ESTUDO DE ADSORÇÃO DE ÍONS METÁLICOS EM ARGILA E BIOMASSA PARA ÁGUA DE REÚSO.....	253
<i>Antônio Márcio Silva Gomes, Giovanni Del Sordo Filho, Juliana de Almeida Silva Oliveira, Eiel da Silva Souza, Paulo Sergio Cardoso da Silva</i>	
CAPÍTULO 27 – CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA INORGÂNICA DO SEDIMENTO DA LAGUNA DE PEÑA, URUGUAI.....	263
<i>Carlos E. C. Rodrigues¹, Sandra R. Damatto¹ e Felipe García-Rodríguez²</i>	
CAPÍTULO 28 – QUANTIFICAÇÃO DE ELEMENTOS TÓXICOS E POTENCIALMENTE TÓXICOS EM AVES MARINHAS POR MEIO DA ANÁLISE POR ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA INSTRUMENTAL	273
<i>Carolina Y. S. Theophilo¹, Fernanda I. Colabuono², Rosalinda C. Montone², Rubens C. L. Figueira², Maria V. Petry³ e Edson G. Moreira¹</i>	
CAPÍTULO 29 – AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE METAIS E OUTROS ELEMENTOS DE INTERESSE EM PERFIS DE SEDIMENTOS DO RESERVATÓRIO PONTE NOVA, SÃO PAULO.....	285
<i>Claudia S. C. de Arruda¹, Robson L. Franklin² e Ana Maria G. Figueiredo¹</i>	
CAPÍTULO 30 – AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE RADIOATIVIDADE NATURAL PRODUZIDOS NA ATIVIDADE CARBONÍFERA E EM AMOSTRA DE CLÍNKER.....	293
<i>Denise A. Fungaro, Paulo S. C. Silva, Juliana C. Izidoro, Lucas C. Grosche, Ramiro H. N. Bibiano</i>	
CAPÍTULO 31 – DISTRIBUIÇÃO DE METAIS, ELEMENTOS TRAÇO E TERRAS RARAS EM PERFIL DE SEDIMENTO DO RESERVATÓRIO MARINHEIRINHO, SÃO PAULO, POR INAA.....	301
<i>Gisiele Schenemann¹, Robson L. Franklin², Déborah I. T. Fávoro¹</i>	
CAPÍTULO 32 – CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE ÁGUAS MINERAIS POR ANÁLISE POR ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA INSTRUMENTAL	315
<i>Lucas Sanzaneze Gonçalves de Souza, Jonathan Pereira de Oliveira, Jefferson Koyaishi Torrecilha, Paulo Sergio Cardoso da Silva</i>	
CAPÍTULO 33 – CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA ELEMENTAR DE MATRIZES BIOLÓGICAS EMPREGANDO A TÉCNICA DE INAA.....	323
<i>Lucio Leonardo^{1,2}; Sandra R. Damatto¹</i>	
CAPÍTULO 34 – MONITORAÇÃO RADIOLÓGICA DOS EFLUENTES GASOSOS DO REATOR IEA-R1 DO IPEN.....	331
<i>Luiz H. Gabriel, Carlos E. C. Rodrigues, Paulo R. Nogueira, Sandra R. Damatto, Vera L. K. Isiki, Luiz F. L. Teixeira, Marcelo F. Máduar e Marcos M. Alencar</i>	

CAPÍTULO 35 – ANÁLISE POR ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA INSTRUMENTAL EM CARBONATO GERADO NA MINERAÇÃO DE NIÓBIO	339
---	------------

Rafaella M. Ayllon, Jefferson K. Torrecilha e Paulo Sérgio Cardoso Silva

CAPÍTULO 36 – MONITORAMENTO DE ELEMENTOS TRAÇO USANDO FÍGADOS DA GARÇA-BRANCA-GRANDE (<i>ARDEA ALBA</i>) NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO, SÃO PAULO, BRASIL.....	349
---	------------

Rita de Cássia A. Silva¹, Mitiko Saiki¹, Edson Gonçalves Moreira¹, Paulo Tadeu M. S. Oliveira², Carolina Yume S. Theophilo¹, Thaís Caroline Sanches³, Amanda Aparecida Coimbra³ e Ticiane Zwart D. Bianchi³

