



Um panorama da monitoração individual de nêutrons no Brasil de IOEs na área de perfilagem de poços de petróleo no Brasil

Magalhães C. S., Martins S. S., Leocadio J. C., Da Silva F. C. A.

Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD/CNEN - Av. Salvador Allende, 3773 - Barra da Tijuca, Rio de Janeiro -
RJ, 22783-127

martinssuede@outlook.com

RESUMO

Uma análise de características e propriedades das rochas, após a perfuração de um poço de petróleo, pode ser executada utilizando-se perfilagem elétrica, de indução, sônica e radioativa. A perfilagem radioativa pode ser do tipo gama-natural, gama-gama e neutrônica, sendo que nesta utiliza-se fontes radioativas de $^{241}\text{Am-Be}$ até 851 GBq e ^{252}Cf até 4,1 GBq. Os IOEs da área de perfilagem de poços de petróleo são monitorados duplamente, tanto para radiação de fótons como para nêutrons. No Brasil, apesar de existir 10 instalações de perfilagem de poços de petróleo com 40 SPRs e 3 laboratórios de dosimetria de nêutrons, os dados sobre a monitoração individual de nêutrons de IOE não são devidamente apresentados sistematicamente. Este trabalho apresenta um panorama da área de perfilagem de poços de petróleo, enfocando os tipos de dosímetros, o número de IOEs e resultados de monitoração individual. Na pesquisa bibliográfica foram utilizados dados publicados independente do período e os publicados no UNSCEAR. Os resultados apresentam detalhes dos tipos de dosímetros de nêutrons mais utilizados, bem como, dados relativos à evolução do número de IOEs com monitoração gama e de nêutrons. Os dados analisados mostram que a perfilagem de poços de petróleo tem tido um aumento no número de IOEs com monitoração individual para nêutrons ao longo dos anos, e a dose efetiva média anual vem diminuindo progressivamente. Conclui-se que para se obter uma visão mais detalhada sobre monitoração individual para nêutron, em perfilagem de poços de petróleo, os dados devem ser publicados de maneira adequada e constante.

Palavras-chave: Perfilagem de poços de petróleo; Perfilagem neutrônica; Monitoração individual de nêutrons.

ABSTRACT

An analysis of rock characteristics and properties, after drilling an oil well, can be performed using electrical, induction, sonic and radioactive loggings. The radioactive well logging can be of the natural-gamma, gamma-gamma and neutron types, in which neutron radioactive sources of $^{241}\text{Am-Be}$ up to 851 GBq and ^{252}Cf up to 4.1 GBq are used. The radiation workers in the oil well logging area are doubly monitored, for both photons and neutron radiation. In Brazil, despite the existence of 10 oil well logging facilities with 40 RPO and 3 neutron dosimetry laboratories, data on individual neutron monitoring are not properly presented systematically. This work presents an overview of the oil well logging area, focusing on the types of dosimeters, the number of radiation workers and the results of individual monitoring. The bibliographic search used data published regardless of the period and those published in UNSCEAR. The results show details of neutrons dosimeters most used, as well as data on the evolution of the number of radiation workers with individual photons and neutron monitoring. The analysed data show that the oil well logging has had an increase in the number of radiation workers with individual neutron monitoring over the years, and the average annual effective dose has been decreasing progressively. It is concluded that in order to obtain a more detailed view on individual neutron monitoring, in oil well logging, the data must be published in an appropriate and constant manner.

Keywords: Oil well logging; Neutron well logging; Individual neutron monitoring.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a perfuração de poços de óleo e gás iniciou-se na forma de onshore na década de 30, sendo o primeiro no ano de 1939 em Lobato, Bahia. As perfurações offshore iniciaram em 1968, e em 1969 ocorreu a descoberta de petróleo na costa brasileira dando origem ao Campo de Guaricema, Sergipe. Em meados da década de 70, a descoberta de petróleo na Bacia de Campos, levou a expansão das perfurações nesta Bacia. As bacias de Campos e Santos são o grande destaque no desenvolvimento das bacias petrolíferas brasileiras; pois nelas foram feitas grandes descobertas na camada pré-sal. Na indústria petrolífera, a perfuração de poços é realizada por uma sonda. Nesta etapa as rochas são perfuradas pela aplicação de força e rotação de uma broca fixada na extremidade de uma coluna de perfuração, que consiste basicamente em comandos. Durante este processo, formam-se cascalhos que são removidos por meio da injeção de fluido de perfuração ou lama para escoamento dos detritos através do anular do poço [1].

