

EXEMPLOS DE DEFESA EM PROFUNDIDADE PARA IRRADIADORES GAMA DE CATEGORIA IV

Ary de Araújo Rodrigues Júnior^{1,2}

1 Universidade Estadual de Londrina - Depto. de Física
Rodovia Celso Garcia Cid PR 445, km 380 – Campus Universitário
Caixa postal: 6001
86051-990, Londrina - PR, Brasil
aryarj@ig.com

2 Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)
Av. Professor Lineu Prestes 2242
05508-000 São Paulo, SP

Palavras chave: defesa em profundidade, radioproteção, irradiador gama, defence in depth, radioprotection, gamma irradiator.

RESUMO

O conceito de defesa em profundidade é o núcleo principal da filosofia de segurança para instalações de irradiação, que utilizam radiação gama e/ou feixe de elétrons. O conceito geral da defesa em profundidade é fácil de compreender, mas os conceitos específicos de redundância, diversidade e independência não são tão fáceis de entender ou de ensinar, porque faltam exemplos práticos sobre a aplicação destes conceitos na “Safety Series” 107 ou outras publicações da AIEA. Este artigo tenta preencher esta lacuna, para irradiadores gama de categoria IV (irradiador industrial de radiação gama), fornecendo exemplos práticos da aplicação destes três conceitos específicos.

1. INTRODUÇÃO

Irradiadores gama de categoria IV, também conhecidos como irradiadores de grande porte (Figura 1), são máquinas planejadas para irradiações em escala industrial e, por isto, necessitam de fontes com atividades da ordem de dezenas a centenas de PBq (centenas a milhares de kCi) [1-3] e, conseqüentemente, capazes de fornecer doses letais a um ser humano em poucos segundos. Portanto, máquinas deste tipo necessitam de blindagens, dispositivos de segurança e, principalmente, de funcionários muito bem treinados, antes de serem habilitados em suas funções e periodicamente durante o exercício das mesmas [4,5], com o objetivo de evitar a ocorrência de acidentes. Como o de San Salvador (El Salvador, 1989)[6,9], o de Soreq (Israel, 1990)[7,9] e o de Nsvizh (Bielo-Rússia, 1991)[8,9].

A maior contribuição para a filosofia de segurança para irradiadores gama das categorias I a IV e para aceleradores de elétrons é fornecida pelo conceito de defesa em profundidade. Este conceito deve ser aplicado em todas as atividades relacionadas com a segurança, de modo que elas estejam cobertas entre si por uma série de mecanismos. Assim se ocorrer uma falha esta poderá ser compensada ou corrigida[3].

Um problema que ocorre quando se tenta explicar ou discutir o conceito de defesa em profundidade, com as pessoas que operam ou que fazem parte da direção de uma empresa que possui um irradiador, é a total carência na literatura de exemplos práticos de sua aplicação, principalmente os conceitos específicos de redundância, diversidade e independência:

- Redundância: usar mais do que o número mínimo de itens necessários para cumprir determinada tarefa.
- Diversidade: é aplicada aos sistemas redundantes, possuem a mesma função, mas tem princípios de funcionamento diferentes ou são de fabricantes diferentes ou estão submetidos a diferentes condições de operação.
- Independência: separação física e funcional entre os sistemas de segurança:
 - i. Independência entre os sistemas redundantes.
 - ii. Independência entre componentes e equipamentos do sistema projetados para minimizar o efeito de incidentes, por exemplo: um incidente não deve causar a falha ou a perda de um sistema de segurança ou função de segurança que é exigida para minimizar os efeitos de tal evento.
 - iii. Independência apropriada dos sistemas ou componentes de importâncias diferentes para a segurança.
 - iv. Independência entre itens importantes para a segurança e aqueles que não estão relacionados com a segurança.

Nem mesmo a “Safety Series 107”[3], que é a publicação da IAEA (Agência Internacional de Energia Atômica) em que estes conceitos são apresentados, mostra algum exemplo prático. Isto leva cada empresa a desenvolver os seus próprios exemplos ou, simplesmente, não incluir a defesa em profundidade no programa de treinamento. Este artigo visa suprir parte desta lacuna (ou começar uma discussão a respeito) fornecendo alguns exemplos práticos da classificação dos sistemas de segurança, em termos de redundância, diversidade e independência, presentes em irradiadores gama de categoria IV, fabricados pela MDS Nordion (Canadá), devido à maioria dos irradiadores presentes no Brasil ser deste fabricante.

