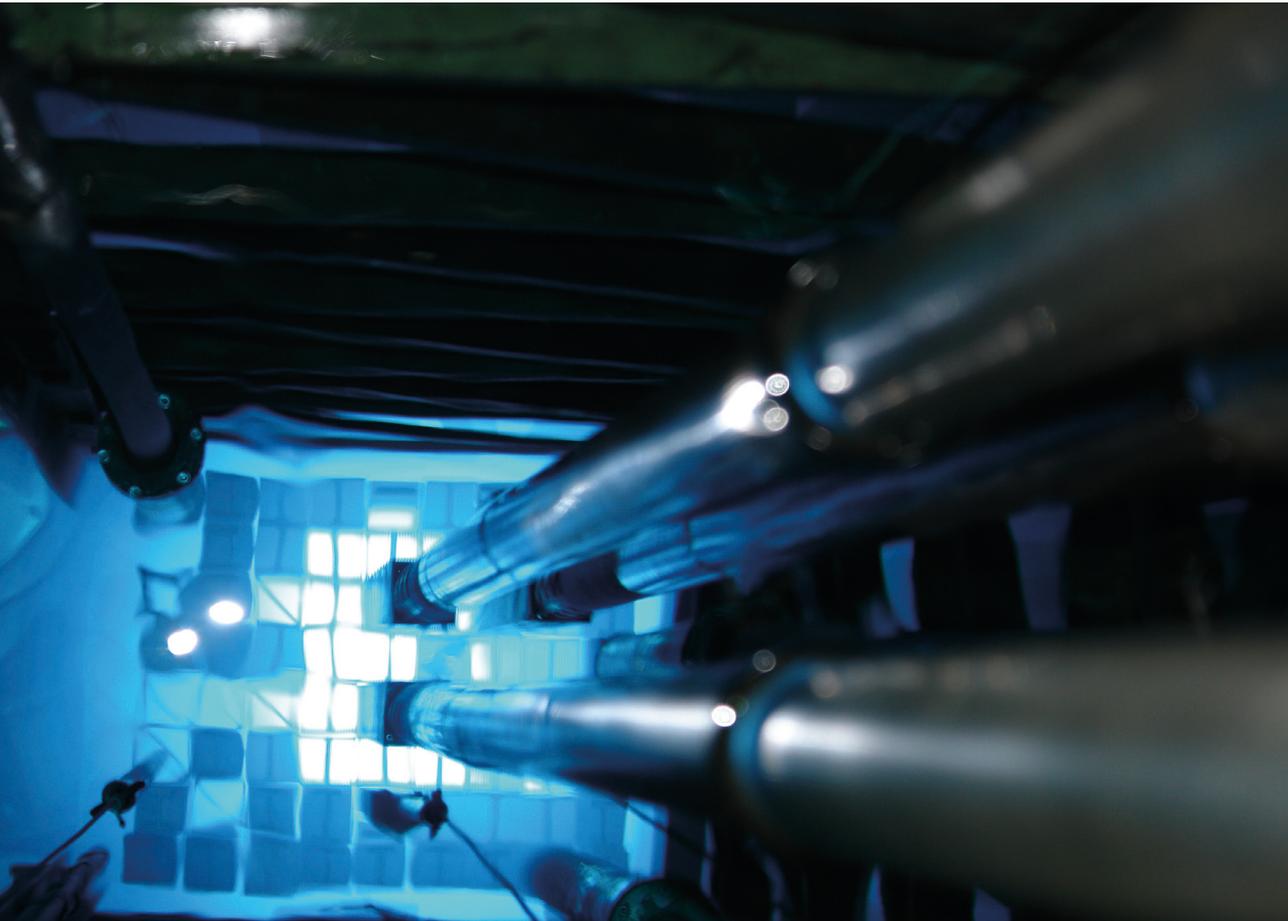


Paulo Sergio Cardoso Da Silva  
Guilherme Soares Zahn  
Francisco De Assis Souza  
organizadores

# **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

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.



# EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA PROTEÇÃO RADIOLÓGICA NO REATOR IEA-R1

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

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

## RESUMO

O IPEN/CNEN-SP possui um reator de pesquisa denominado reator IEA-R1, em operação desde 1957. Para garantir a operação segura do reator a instituição IPEN/CNEN/SP mantém uma equipe de proteção radiológica constituída de um supervisor de proteção radiológica credenciado pela CNEN e uma equipe de técnicos especializados em proteção radiológica. A equipe atual é a mesma desde 1995, quando o reator iniciou a operação de forma contínua operando de segunda-feira a quarta-feira, totalizando 64 horas contínua, garantindo a segurança dos IOE (Indivíduos Ocupacionalmente Expostos) (1) e contribuindo para que o reator opere de maneira segura minimizando a ocorrência de incidentes. O objetivo desde trabalho é relatar um histórico da atuação da equipe de proteção radiológica e descrever resultados das técnicas utilizadas para minimizar as doses dos IOE.