Após a perfuração, executa-se o processo de perfilagem do poço, com o intuito de analisar as características e propriedades das rochas perfuradas (resistividade elétrica, potencial eletroquímico natural, tempo de trânsito de ondas mecânicas, radioatividade natural ou induzida, etc.). Entre os tipos de perfilagem mais conhecidos podem ser citados: a perfilagem elétrica, a perfilagem indução, a perfilagem sônica, e a baseada na radioatividade, a denominada perfilagem radioativa, que utiliza-se dos processos de interação entre a radiação emitida pelas fontes introduzidas no poço e a formação rochosa, constituindo-se nos meios eficazes para a obtenção de importantes dados sobre os poços perfurados. A perfilagem radioativa constitui-se na perfilagem gama-natural, perfilagem gama-gama e a perfilagem neutrônica [2].

A perfilagem neutrônica é usada principalmente para delinear a formação de poros e para a determinação da porosidade. Este tipo de perfilagem está relacionado com a quantidade de hidrogênio presente na formação, podendo ser também indicador da presença de gás. Nesta perfilagem as fontes radioativas típicas são o Amerício-Berílio ($^{241}\text{Am-Be}$) com atividade na faixa de 19 GBq a 851 GBq e 432 anos de meia vida e o Califórnio (^{252}Cf) faixa de 1,0 GBq a 4,1 GBq, com 2,6 anos de meia vida [3]. A perfilagem de poços de petróleo tem tido uma atenção e prioridade, pois as fontes radioativas usadas nesta prática pertencem a categoria 3 da Agência

Internacional de Energia Atômica (*International Atomic Energy Agency* - IAEA), dentre as cinco classes de categorização considerada perigosa, e em caso de acidente representa um nível de risco radiológico maior [3].

Os trabalhadores que atuam na área de perfilagem de poços de petróleo são expostos tanto à radiação gama, devido a perfilagem gama-gama com fontes radioativas de ^{137}Cs , como à radiação de nêutrons, devido a perfilagem neutrônica. Logo, esses trabalhadores devem ser monitorados duplamente, através de monitores individuais para gama, e dos monitores individuais para nêutrons, para avaliar a dose efetiva por meio da grandeza Equivalente de Dose Individual $H_p(10)$, para fótons e para nêutrons.

Apesar de no Brasil, de acordo com a CNEN [4], existir 10 instalações autorizadas e 40 supervisores de proteção radiológica credenciados para atuação na área de perfilagem de poços de petróleo e, segundo o Comitê de Avaliação de Serviços de Ensaio e Calibração (CASEC/IRD) [5], 3 Serviços de Monitoração Individual Externa para nêutrons, para atender a esses Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOEs), não há dados sistemáticos publicados sobre a monitoração individual de nêutrons de IOE.

Esse trabalho tem como objetivo apresentar um panorama da monitoração individual de nêutrons de IOE em perfilagem de poços de petróleo no Brasil, enfocando os tipos de dosímetros de nêutrons utilizados no Brasil, o número de IOE trabalhando com fontes de nêutrons e resultados de monitoração individual externa com nêutrons, de forma a proporcionar mais informações sobre a monitoração individual na área de perfilagem de poços de petróleo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O método utilizado no estudo foi à pesquisa qualitativa por ter sido uma investigação de nível descritivo. Para contemplar a investigação, realizaram-se pesquisas bibliográficas e análises em diversos artigos, revistas, sites eletrônicos e livros, buscando-se assuntos pertinente ao tema a ser explorado no estudo em questão. Os principais aspectos pesquisados foram: a formação do petróleo; os processos de perfilagem de poços de petróleo; a monitoração de nêutrons e os diferentes tipos de dosímetros; e o inventário de instalações e de IOEs na área de perfilagem de poços de petróleo.