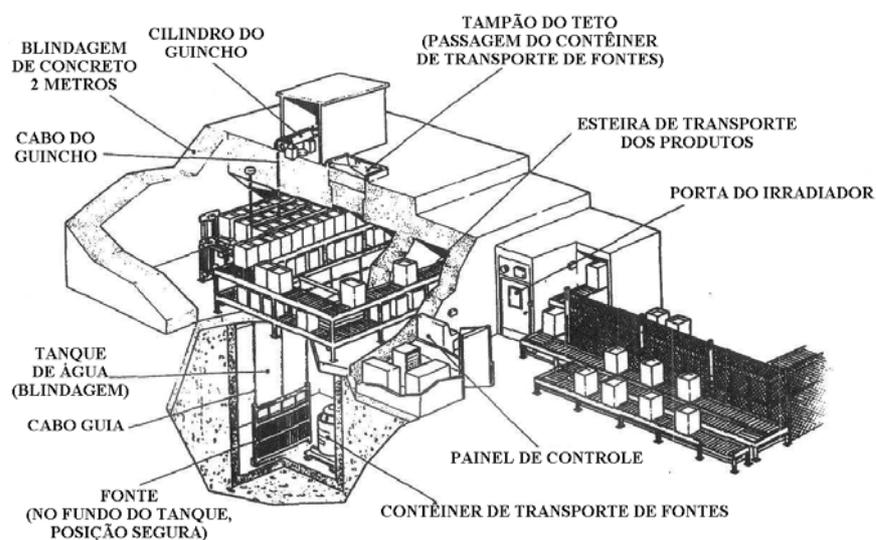


Figura 1: Vista geral de um irradiador gama de categoria IV[3]

2. EXEMPLOS PRÁTICOS DE ANÁLISE DE ALGUNS SISTEMAS DE SEGURANÇA DE UM IRRADIADOR GAMA DE CATEGORIA IV

Procedimento de entrada:

Objetivo: garantir que a fonte chegou na posição de repouso no fundo do tanque e que ela irá permanecer nesta posição.

Sistemas de segurança:

1. Chave do irradiador: só sai do miolo do painel de controle na posição desliga e é a mesma que abre a porta do irradiador (e liga a partida interna) e está presa ao monitor portátil.
2. Sinal luminoso de movimentação das fontes: desliga quando as fontes chegam na posição de repouso, pelo acionamento dos micros de final de curso no fundo do tanque.
3. Sinal sonoro de movimentação das fontes: desliga quando as fontes chegam na posição de repouso, pelo acionamento dos micros de final de curso no fundo do tanque.
4. Sinais luminosos no painel de chegada das fontes na posição de repouso: acendem quando as fontes acionam os micros de final de curso no fundo do tanque.
5. Sinais na tela do computador de chegada das fontes na posição de repouso: acendem quando as fontes acionam os micros de final de curso no fundo do tanque.
6. Monitor de liberação da porta: se houver indicação de fontes na posição de repouso (fundo do tanque), mas houver níveis de radiação acima da de fundo na sala de irradiação um alarme será acionado, haverá indicação de fundo de escala no seu galvanômetro e a trava elétrica da porta do irradiador permanecerá bloqueada.
7. Microswitch da porta de acesso: ao abrir a porta do irradiador ele é desacionado, abrindo o circuito elétrico das bobinas do comando de válvula do guincho pneumático, que eleva a fonte para a posição de exposição.
8. Corrente da válvula: ao desprendê-la fecha a válvula do encanamento de ar do guincho pneumático, que eleva a fonte para a posição de exposição.
9. Monitor de radiação portátil: sinal audível e visual do nível de radiação durante o trajeto pelo labirinto até a sala de irradiação.
10. Monitor de bolso: sinal audível do nível de radiação durante o trajeto pelo labirinto até a sala de irradiação.

Para indicar que a fonte chegou no fundo do tanque:

Redundância:

8 redundâncias: 1 a 6 e 9 e 10, redundância de grau 8.

Diversidade:

8 sistemas diversos: 1 a 6 e 9 e 10, diversidade de grau 8.

Independência:

2 a 5 não são independentes, porque são todos acionados pelos micros de final de curso das fontes no fundo do tanque e, portanto, contam como um único sistema em termos de independência.

Os demais sistemas: 1, 6, 9 e 10 são independentes, então: independência em grau 5.

Para garantir que a fonte não saia do fundo do tanque:

Redundância:

2 redundâncias: 7 e 8, redundância de grau 2.