## 1. HISTÓRICO

O reator-IEA-R1, por ter mais de cinquenta anos de operação, sofreu várias modificações para se adequar as normas de proteção e segurança nuclear. A partir de 1995 devido a operação contínua a 5 MW alguns sistemas foram trocados ou substituídos e durante estas operações a Equipe de Proteção Radiológica teve envolvida para garantir a segurança dos IOE. Citamos algumas operações em que envolveram maiores riscos:

Introdução de uma válvula automática de segurança na saída da água do primário. Nesta operação foi necessário que um mergulhador entrasse na piscina do Reator para posterior montagem desta válvula (Figura 1);

**Figura 1** – Mergulhador dentro da piscina do Reator.



Retirada dos elementos combustíveis queimados e posterior transporte ao Estados Unidos da América (figura 2);

**Figura 2** – Transporte de elementos combustíveis queimados.



Substituição do sistema de retratamento da água da piscina do Reator (Figura 3).

**Figura 3** – Retirada de resinas e carvão do sistema de retratamento.



A atuação da Proteção Radiológica permitiu que estas operações fossem devidamente planejadas e realizadas com máxima segurança sempre levando em consideração a minimização das doses dos IOE.

No entanto a proteção radiológica tem a função de estar alerta para ajudar a operação do Reator a evitar incidentes que venham a comprometer a segurança do reator e também evitar que os IOE venham a receber doses acima dos limites permitidos pela norma da CNEN [1].

Nestes 62 anos de operação nenhum acidente mais grave aconteceu a ponto de ter que acionar o plano de emergência radiológica do Ipen. Incidentes ocorreram, mais antes que causassem maiores consequências, foram devidamente solucionados com atuação sempre conjunta das equipes de Proteção Radiológica e Operação do Reator. Podemos citar o pior incidente que foi o vazamento de produtos de fissão de um elemento combustível que exigiu uma atuação exemplar dos operadores e equipe de Proteção Radiológica, seja na minimização das doses ou na rápida solução para descobrir que tipo de evento estava ocorrendo.

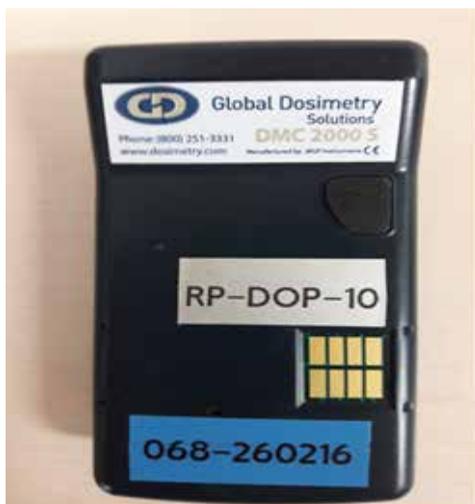
Em relação às doses dos IOE nestes 62 anos de operação o evento mais importante foi a introdução do conceito ALARA (“As Low As Reasonable Achievable”) [2]. Na prática, por meio da implementação do Princípio ALARA as doses de radiação individuais são minimizadas. Além dos limites de dose estabelecidos pelas normas da CNEN, são impostos níveis de controle locais. Para cumprir o princípio ALARA, estabeleceu-se um valor de restrição de dose [3] de 3,0 mSv/ano para os IOE. Para cumprir este valor foi estabelecido um programa de monitoramento individual dos IOEs que permitem a avaliação do cumprimento do valor de restrição de dose e possibilitam fornecer informações a respeito de alterações nos valores de exposição que necessitam medidas corretivas.

