

BR8920003

ISSN 0101-3084

**CNEN/SP**

---

**ipen** Instituto de Pesquisas  
Energéticas e Nucleares

T

**PROGRAMA DE MONITORAÇÃO OCUPACIONAL**

**Glen - Maria A. A. Sordi**

IPEN - PUB - 222 .

**PUBLICAÇÃO IPEN 222**

**OUTUBRO/1988**

**SÃO PAULO**

**PROGRAMA DE MONITORAÇÃO OCUPACIONAL**

**Gian - Maria A. A. Sordi**

**Departamento de Proteção Radiológica**

**CNEN/SP  
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES  
SÃO PAULO - BRASIL**

**Série PUBLICAÇÃO IPEN**

**INIS Categories and Descriptors**

**C55.00**

**PERSONNEL MONITORING  
RADIATION MONITORING**

---

**IPEN - Doc - 3001**

**Publicação aprovada pela CNEN em 30.06.88**

**Nota: a redação, ortografia, conceitos e revisão final são de responsabilidade do(s) autor(es).**

## PROGRAMA DE MONITORAÇÃO OCUPACIONAL

Gian-Maria A.A. Sordi

### RESUMO

Após dar o objetivo principal de um programa de monitoração da-se a filosofia vigente no nosso país e a nova, internacional. Mostra-se os diferentes tipos de monitoração e a sua classificação quanto as funções dela. As funções são tratadas separadamente para a monitoração do local de trabalho e individual. Mostra-se também, que a monitoração individual pode ser usada para avaliar as condições do local de trabalho. Discute-se os modelos que podem ser introduzidos para avaliar as grandezas físicas usadas na interpretação dos resultados a partir das grandezas físicas usadas nas medidas. Da-se um exemplo. Por fim discute-se as funções complementares da monitoração tais como reavaliação dos programas de monitoração, seleção das áreas controladas e tipo e frequência de supervisão médica.

### OCCUPATIONAL MONITORING PROGRAM

#### ABSTRACT

After to give the principal aim of a monitoring program it gives the philosophy in force in our country and the new one, international. It shows the different monitoring types and the classification related to their functions. The functions are deal with, separately, for workplace and individual monitoring. It shows, also, that the individual monitoring can be used to assess the workplace conditions. It discusses the models that can be introduced to assess the quantities used in the results interpretation from the quantities used in the measurements. It gives an example. Finally it discusses the supplementary functions of monitoring as such reassessment of monitoring programs, selection of the controlled areas and the extent form of medical supervision.

### 1. INTRODUÇÃO

Ainda que o objetivo principal da monitoração, que é o de avaliar a eficácia do controle das irradiações, não tenha sido alterado ao longo dos anos, a sua forma de aplicação prática e a implementação de um programa de monitoração sofreram profundas modificações.

2.

Para a compreensão destas modificações com a finalidade de implantar um projeto de monitoração pessoal que atenda as exigências atuais é imprescindível o conhecimento das filosofias, tanto a anterior como a atual, que nortearam a monitoração.

A filosofia anterior está alicerçada nas recomendações da CIPR publicadas em 1966<sup>(1)</sup>, nos padrões básicos de segurança para a proteção à radiação da AIEA de 1967<sup>(2)</sup> e nas normas básicas de proteção radiológica vigentes no nosso país desde 1973<sup>(3)</sup>.

## 2. FILOSOFIA DA MONITORAÇÃO PESSOAL VIGENTE NO NOSSO PAÍS

As exigências de monitoração, seu significado e seus objetivos estão expressos numa publicação da AIEA série segurança de 1965<sup>(4)</sup> e uma da CIPR de 1968<sup>(5)</sup>. Em síntese a monitoração visava avaliar a: "dose equivalente realmente recebida pelo corpo humano"<sup>(6)</sup> e uma vez que este esteja resguardado estaria também salvaguardado o seu ambiente e o resto dos seres vivos, bem como suas inter-relações.