Como este artigo estava baseado em pesquisas bibliográficas, observou-se uma carência de dados divulgados e publicados sistematicamente, principalmente, no que se refere ao número atualizado de IOEs trabalhando com fontes de nêutrons e aos resultados de monitoração individual externa com nêutrons. Optou-se, então, por utilizar todos os dados publicados independente do período para apresentar um panorama da área de perfilagem de poços de petróleo no Brasil e, como exemplo, os dados internacionais publicados no *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* (UNSCEAR).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos, que compõem um panorama da monitoração individual de nêutrons no Brasil de IOEs na área de perfilagem de poços de petróleo, são apresentados nas seguintes partes: tipos de dosímetros de nêutrons utilizados no Brasil; número de IOEs trabalhando com nêutrons e resultados de monitoração individual externa com nêutrons.

3.1. Tipos de dosímetros de nêutrons utilizados no Brasil

A monitoração individual de nêutrons exige dosímetros específicos, com detalhes diferenciados de um monitor de fótons. Um dosímetro ideal para monitoração de nêutrons deve apresentar os seguintes aspectos [6]:

- a) as respostas de sua energia devem seguir as recomendações apresentadas pela International Commission on Radiological Protection (ICRP) para curva equivalente de dose, e ser capaz de indicar diretamente a energia dos nêutrons registrados de modo a possibilitar uma interpretação direta desses dados;
- b) apresentar um limite de dose mínima de detectabilidade de acordo com a regulamentação;
- c) ser sensível a fótons ou partículas beta;
- d) ser estável e não apresentar “fading” com o tempo, ou que ele possa ser corrigido pelo algoritmo;
- e) não ser afetado por condições ambientais como temperatura, umidade, pressão ou choque mecânico;

f) ter baixo custo;

g) apresentar peso e dimensões reduzidas.

Existem vários tipos de detectores passivos que podem ser utilizados num monitor individual de nêutrons, podendo destacar os seguintes: as emulsões fotográficas (*nuclear track emulsion type A*); dosímetros de Albedo com dosímetros termoluminescentes (TLD), também conhecido como Albedo-TLD; detectores sólidos de traços nucleares - traços de recuo e de fissão (*solid state nuclear track detection*); detector a bolha superaquecida (*superheated drop detectors*) [7].

No Brasil, dois tipos de dosímetros são os mais utilizados nos monitores individuais de nêutrons: os de traços de recuo e de fissão (*solid state nuclear track detection*), comercialmente denominado de Neutrak, a base do polímero CR-39 e do tipo Albedo com detectores termoluminescentes.

O dosímetro Neutrak, constituído a base do polímero CR-39 (*Columbia Resin-39*), tem a propriedade de ser insensível à radiação gama, X ou beta, sendo específico somente para detecção de nêutrons. Este dosímetro abrange todo espectro de energia dos nêutrons, podendo detectar os nêutrons rápidos, os epitérmicos e térmicos e faz uso de conversores de boro ou lítio. O Neutrak é desenvolvido para avaliar em $H_p(10)$ com resultado na faixa de 0,10 mSv a 250 mSv, para os nêutrons rápidos, epitérmicos e térmicos [8]. A Figura 1 apresenta um exemplo do dosímetro Neutrak.

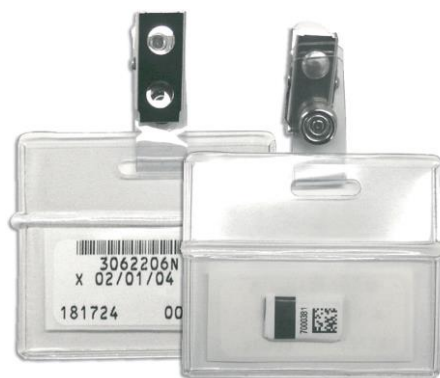


Figura 1: Exemplo do dosímetro Neutrak para nêutrons utilizado pela Landauer.