## 2. MÉTODOS UTILIZADOS

Desde o início da operação do Reator todos os IOE sempre foram monitorados individualmente por Dosímetros Termoluminescentes. Os Dosímetros termoluminescentes (TLD) são perante o órgão licenciador CNEN o sistema oficial de dosimetria e são utilizados pelo IOE durante um período de um mês, após este tempo ele é devolvido ao laboratório que determina o valor da dose e emite um relatório. Este relatório fica a disposição da CNEN, do setorem que o IOE trabalha e do serviço de proteção radiológica. Neste relatório de acordo com a norma da CNEN [3] o nível de registro é de 0,2 mSv/mês (a partir de 2019 este valor passou a ser de 0,1 mSv/mês), ou seja, abaixo deste valor os valores não são registrados e são substituído pela letra M. Caso um IOE tenha M nos doze meses do ano o seu valor anual é considerado como zero. Isto gerou um problema para implantação do nível de referência adotado de 3,0 mSv/ano. Caso um IOE recebesse 0,19 mSv nos doze meses do ano a dose anual seria de 2,28 mSv, mas como vimos anteriormente por estar abaixo do nível de registro anual seria computado como zero. Esta situação dificulta a análise das evoluções das doses do IOE abaixo de 2,28 mSv/ano, pois dá a entender que se for computado como zero nenhum procedimento deve ser tomado para evitar que o IOE atinja o valor de 3,0 mSv/ano.

A solução foi introduzir um dosímetro que permitisse obter valores inferiores a 0,2 mSv por mês e que também pudesse servir como dosímetro de alerta, isto é, com função relacionada com a tarefa. Na época foi adquirido um dosímetro eletrônico de fabricação da Eurisys denominado Dosiscard. Atualmente o dosímetro eletrônico é o DMC 2000 S da MGP (Figura 4).

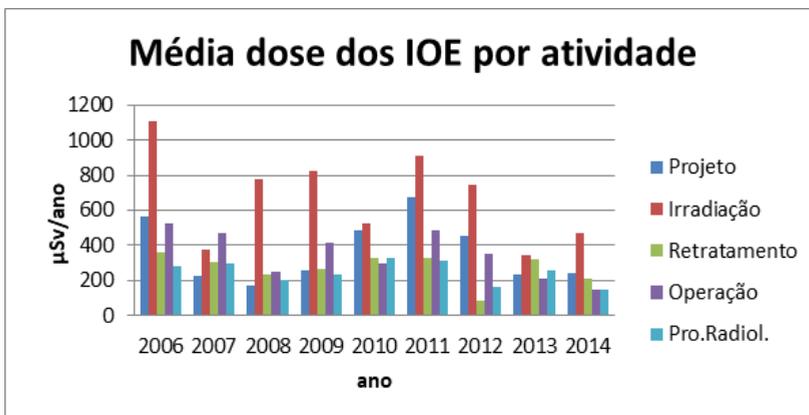
**Figura 4** – Modelo de dosímetro MGP.



### 3. RESULTADO E DISCUSSÃO

O dosímetro eletrônico foi adotado em 2006 e, com isto, pudemos identificar as atividades e os IOE que recebiam as maiores doses de radiação. Foi desenvolvido um trabalho [4] que examina as doses a partir daquela data. As atividades no Reator se dividiam em: operação, manutenção, irradiação, tratamento de água e rotação radiológica. Naquela época grupos de IOE eram responsáveis por cada atividade e algumas atividades eram exercidas por pessoas que não operavam o reator como aqueles ao tratamento de água, operação e a proteção radiológica. Neste primeiro momento o grupo que recebia as maiores dose era o grupo de irradiação. Na Figura 5 é dada a média de dose dos IOE por tarefa referente ao período de 2006 a 2014 quando o reator operou de forma contínua.

**Figura 5** – Média da dose dos IOE por tarefa.

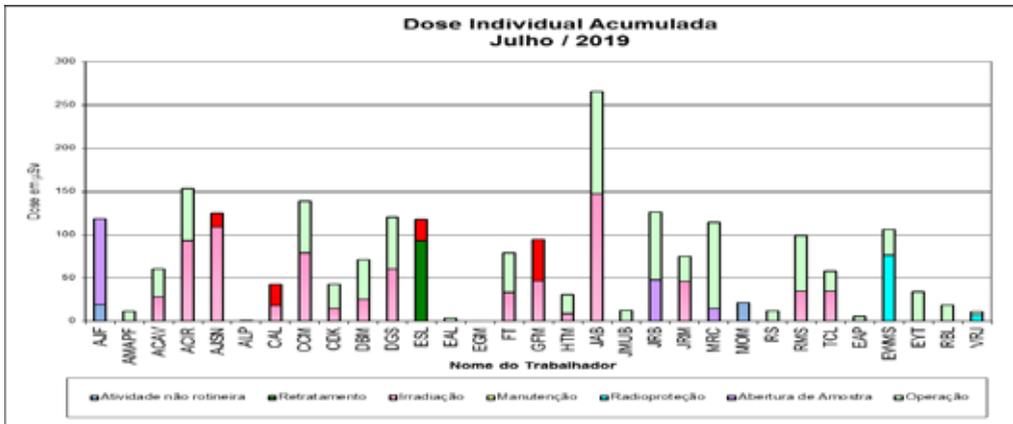


Estudos mostraram que a dose poderia ser dividida se não houvesse pessoas dedicadas a cada atividade. As operações que envolviam as maiores doses como a retirada de amostras tiveram o número de pessoas aumentado, trabalhando em forma de rodízio. Na Tabela 1 é mostrada a distribuição percentual da dose por grupo de trabalho e a Figura 6 mostra a dose individual acumulada em um determinado mês por cada IOE e a contribuição de cada atividade por IOE.