Podemos dizer que a monitoração individual era avaliada para irradiação externa fazendo uso de dosímetros portados sobre o corpo, para a contaminação interna fazendo uso de contadores de corpo inteiro ou corpo parcial ou ainda por bioanálises de excreta e para contaminação da pele e roupa fazendo uso de monitores de radiação de bancada, semi portáteis, ou monitores portais ou ainda monitores de pés, mãos e roupas. Além disso fazia-se também monitoração do local de trabalho para radiação externa, para contaminação de superfície e contaminação do ar. A monitoração do local de trabalho tem um caráter preventivo, uma vez que a partir do resultado da monitoração pode-se advertir o trabalhador dos níveis de radiação a fim de evitar que este receba doses superiores aos limites máximos permissíveis. Conhecendo-se os resultados da monitoração o que se fazia, era limitar o tempo de permanência semanal no local de trabalho a fim que a dose acumulada na semana não ultrapassasse os cinqüenta avos do limite anual. Se o trabalhador obedeceu ou não a limitação do tempo imposto isso seria constatado pela monitoração individual, que tem um caráter confirmativo, pois a dose equivalente já foi tomada quando o resultado é apresentado.

Todos os valores de níveis de radiação avaliados na monitoração

tanto individual como do local de trabalho eram registrados ainda que fossem iguais ao valor da radiação natural ou da sensibilidade do monitor. A escolha dos pontos e locais de monitoração era feita praticamente em conjunto com o trabalhador e em geral pecava-se por excesso de locais e pontos, muitas vezes desnecessários, mas unicamente com a finalidade de satisfazer as veleidades do trabalhador no sentido de se sentir mais seguro no desenvolvimento de suas tarefas.

Esta filosofia tem sua razão de ser, pois, em 1955 foi liberada pelas potências nucleares da época o uso da energia nuclear para fins pacíficos, e desta maneira, o número de indivíduos e de instituições que se dedicaria a esse novo tipo de atividade aumentaria muito, podendo trazer graves consequências aos trabalhadores envolvidos nas atividades com radiação e a população em geral. Desta maneira necessitava-se formar um vasto acervo de doses e níveis de radiação com a finalidade de avaliar os riscos e danos biológicos; é evidente que era preferível pecar por excesso que por falta.

### 3. EXIGÊNCIAS ATUAIS DE UM PROGRAMA DE MONITORAÇÃO

As exigências atuais de um programa de monitoração estão baseadas nas recomendações da CIPR de 1977<sup>(7)</sup> e nos padrões básicos de segurança para proteção à radiação da AIEA de 1982<sup>(8)</sup> e são abordadas em duas publicações da AIEA da série segurança, uma publicada em 1980<sup>(9)</sup> e outra em 1987<sup>(10)</sup> e uma da CIPR publicada em 1985<sup>(11)</sup>. Com a crise do petróleo em 1973 tinha-se pleno conhecimento que a demanda de reatores de potência para a geração de energia elétrica ia aumentar, aumentando em consequência os riscos de periculosidade para a população. Isto provocou uma mudança nos padrões básicos de segurança para a proteção radiológica contidos nas referências dadas neste capítulo.

Consequentemente o objetivo da monitoração ainda que continue sendo aquele dado na introdução do presente trabalho, torna-se imprescindível acrescentar que ele deve ser alcançado de maneira efetiva e econômica. A principal justificativa para a implantação de um programa de monitoração reside em mostrar como esta auxilia na obtenção de uma segurança adequada e como ela comprova que a segurança é adequada. O programa de monitoração pode propiciar outros benefícios nos campos das relações

4.

públicas, relações industriais e investigações científicas mas esses, por si sô, não podem propiciar a justificativa principal do programa. Em síntese a monitoração é uma técnica de radioproteção: não um fim em si mesma.

Em virtude do que acabamos de expor dando ênfase à eficácia e economia de um programa de monitoração não é mais possível monitorar pontos ou locais que não sejam justificados, do ponto de vista de segurança do trabalhador ou da instalação, como era admitido na filosofia anterior. Neste caso devemos instruir e demonstrar ao trabalhador que certos pontos ou locais não necessitam serem monitorados e não o serão.

O programa de monitoração deve ser revisto periodicamente e sempre que houver uma variação apreciável nas operações da instalação, nas recomendações internacionais ou nas exigências nacionais ou regionais.

Como continua válido que uma vez que o indivíduo esteja protegido, estará, também, salvaguardado o seu ambiente, demais seres vivos e suas inter-relações, torna-se necessário que o programa de monitoração compreenda, além da medida propriamente dita, a sua interpretação em termos das recomendações internacionais e exigências nacionais. Desta maneira pela monitoração procura-se avaliar e limitar o detrimento biológico. Para garantir que as condições de trabalho são satisfatórias, o principal objetivo da monitoração é estimar a irradiação dos trabalhadores em termos das grandezas físicas usadas nos limites básicos, tanto primários como secundários. Os limites básicos primários são expressos em termos da dose equivalente e grandezas físicas a ela relacionadas, isto é, a dose equivalente média num órgão ou tecido, a dose equivalente efetiva e a dose equivalente efetiva comprometida, e os limites básicos secundários são expressos para irradiação externa, em termos de índices de dose equivalente raso e profundo e para irradiação interna, em termos de incorporação de radionuclídeos.