Diversidade:

7 e 8 são sistemas diversos, diversidade de grau 2.

Independência:

7 e 8 são independentes: independência de grau 2.

Procedimento de saída:

Objetivo: garantir que o irradiador não será ligado sem a intervenção do operador e que ninguém será esquecido dentro do irradiador.

Sistemas de segurança:

1. Chave do irradiador: aciona a partida interna do irradiador (e também aciona a partida externa no painel de controle), está presa ao monitor portátil, que está sempre de posse do operador.
2. Miolo de partida interna: para ligar a máquina é necessário acionar a partida interna, que esta localizada na extremidade da sala de irradiação oposta ao labirinto, forçando o operador a verificar se ele, de fato, é o último a sair.
3. Sinal sonoro interno: indica, para as pessoas dentro do irradiador, que a partida interna foi acionada.
4. Sinal luminoso interno: indica, para as pessoas dentro do irradiador, que a partida interna foi acionada.
5. Miolo da partida externa: localizada no painel de controle, somente pode ser acionada pela chave do irradiador, presa ao monitor portátil (e somente após a porta ser fechada e a corrente da válvula puxada).

Redundância:

1 a 5 são redundantes, redundância de grau 5.

Diversidade:

1, 3 e 4 são diversos, 2 e 5 não são diversos (mesmo princípio de funcionamento e, geralmente, são do mesmo fabricante) diversidade de grau 4.

Independência:

3 e 4 não são independentes, porque são acionados pelo mesmo sinal (miolo de partida interna).

Os demais sistemas são independentes, portanto: independência de grau 4.

Quantidade de água no tanque em um nível mínimo de segurança:

Objetivo: garantir que o operador somente entrará no irradiador, se a quantidade de água no tanque de armazenamento das fontes estiver em um nível seguro de blindagem:

Sistemas de segurança:

1. Bóia no nível inferior: localizada na borda do tanque, se a água estiver abaixo de um determinado nível a porta do irradiador não será liberada para abertura e um sinal luminoso aparecerá no painel.

Se o sistema da bóia inferior falhar e se o nível de água não for suficiente para atenuar a radiação a níveis seguros, há os seguintes sistemas de segurança:

2. Monitor de liberação da porta: com as fontes na posição de repouso, este monitor detectará a radiação espalhada e acionará um alarme, haverá indicação fundo de escala no seu galvanômetro e a trava elétrica da porta do irradiador permanecerá bloqueada
3. Monitor de radiação portátil: sinal audível e visual do nível de radiação durante o trajeto do operador pelo labirinto.
4. Monitor de bolso: sinal audível do nível de radiação durante o trajeto do operador pelo labirinto.

Redundância:

1 a 4 são redundantes, redundância de grau 4.

Diversidade:

1 a 4 são diversos, diversidade de grau 4.

Independência:

1 a 4 são independentes, independência de grau 4.

Saída dos lápis de ^{60}Co pela esteira.

Objetivo: garantir que os lápis de ^{60}Co não sairão pelas esteiras dentro dos contêineres.

Sistemas de segurança:

1. Módulo: onde os lápis estão presos.
2. Moldura: onde os módulos estão encaixados.
3. Travessas: em cima da moldura, impedem a saída dos módulos da moldura, caso a fonte pare abruptamente, quando esta é içada para a posição de exposição.
4. Shroud: placas de metal, que faceiam as fontes na posição de exposição, impedindo o contato destas com os contêineres.
5. Monitor de área no final da esteira de saída: monitora os níveis de radiação dos contêineres, que saem do irradiador (se houver a detecção de material radioativo o sistema de transporte de contêineres será desligado, impedindo a saída do material radioativo e um alarme de evacuação soará).

Redundância:

1 a 5 são redundantes, redundância de grau 5.

Diversidade:

1 a 5 são diversos, diversidade de grau 5.

Independência:

1 a 5 são independentes, independência de grau 5.

Saída de ^{60}Co pelo sistema de desmineralização da água do tanque

Objetivo: garantir que não haverá saída de ^{60}Co pelo sistema de desmineralização da água do tanque.