**Tabela 1** – Distribuição percentual da dose acumulada em um ano por grupo de trabalho

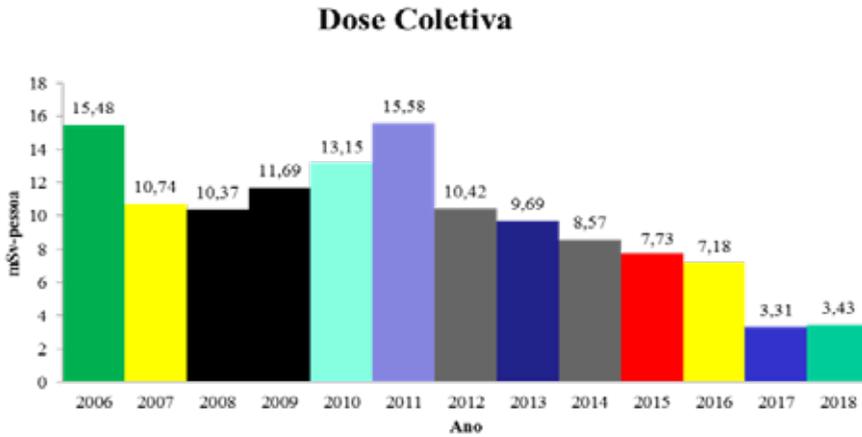
Área de Atividade	Dose (mSv)	Número de pessoas	Dose Média (mSv)	Percentual Médio
Visita	0,16	3	0,05	27%
Operação	1,01	26	0,04	20%
Manutenção	0,00	3	0,00	0%
Radioproteção	0,08	5	0,02	8%
Irradiação	0,77	19	0,04	21%
Retratamento da água	0,09	2	0,05	23%
Atividade não Rotineira	0,04	25	0,00	1%
Total	2,16	NA	NA	100%

**Figura 6** – Dose acumulada em um ano.



Na Figura 7 é mostrada a evolução das doses coletivas de 2006 a 2018.

Observamos que a dose coletiva também vem diminuindo desde 2011, mesmo com o aumento da Potência do Reator. Sabemos que o aumento da potência implica no aumento do nível de radiação no saguão da piscina, no entanto devido aos procedimentos adotados pela Supervisão de proteção radiológica este fator não contribuiu para as doses dos IOE.

**Figura 7 – Dose Coletiva de 2006 a 2018.**

## 4. CONCLUSÕES

A atuação conjunta entre a operação e equipe de Proteção Radiológica foi fator primordial para garantir a segurança do Reator e garantir que as doses dos IOEs estejam dentro do programa ALARA. Apesar da equipe de Proteção Radiológica não pertencer ao Centro do Reator de Pesquisa (CRPq) o grau de profissionalismo das duas equipes (Operação e Proteção) permitiu a interação e o respeito, principalmente quando o assunto envolve segurança.

A importância do programa de monitoramento e controle total das atividades dos IOEs é fator essencial para que o programa ALARA apresente resultado esperado. A economia e a segurança alcançado pela equipe de Proteção Radiológica do Reator resultou em mais credibilidade e motivou a equipe a perseguir melhorias que viabilize a operação de forma segura e que a sociedade possa se beneficiar desta atividade.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Norma CNEN NN-3.01. Resolução CNEN 164 – Diretrizes básicas de proteção radiológica. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 11 mar. 2014. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>.

2. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Radiation protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. *Anais ICRP*. Oxford: Pergamon Press, 1991. v. 21, n. 1-3. Disponível em: [http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB\\_21\\_1-3](http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_21_1-3).
3. BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Norma CNEN NN-3.01. Posição Regulatória 3.01/004. Restrição de dose, níveis de referência ocupacionais e classificação de áreas. Brasil, 2011. Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_04.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_04.pdf).
4. TOYODA, E. Y. *Evolução das doses no ambiente do reator IEA-R1 e tendências com base nos resultados atuais*. 2016. 99 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear – Aplicações) – Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares (IPEN), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2016. DOI: 10.11606/D.85.2016.tde-07062016-091546.