Fonte: [8]

O dosímetro de Albedo, com TLD, baseia-se no fato de que o corpo humano se comporta, para os nêutrons rápidos, como um eficiente moderador no qual eles são difundidos e moderados até o ponto em que uma certa fração dos nêutrons incidente emergem completamente termalizados. Da fração de nêutrons termalizados que emerge do corpo humano se calcula a dose equivalente de nêutrons incidentes através da medida da fluência dos nêutrons térmicos refletidos. Para efetuar tal medida, são utilizados mais comumente os TLD do tipo ${}^6\text{LiF}$, e para discriminar o componente gama de campos mistos de radiação, utiliza-se o TLD-700. Os TLD-600 são protegidos em parte com uma fina camada de cádmio ou plástico borado para subtrair a contribuição dos nêutrons térmicos incidentes e não refletidos pelo corpo do usuário. Este dosímetro avalia dose na faixa de 0,2 mSv a 500 mSv [7].

No Brasil, o primeiro dosímetro do tipo albedo com TLD usado, no período de 1983 a 2008, consistiu de um cinto com duas cápsulas (suportes), cada uma com um par de TLD-600 e TLD-700, que deveriam ser posicionadas simetricamente opostas no corpo, no nível da cintura (Figura 2) [9].



Figura 2: Primeiro monitor individual de nêutrons tipo albedo desenvolvido pelo IRD.

Fonte: [9]

A partir de 2008, um novo albedo começou a ser utilizado (Figura 3). Ele também usa dois pares de TLD-600 e TLD-700, mas em uma única cápsula no cinto. Cada par (TLD-600 + TLD-700) avalia uma componente do campo de nêutrons. Um par de TLD avalia a componente de nêutrons térmicos incidentes e a outra, a de albedo, permitindo uma correção da dependência

energética de sua resposta. Ambos os sistemas avaliam $H_p(10)$. O novo modelo de dosímetro de Albedo de duas componentes apresenta as vantagens de, em comparação ao dosímetro de uma componente: correção na dependência energética e maior sensibilidade na resposta. O dosímetro de albedo de duas componentes tem como característica detectar tanto o albedo, que são os nêutrons que foram refletidos após serem moderados pelo corpo humano, na sua parte interna com uma blindagem a base de boro, separando os TLDs de albedo dos TLDs que detectam os nêutrons incidentes primários [9,10,11].

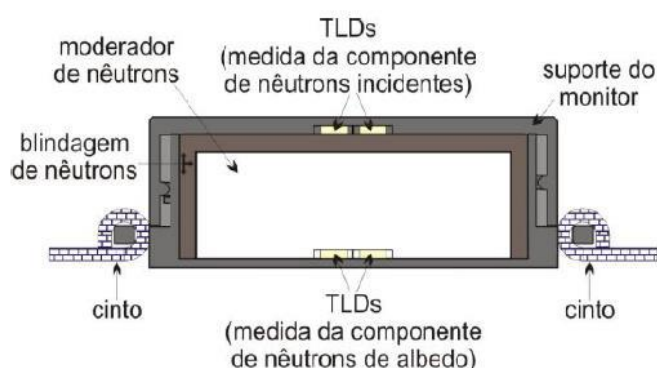


Figura 3: Monitor individual de nêutrons tipo albedo de duas componentes atualmente em uso pelo IRD.

Fonte: [10]

3.2. Número de IOEs trabalhando com nêutrons

O número de IOEs que utilizam monitores individuais de dose, seja para fótons ou nêutrons, pode ser computado por meio dos dez laboratórios de monitoração individual externa existentes no Brasil e certificados pelo CASEC/IRD/CNEN. Desses dez laboratórios, somente três realizam monitoração individual de nêutrons para avaliar a dose efetiva. O último levantamento realizado em 2018 mostra um total de 201.224 IOEs com monitoração individual de corpo inteiro, sendo 385 IOEs utilizando monitoração de nêutrons e 200.839 IOEs com monitoração para fótons usando TLDs e dosímetro luminescente opticamente estimulado (OSLD), conforme é apresentado na Figura 4 [5].