Porém, na prática, os limites básicos não podem ser medidos diretamente e neste caso podem ser estimados com base em outras grandezas físicas diretamente mensuráveis.

A interpretação dos resultados das medidas é baseada num modelo que descreve, de modo quantitativo, a relação entre as grandezas medidas e as estimadas. Tanto o modelo como as medidas são importantes. É evidente, que este modelo é um pré-requisito na seleção dos procedimen

tos de medida usados na monitoração.

Em alguns casos o modelo é simples e a relação entre as grandezas medidas e estimadas é direta, mas nem sempre é o caso como, por exemplo, na medida de radionuclídeos que saem de um sistema de exaustão e irradiam o grupo crítico de uma população. A interpretação dos resultados destas medidas em termos das grandezas físicas em que são expressados os limites básicos é difícil. É importante que as funções e limitações tanto das medidas como dos modelos sejam claramente conhecidas uma vez que sozinhos ou em combinação com outras medidas contribuirão para alcançar os objetivos da monitoração e da radioproteção.

Na presente filosofia é mantida a separação da monitoração do local de trabalho e individual para o trabalhador e suas subdivisões bem como os equipamentos de medida a serem utilizados mas a calibração desses equipamentos para irradiação externa deve ser mudada uma vez que as grandezas a serem avaliadas são os índices de dose equivalente raso e profundo e portanto não é mais admitido fazer a calibração no ar como na filosofia vigente mas necessita-se fazer uso do fantasma. O cálculo de dose para contaminação interna também muda uma vez que ele está baseado nos limites de incorporação anual, LIA, e não mais na carga corporal máxima permitível, CCMP.

Além disso, as diferentes formas de monitoração, já tratadas no capítulo 2, foram divididas em três tipos distintos, de acordo com suas funções, isto é, monitoração rotineira, operacional e especial.

#### 4. FUNÇÕES DA MONITORAÇÃO

A monitoração rotineira está associada a operações contínuas, enquanto que a operacional é realizada para fornecer informações a respeito de uma operação particular e a especial é aplicada a uma situação anormal real ou que se supõe ser anormal.

É conveniente, descrever, separadamente, a monitoração do local de trabalho e individual, para cada uma destas funções.

##### 4.1. Monitoração do Local de Trabalho

A monitoração rotineira do local de trabalho pretende mostrar que o ambiente de trabalho é satisfatório para operações contínuas e que



6.

não sofreu nenhuma mudança que possa exigir uma reavaliação dos procedimentos de operação. Ela tem uma natureza confirmativa e pode incluir detectores fixos para identificar situações anormais ou de emergência, tais como falha no retorno de uma grande fonte radiográfica, para dentro de sua blindagem de contenção ou um acidente de criticalidade.

A monitoração operacional do local de trabalho pretende fornecer um teste para uma operação específica e bases para a tomada de decisão imediata, quando necessário, durante o andamento da operação. É, portanto, adequada no controle de procedimentos a curto prazo, quando estes são insatisfatórios, para uso contínuo, a longo prazo.

A monitoração especial do local de trabalho pretende fornecer uma informação detalhada que elucide os problemas e defina os procedimentos futuros. Deve ter uma duração limitada e objetivos bem definidos e terminar a favor de uma monitoração operacional ou rotineira. Portanto, abrange uma situação no ambiente de trabalho onde as informações disponíveis não são suficientes para a obtenção de controle adequado e abrange, também, operações conduzidas em situações anormais de acidente ou suspeita de acidente.

#### 4.2. Monitoração Individual

A monitoração individual significa fazer medidas por equipamento portado sobre o corpo do indivíduo, medida de materiais radioativos depositados no corpo ou de materiais radioativos excretados pelo corpo e fazer a interpretação destas medidas. O principal propósito desta monitoração é obter uma estimativa da dose equivalente média e da dose equivalente efetiva em tecido significativamente exposto. Os resultados das medidas devem ser expressos em termos de índices de dose equivalente raso e profundo, doses equivalentes comprometidas em tecidos selecionados ou incorporação de radionuclídeos.