Sistemas de segurança:

1. Invólucro dos peletes de ^{60}Co (ou lápis de ^{60}Co): feitos de aço inoxidável especial duplamente encapsulado.
2. Sistema de desmineralização: a água do tanque é continuamente desmineralizada, com a finalidade de retirar os sais minerais da água, que seriam ionizados pela radiação e poderiam ocasionar a corrosão dos lápis de ^{60}Co .
3. Densidade do ^{60}Co : é maior do que a da água, o cobalto precipitaria para o fundo do tanque, no caso de haver uma corrosão dos invólucros.
4. Coleta da água do tanque: o sistema de desmineralização coleta a água na superfície do tanque, se houver cobalto precipitado o mesmo não será sugado pelo sistema, permanecendo dentro do irradiador.
5. Monitor de área no primeiro filtro do sistema de desmineralização: detecção de acúmulo de ^{60}Co , (desligará o sistema, impedindo uma saída ainda maior de material radioativo do irradiador e um alarme de evacuação soará).

Redundância:

1 a 5 são redundantes, redundância de grau 5.

Diversidade:

1 a 5 são diversos, diversidade de grau 5.

Independência:

1 a 5 são independentes, independência de grau 5.

Observação: A cada seis meses é realizado o teste do esfregaço, que consiste em fixar um pedaço de isopor em uma ferramenta apropriada e por meio desta esfregar os lápis de ⁶⁰Co. Após este procedimento o nível de radiação no isopor é medido, com o objetivo de detectar vazamentos radioativos iniciais nos lápis. Como se trata de um procedimento e não de um sistema de segurança com existência física, o mesmo não foi considerado na análise de redundância, diversidade e independência.

3. CONCLUSÕES

Apesar das recomendações da IAEA serem seguidas, quando se constroem irradiadores (assim como equipamentos e instalações radiativas e nucleares), há diferenças com relação ao número e princípio de funcionamento dos sistemas de segurança entre os vários existentes, mesmo quando são do mesmo fabricante.

Isto ocorre devido às recomendações da Agência serem as mínimas a serem seguidas, portanto nada impede um fabricante de adotar mais sistemas de segurança, para a mesma função ou adotar princípios de funcionamento diferentes dos adotados por outro fabricante ou de mudá-los em outros modelos de sua fabricação, contanto que cumpram as recomendações da Agência.

Também há diferenças devido à autoridade reguladora de cada país, no nosso caso a CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear, ter autonomia e autoridade para exigir mais segurança, se achar conveniente. A IAEA somente recomenda, e cabe à autoridade reguladora adotar ou não.

Mesmo assim a análise feita neste artigo pode ser utilizada como um modelo, para mapear os sistemas de segurança de outros irradiadores gama de categoria IV, com relação aos níveis de redundância, diversidade e independência, e deste modo facilitar o entendimento da filosofia de segurança no treinamento dos funcionários.

AGRADECIMENTOS

Ao Aداogoberto Soares de Pinho, do IRD, pela revisão deste artigo.

REFERENCIAS

1. MCLAUGHLIN, W.L.; BOYD, A.W.; CHADWICK, K.H.; MCDONALD, J.C.; MILLER, A. **Dosimetry for Radiation Processing**, Taylor & Francis, London, 1989
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, **Manual on panoramic gamma irradiators (categories II and IV)**, Pratical Radiation Safety Manual, Vienna, 1996.
3. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, **Radiation safety of gamma and electron irradiation facilities**, Safety Series 107, Vienna: IAEA, 1992
4. RODRIGUES JUNIOR, A. A. Adaptação de um jogo comercial de perguntas para o auxílio no ensino de radioproteção. **Rev. Bras. Pesq. Des.**, v. 4, n. 3, parte 1, p. 820-823, set 2002.
5. RODRIGUES JUNIOR, A. A. Relembrando os conceitos de radioproteção por meio de um jogo comercial adaptado. **Rev. Bras. Pesq. Des.**, v. 4, n. 3, parte 1, p. 824-827, set 2002.

6. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, **The radiological accident in San Salvador**, Vienna, 1990.
7. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, **The radiological accident in Soreq**, Vienna, 1993.
8. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, **The radiological accident in Nesvizh**, Vienna, 1996.
9. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, **Lessons learned from accidents in industrial irradiation facilities**, Vienna, 1996

ABSTRACT

The defence in depth concept provides a major contribution to the safety philosophy of gamma and electron irradiation facilities. The defence in depth general concept is easy to understand but redundancy, diversity and independence concepts are not so easy to understand or teach because practical examples in Safety Series 107 or other AIEA publications are lacking. This paper tries to fill up this information gap providing some practical examples about the three specific concepts, mentioned above, for category IV gamma irradiation facilities (industrial gamma irradiators).