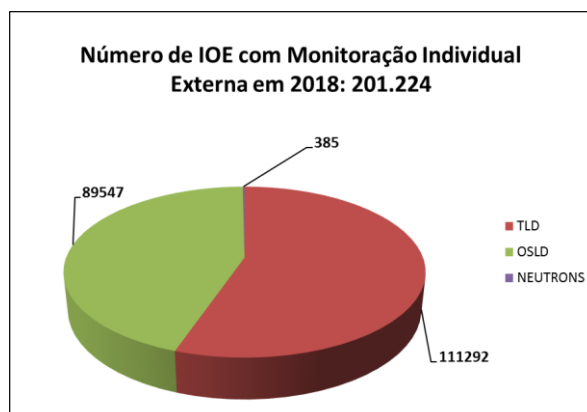


Figura 4: Levantamento do número de IOEs com monitoração individual de corpo inteiro no Brasil em 2018.

Fonte: [5]

Neste levantamento, não é especificado as áreas de atuações que os IOEs trabalham, principalmente os relativos a monitoração de nêutrons. Entretanto como, de acordo com a CNEN [4], existem 10 instalações autorizadas na área de perfilagem de poços de petróleo com 40 supervisores de proteção radiológica credenciados, pode-se estimar que esta área tenha, no mínimo, 100 IOEs dos 385 IOEs que utilizam a monitoração de nêutrons.

É interessante ressaltar um estudo realizado por Mauricio et al. [12] sobre a evolução do número de trabalhadores monitorados no Brasil entre 1987 e 2011, usando todos os tipos monitores de corpo inteiro com fótons e nêutrons e de extremidade, mostrado na Figura 5.

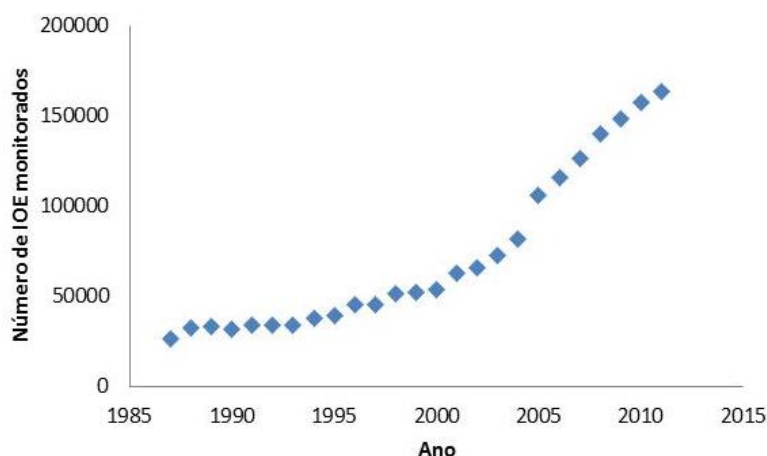


Figura 5: Evolução do número de IOEs com monitoração individual de corpo inteiro no Brasil entre 1987 e 2011.

Fonte: [12]

Observa-se um aumento constante do número de IOEs monitorados ano a ano, devido, obviamente ao crescimento econômico do País, bem como da implementação de uma legislação mais rigorosa sobre a obrigatoriedade do uso de monitores individuais [12].

Somente para a monitoração individual para nêutrons no Brasil, Mauricio et al. [12] apresenta a evolução no período de 1987 e 2011 (Figura 6), onde destaca-se um comportamento diferente, mostrando uma flutuação ano a ano, talvez devido ao pequeno número de IOEs envolvidos nas áreas que usam fontes de nêutrons.