A monitoração rotineira individual é feita por medidas contínuas ou regularmente repetidas, executadas num trabalhador individual. Dois casos merecem uma atenção especial:

a) Quando as doses equivalentes anuais ou as incorporações anuais são muito menores do que os limites básicos. Neste caso basta uma estimativa superior à real e avalia-se a sua importância por meio do nível

de investigação. Como isto pode levar a uma sobreestimativa da dose equivalente ao grupo de trabalhadores envolvidos, deve ser lembrada a limitação na precisão, quando os resultados da monitoração rotineira são usados para propósitos de otimização da proteção radiológica.

- b) Quando as técnicas e instrumentos de monitoração individual não são eficazes em estimar as doses equivalentes e incorporações com o devido grau de confiabilidade exigido deve-se estabelecer programas de monitoração do local de trabalho.

A monitoração operacional individual é realizada em operações ou série de operações específicas. Portanto é limitada no tempo e pode ser útil o uso de dosímetros adicionais com funções de alarme ou leitura direta.

A monitoração especial individual é realizada em condições anormais reais ou em que haja suspeita, incluindo acidentes.

#### 4.3. Uso da Monitoração Individual na Avaliação do Local de Trabalho

A monitoração individual pode fornecer uma maneira simples para estabelecer se as condições gerais do local de trabalho estão sob um controle satisfatório e se as mudanças operacionais introduzidas melhoraram ou pioraram as condições de trabalho.

### 5. APLICAÇÃO DE MODELOS PARA A INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DA MONITORAÇÃO.

Os modelos que transformam o resultado da medida em unidades de grandezas físicas aptas a serem interpretadas, tais como, limites primários, limites secundários, níveis de referência e limites induzidos pelo ALARA são de complexidade variável. O modelo é baseado numa quantidade de hipóteses que assegure que o risco em subestimar a irradiação de um indivíduo seja aceitavelmente pequeno. Se este modelo mais geral e portanto mais restritivo indicar que o padrão de radioproteção é ou pode ser excedido, adota-se um segundo modelo com hipóteses mais realistas que reflita a situação com maior precisão. Desta maneira mantem-se

8.

pequeno o risco de subestimar a irradiação e reduz-se o risco de superestimá-la.

A título de exemplo podemos mostrar um fato concreto que ocorreu conosco a cerca de uma dezena de anos atrás. Na época fomos consultados pelo Departamento de Instalações e Materiais Nucleares, DIN, da CNEN sobre o valor máximo admissível de atividade de agulhas de rádio-226 danificadas que poderia ser colocada na blindagem de armazenamento e transporte. A AIEA adotou o valor de 1,85GBq (50mCi) e a Alemanha Democrática 0,37GBq (10mCi). O nosso parecer foi favorável ao valor internacional uma vez que nós não tínhamos os problemas com os ambientalistas que a Alemanha tem e em segundo lugar achávamos que em ambos os casos os valores foram estabelecidos ad hoc e não por meio de um cálculo avaliando as doses equivalentes ou dano biológico. Alguns anos mais tarde fomos consultados pelo Departamento do Ciclo do Combustível do IPEN, que é encarregado do tratamento de rejeitos radioativos, com a finalidade de avaliar a dose recebida por um indivíduo no caso de permanecer próximo à blindagem contendo 1,85GBq (50mCi) de agulhas de rádio-226 danificadas, pois tinham obtido autorização do DIN da CNEN para a sua construção. Supuzemos que um indivíduo permanecesse 8 horas por dia junto ao recipiente de armazenagem e que ele tivesse capacidade de respirar todo o radônio produzido pelos 1,85GBq (50mCi) de rádio-226. O resultado evidenciou uma dose baixa e o caso foi encerrado. Este é o modelo mais simples e mais restritivo. Se o cálculo tivesse fornecido uma dose elevada poderíamos idealizar um segundo modelo mais realista no qual se formaria uma nuvem de radônio de cerca  $10m^3$  ( $2 \times 2 \times 2,5$ ) e que o indivíduo respiraria a razão de  $2.500m^3$ /ano ou cerca de 20L/minuto. Se a dose continuasse alta poderíamos partir para um terceiro modelo onde consideraríamos que a blindagem contém carvão ativado com uma eficiência de 96 a 97% e, portanto, grande parte da atividade de radônio ficaria adsorvida no próprio carvão e não se difundiria no ambiente. Novamente, se a dose continuasse alta partiríamos para um quarto modelo onde estudaríamos a fração do radônio produzida que teria a possibilidade de alcançar o meio ambiente após atravessar os vários materiais absorvedores que constituem a blindagem. Deste exemplo podemos ver como o modelo pode tornar-se mais complexo e mais realista.