PARTE 5 – ANÁLISE POR ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA APLICADA A CIÊNCIAS DA TERRA.....357

CAPÍTULO 37 – ESTUDO DE INTERFACE ENTRE ENERGIA NUCLEAR E ARQUEOLOGIA NO CRPQ IPEN-CNEN/SP	359
--	------------

Casimiro S. Munita¹, Angislaine F. Costa², Joanna F. Barros¹, André L. Nogueira¹, Patricia R. Carvalho¹, Priscilla R. Carvalho¹, Matson S. Santana¹, Nicolás Batalla³, Rogerio B. Ribeiro¹

CAPÍTULO 38 – ESTUDOS AMBIENTAIS NA ÁREA DE OCEANOGRAFIA COSTEIRA REALIZADOS COM O USO DE DADOS PROCESSADOS NO REATOR IEA-R1	369
--	------------

Elisabete S. Braga¹, Deborah I. T. Fávoro², Bárbara P. Mazzilli², Paulo S. C. da Silva², Juliana S. Azevedo³, Luciana A. Farias³, Leonardo S. Kuniyoshi¹, Mitiko Saiki², Carlos E. Stein¹, Andrea L. Oliveira¹, Glaucia B. B. Berbel¹, Vitor G. Chiozzini¹

CAPÍTULO 39 – PAPEL DA ANÁLISE POR ATIVAÇÃO COM NÊUTRONS NA GEOQUÍMICA ANALÍTICA.....	383
---	------------

Jacinta Enzweiler

CAPÍTULO 40 – DETERMINAÇÃO DE SM POR ANÁLISE POR ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA EM AMOSTRAS GEOLÓGICAS: DE ARRISCADA A TRABALHOSA.....	387
---	------------

Iberê S. Ribeiro Jr., Frederico A. Genezini e Guilherme S. Zahn

CAPÍTULO 41 – DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS TERRAS RARAS, U, TH E OUTROS ELEMENTOS TRAÇO POR ANÁLISE POR ATIVAÇÃO COM NÊUTRONS PARA ESTUDO DAS ROCHAS DA PROVÍNCIA MAGMÁTICA DO PARANÁ.....	397
---	------------

Leila S. Marques¹, Ana Maria G. Figueiredo²

CAPÍTULO 42 – AVALIAÇÃO DO MÉTODO DE PREPARO DE AMOSTRAS LÍQUIDAS PARA ANÁLISE POR ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA.....	407
---	------------

Luiz F. L. Teixeira

CAPÍTULO 43 – APLICAÇÕES DA ANÁLISE POR ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA PARA DETERMINAÇÕES MULTIELEMENTARES EM DIFERENTES MATERIAIS.....**413**

Maria José A. Armelin

CAPÍTULO 44 – EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA PROTEÇÃO RADIOLÓGICA NO REATOR IEA-R1**421**

Toyoda, Eduardo Yoshio; Santos, Eduardo Wilson; Rodrigues, Vicente; Borbon, Ricardo; Pereira, Edinir S.

CAPÍTULO 45 – AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DOS EVENTOS REPORTADOS A PARTIR DA EXPERIÊNCIA OPERACIONAL DO REATOR IEA-R1**429**

Patrícia da Silva Pagetti de Oliveira¹, Julio Benedito Marin Tondin², José Antonio de Brito², Ana Maria de Almeida Portante Fonseca², Alberto de Jesus Fernando²

PARTE 6 – ESTUDOS DIVERSAS ENVOLVENDO O REATOR IEA-R1 447

CAPÍTULO 46 – CARACTERIZAÇÃO DO MODELO DE PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DE REATORES NUCLEARES DE ENSINO, PESQUISA & PRODUÇÃO: APLICAÇÃO AO IEA-R1 IPEN-CNEN/SP..... **449**

Aline A. Perini, Cassiane R. Jaroszewski, Anderson Z. Freitas

CAPÍTULO 47 – AMBIENTE DE ARQUIVOS PARA INTEGRAÇÃO DE LABORATÓRIO E EXTENSÃO WEB.....**457**

Franco Braccaccio, Mauro S. Dias, Marina F. Koskinas, Denise S. Moreira e Fábio de Toledo

CAPÍTULO 48 – ANÁLISE DA PUREZA RADIOATIVA DE IODO-125 PRODUZIDO NO REATOR NUCLEAR IEA-R1 PELO MÉTODO DE ESPECTROMETRIA GAMA E COMPARAÇÃO COM A EXIGÊNCIA INTERNACIONAL.....**471**

Ruanyto W. Correia, Carlos A. Zeituni