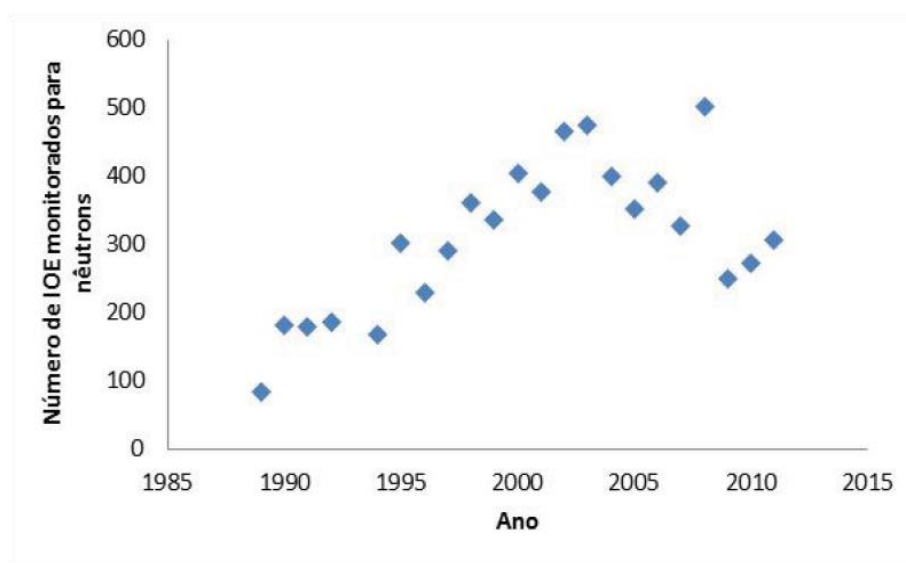


Figura 6: Evolução do número de IOEs com monitoração individual para nêutrons no Brasil entre 1987 e 2011.

Fonte: [12]

Conforme observado, na publicação do UNSCEAR [13] é reconhecido que na “prática de perfuração de poços é difícil traçar uma tendência no nível de exposição ocupacional. Apenas 12 países relataram ao UNSCEAR sobre exposição ocupacional. O Canadá é mais relevante em termos do número de trabalhadores monitorados, representando cerca de 60% do total da força de trabalho relatada e também relatou dados ao longo de todos os períodos. Os dados canadenses são usados para ilustrar a tendência da exposição ocupacional para essa prática”. A Figura 7 indica “um aumento significativo no número de trabalhadores monitorados no segundo período, de 450 em 1975-1979 para 1010 em 1980-1984. O número foi aproximadamente constante de 1985 a 1999: 1110 (1985-1989), 950 (1990-1994) e 1060 (1995-1999). No último período (2000-2002),

aumentou para 1430 trabalhadores monitorados”. Uma observação que o próprio UNSCEAR [13] apresenta é que “as fontes gama e de nêutrons são usadas na prática de perfilagem de poços, mas as contribuições separadas de cada uma das radiações para as doses relatadas geralmente não são indicadas”.

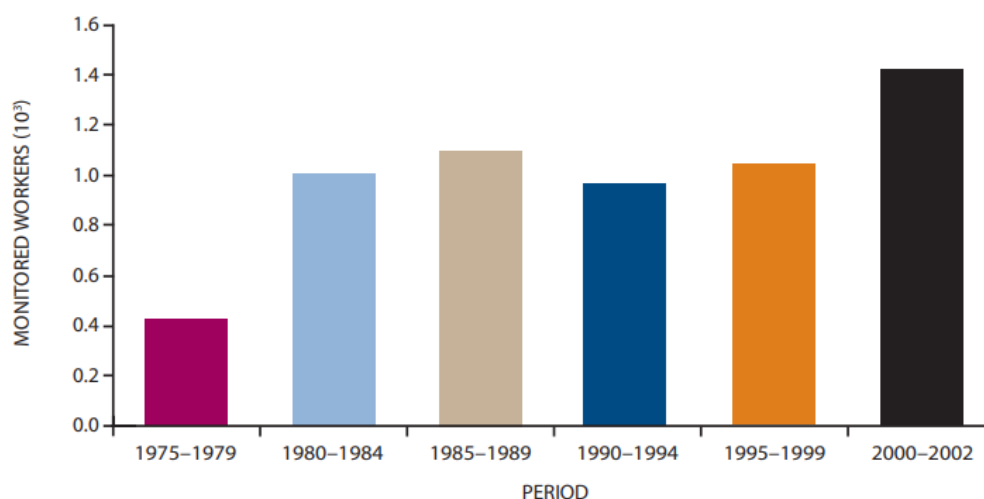


Figure 7: Número médio anual de trabalhadores monitorados em perfilagem de poços de petróleo no período de 1975 a 2002 no Canadá.

Fonte: [13]

3.3. Resultados de monitoração individual externa com nêutrons

Como foi constatado, existe, também, uma carência de dados publicados relacionados aos resultados de monitoração individual externa com nêutrons, apesar de existirem 3 laboratórios que executam essa monitoração com todas informações armazenadas em bancos de dados próprios.