Poder-se-ia pensar se não deveríamos ter adotado desde o início o

último modelo. A resposta é negativa pois deixaríamos de ser econômicos dado que a maioria dos casos não necessita de um modelo tão apurado, como foi o caso do exemplo vivido, por nós.

A título de conhecimento informamos que a AIEA em 1985 alterou o valor de 1,85GBq (50mCi) para 18,5GBq (500mCi), isto é, o que os alemães necessitam de 50 blindagens ficou reduzida e uma com a consequente economia de espaço, peso e transporte.

Quanto a interpretação dos resultados da monitoração em função dos limites básicos primários e secundários devemos informar que é de grande valia a introdução dos níveis de referência recomendados pela CIPR<sup>(11)</sup> a saber: nível de registro, nível de investigação e nível de interrupção, pois sabemos que até ser atingido o nível de investigação podemos evitar a interpretação dos resultados, só será necessário o seu registro.

A interpretação dos resultados da monitoração é que comprovará que a segurança é adequada.

## 6. FUNÇÕES COMPLEMENTARES DA MONITORAÇÃO

### 6.1. Reavaliação dos Programas de Monitoração

O programa de monitoração tanto individual como do local de trabalho deve ser auto-ajustável e a medida que se adquira experiência o tipo, a frequência e a quantidade de medidas devem ser revistas em intervalos de tempo conveniente para que os esforços da monitoração sejam adequadamente distribuídos. A informação da monitoração deve identificar os bons e maus aspectos dos procedimentos de operação e das características do projeto. Pela filosofia vigente da-se pouca atenção a obtenção de melhores condições de trabalho usando-se os resultados da monitoração, como pode ser notado no exemplo do capítulo 2.

Quando forem obtidas condições melhoradas de trabalho deverá ser reconsiderada a necessidade e finalidade de um programa de monitoração contínuo. Daí serem os níveis de referência de grande valia: se conseguirmos evitar ultrapassar o nível de investigação evitaremos a interpretação e para os locais que não atingirem o nível de registro poderemos evitar a monitoração. Desta maneira, à medida que obtemos condições melhoradas diminuiríamos os locais de monitoração.

## 6.2. Áreas Controladas

A monitoração fornece unicamente uma das bases para a seleção das áreas controladas.

Para a irradiação externa, a monitoração do local de trabalho é o fator predominante enquanto que para a contaminação do ar ou de superfície, a probabilidade desta contaminação é que determinará a limitação da área controlada e não a sua presença real. A tomada de decisão é conditionada a grande experiência adquirida em monitorações anteriores.

## 6.3. Supervisão Médica

A monitoração, também, fornece informações úteis que afetam o tipo e a frequência da supervisão médica. Esta supervisão não é influenciada unicamente pelas doses equivalentes, incorporações esperadas na área mas também pelas condições gerais encontradas nos locais de trabalho. Estas informações devem ser acessíveis à equipe médica e fornecem um guia para a determinação do tipo e frequência de supervisão médica necessária.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- 1) INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Recommendations of International Commission on Radiological Protection. 1966. (ICRP publication 9).
- 2) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Basic safety standards for radiation protection. Vienna, 1967. (Safety series, 9)
- 3) BRASIL. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. DEPARTAMENTO DE FISCALIZAÇÃO DO MATERIAL RADIOATIVO. Normas básicas de proteção radiológica. 19 set. 1973. (CNEN-06/73) (publicado no D.O. nº 180, Brasília, seção I, Pt.II)
- 4) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Basic requirements for personnel monitoring. Vienna, 1965. (Safety series, 14)

- 5) INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. General principles of monitoring for radiation protection of workers. Vienna, 1968. (ICRP publication 12)
- 6) KIEFER, H.; MAUSHART.; MEJDAHL, V. Radiation protection dosimetry. In: ATTIX, F.H. & TOCHILIN, E. (eds). Radiation dosimetry. New York, Academic Press, 1969. v.3. p. 557-616.
- 7) INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Recommendations of the ICRP. Vienna, 1977. (ICRP publication 26).
- 8) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Basic Safety standards for radiation protection. Vienna, 1982. (Safety series, 9).
- 9) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY: Basic requirements for personnel monitoring. Vienna, 1980. (Safety series, 14).
- 10) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Basic principle for occupational radiation monitoring. Vienna, 1987. (Safety series, 84).
- 11) INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. General principles of monitoring for radiation protection of workers. Vienna, 1985. (ICRP publication 35).