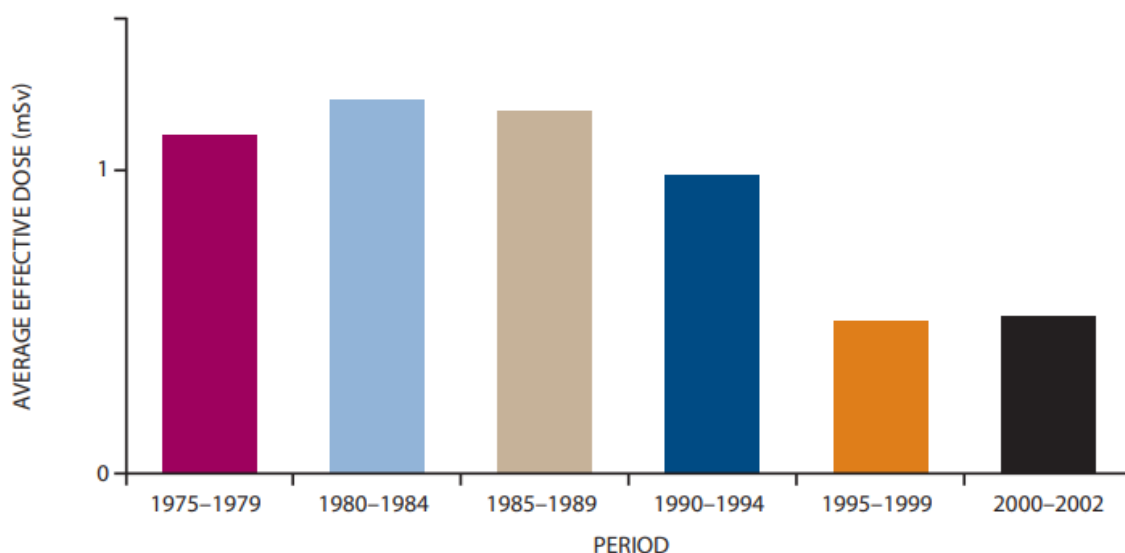
Um artigo publicado em 2001 [9] apresenta os resultados de monitoração individual externa de nêutrons, para todas as áreas, realizado pelo Laboratório de dosimetria do IRD, relativo a um período de 18 anos, de novembro de 1983 a dezembro de 2001. Pode-se extrair desse artigo, na Tabela 1, que a perfilagem de poços de petróleo foi identificada como a prática que, neste período, apresentava o maior número de IOEs e onde ocorreu a maior dose mensal de 13,00 mSv em um único mês.

Tabela 1: Monitoração individual externa de nêutrons do Laboratório de Dosimetria do IRD no período de novembro de 1983 a dezembro de 2001.

Tipo de instalação	Monitoração individual de nêutrons do IRD			
	IOEs avaliados	% de dose > 0,20 mSv	Dose média acima de 0,20 mSv (mSv)	Dose mensal máxima (mSv)
Reator de potência	6.821	5%	0,35	2,00
Institutos da CNEN	9.400	3%	1,63	12,00
Prospecção de petróleo	10.165	2%	1,00	13,00
Medidor nuclear	5.500	4%	1,10	10,00

Fonte: [9] adaptado.

Utilizando como exemplo os dados do Canadá, publicados no UNSCEAR [13], a Figura 8 apresenta a dose efetiva média anual de trabalhadores monitorados em perfilagem de poços de petróleo no período de 1975 a 2002. “A dose efetiva média foi de cerca de 1,2 mSv nos três primeiros períodos e diminuiu para 0,50 mSv em 2000-2002. As porcentagens de trabalhadores expostos de forma mensurável estão entre 40% e 70%. É difícil projetar níveis de exposição para o ano de 2007, mas seria esperado que eles refletissem um número crescente de trabalhadores e uma diminuição da dose coletiva média e da dose efetiva média” [13].

**Figure 8:** Dose efetiva média anual de trabalhadores monitorados em perfilagem de poços de petróleo no período de 1975 a 2002 no Canadá.

Fonte: [13]

O UNSCEAR [13] apresenta um levantamento, tendo como base todos os dados relatados (24 países), mostrando que “as doses efetivas médias diminuíram ao longo do tempo: 1,32 mSv (1975-1979); 1,17 mSv (1980-1984); 1,07 mSv (1985-1989); 0,36 mSv (1990-1994), e aumentando para 0,92 mSv em 1995-1999 e 0,96 mSv em 2000-2002. Exceto no período 1990-1994, a tendência é uma diminuição progressiva da dose efetiva”.

4. CONCLUSÕES

Uma das grandes dificuldades para apresentar um panorama atualizado da monitoração individual de nêutrons de IOE em perfilagem de poços de petróleo no Brasil foi o escasso número de publicações com dados, principalmente, de número de IOEs e as doses de nêutrons recebidas, seja no Brasil como internacionalmente.

Os 3 laboratórios de dosimetria que atuam no Brasil utilizam tecnologia para monitoração individual de nêutrons condizente com a que é usada internacionalmente, atendendo amplamente não só os IOEs da área de perfilagem de poços de petróleo, mas todos os 385 IOEs que utilizam a monitoração de nêutrons.

Os dados analisados, tanto do Brasil como os do UNSCEAR, mostram que a prática de perfilagem de poços de petróleo tem tido um aumento considerado no número de IOEs com monitoração individual para nêutrons ao longo dos anos. Paralelo a isso, esses dados têm mostrado que a dose efetiva média anual vem diminuindo progressivamente.

Conclui-se, também, com esse trabalho que para uma visão mais detalhada sobre monitoração individual para nêutrons, seja na área de perfilagem de poços de petróleo como em todas as áreas, há necessidade que os dados sejam devidamente divulgados e publicados, para se obter uma compreensão mais realista dos níveis de doses nacionais e as possíveis tendências.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Pós-Graduação *Lato Sensu* do IRD/CNEN pela oportunidade de realizar este trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] GALVÃO, Q.. **Extração de Óleo e Gás – Perfuração**. Brasil, 2015.
- [2] TRIGGIA, A. A. **Fundamentos da Engenharia do Petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.
- [3] IAEA, **.Categorization of Radioactive Sources**. Vienna, 2005.
- [4] CNEN. **Instalações Autorizadas**. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/index.php/instalacoes-autorizadas-2>. Último acesso: 07 Jul 2020.
- [5] CASEC/IRD, 2018. Comunicação pessoal.
- [6] VILELA, E. C.. **Desenvolvimento e Calibração de um Dosímetro Pessoal para Nêutrons Utilizando Detectores Sólidos de Traços Nucleares**, São Paulo, 1996.
- [7] SOUTO, E. D.. **Projeto, Construção e Caracterização de um Dosímetro para Radiação de Nêutrons**, São Paulo, 2007.
- [8] LANDAUER, 2009. **Neutrak® Dosimeter for Neutron Radiation**. Disponível em: https://www.landauer.com/sites/default/files/product-specification-file/neutrak_1.pdf. Último acesso: 07 Jul 2020.
- [9] GONÇALVES, S. A., et al, 2001. **Monitoração Individual de Nêutrons: 18 Anos de Experiência**. Disponível em: https://www.ipen.br/biblioteca/cd/inac/2002/ENAN/E01/E01_566.PDF. Último acesso: 07 Jul 2020.
- [10] MARTINS, M. M.. **Desenvolvimento e Caracterização de um Sistema de Monitoração Individual de Nêutrons tipo Albedo de duas Componentes usando Detectores Termoluminescentes**. Rio de Janeiro, 2008.
- [11] IRD, 2020. **Laboratório de dosimetria termoluminescente**. Disponível em: <http://www.ird.gov.br/index.php/laboratorio/59-ird/laboratorios/94-laboratorio-de-dosimetria-termoluminescente>. Último acesso: 07 Jul 2020.
- [12] MAURICIO, C. L. P., et al. **Análise dos Registros de Dose Ocupacional Externa no Brasil**. Brazilian Journal of Radiation Sciences 03-1a (2015) 01-18.
- [13] UNSCEAR, 2008. **Sources and Effects of Ionizing Radiation**, Volume I. Disponível em: https://www.unscear.org/docs/publications/2008/UNSCEAR_2008_Annex-B-CORR.pdf. Último acesso: 07 Jul 2020.