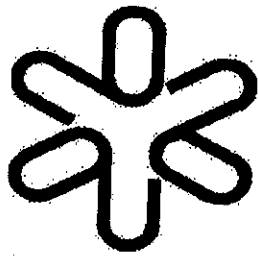


SYS1017129



Instituto de Física  
Universidade de São Paulo

Proteção Radiológica

CRUZ, M.T.F. da

Manoel Tiago Freitas da Cruz - 601985  
FEP - RDIDP - MS 3

Radiacao  
Fisica Experimental

Pré-Print n. 1319/98

bl

# Proteção Radiológica

M.T.F. da Cruz

VI SIPAT, Semana Interna de Prevenção de Acidentes de Trabalho — IFUSP

17 a 21 de agosto de 1998

## 1 Introdução

Esta é uma introdução, para trabalhadores com radiação, a procedimentos de segurança no manuseio e convívio com a radiação nos aceleradores de partículas e em outras estruturas aceleradoras, como partes de equipamentos para estudos de plasmas e mesmo em estruturas aceleradoras menores, como equipamentos de raios x. Nesta introdução tratamos de:

- Descrever as fontes de radiação ionizante, seus efeitos adversos à saúde e qual o risco que corremos quando há uma exposição a níveis baixos de radiação;
- Como se pode minimizar a exposição ocupacional de um trabalhador e quais os procedimentos a serem adotados para protegê-lo.

No IFUSP temos atualmente o acelerador Pelletron, o acelerador do LAMFI e o injetor do acelerador Microtron. Futuramente teremos ainda a extensão LINAC do Pelletron e o restante do Microtron. Outras máquinas capazes de produzir radiação são o novo equipamento para produção de plasmas e as máquinas de raios x do Grupo de Cristalografia.

Como qualquer acelerador de partículas, estas máquinas foram projetadas para acelerar núcleos e elétrons até velocidades muito altas, proporcionando partículas que possam ser usadas pelos cientistas para explorar a natureza da matéria. Durante este processo, produz-se radiação ionizante.

Sala de medidas, depósitos de fontes e depósitos de rejeitos radioativos devem ser considerados. A alguma destas categorias pertencem áreas do Grupo de Dosimetria, do Laboratório do Acelerador Linear, Laboratório de Instrumentação e Partículas e do Laboratório Didático.

## 2 Fontes de radiação ionizante

O termo *radiação* pode ser utilizado para designar qualquer tipo de energia que pode ser irradiada, ou seja, transmitida de um local para outro, como calor, som, ondas de luz, microondas ou raios x. A propósito, um excesso de qualquer delas pode ser danoso à saúde.

Vamos nos concentrar aqui nos efeitos da radiação ionizante, ou seja a radiação de alta energia que produz íons ao interagir com a matéria. Esta energia pode estar na forma de radiação eletromagnética, como raios x e raios gama, ou de partículas, como partículas beta, nêutrons, prótons, alfas e íons pesados.

A radiação ionizante faz parte de nosso ambiente: ela é fruto de processos cósmicos em andamento e de outros que ocorreram muito tempo atrás, produzindo materiais radioativos que encontramos atualmente na crosta terrestre. Exemplos de átomos radioativos de vida longa que ainda existem por aí são  $^{238}\text{U}$  (lê-se urânio 238),  $^{232}\text{Th}$  (tório 232) e  $^{40}\text{K}$  (potássio 40). Estes radioisótopos e seus produtos de decaimento são normalmente encontrados no solo, nas rochas, na comida que ingerimos, em materiais de construção e mesmo em nossos corpos. Portanto, *todos na Terra estão expostos à radiação*, em intensidades que podem variar, pois o grau de exposição a que você está sujeito depende de:

1. raios cósmicos, cuja intensidade varia com a altitude na qual você vive, e da
2. geologia local, onde a concentração de  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$ , e seu produtos de decaimento são fatores importantes.

Estas, juntamente com resíduos de testes atômicos, são as fontes do que denominamos *radiação de fundo*. Além disso, fontes criadas pelo homem, como máquinas de raios x médicos e dentários contribuem com uma dose extra.

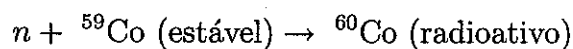
Vamos aqui nos concentrar na exposição ocupacional daqueles que trabalham nos aceleradores de partículas do IFUSP.

Se você trabalha no prédio de um acelerador, há três fontes possíveis de exposição à radiação:

1. radiação produzida imediatamente, quando o acelerador está funcionando, ou seja, com feixe presente;
2. aquela persistente, ou residual, existente mesmo depois que a máquina é desligada;
3. aquela proveniente de fontes radioativas presentes no laboratório.

Aceleradores de partículas produzem radiação quando estão em funcionamento, como as máquinas de raios x mas, diferentemente destas, quando os aceleradores são desligados, isótopos radioativos residuais ou produtos de ativação ainda persistem.

Quando o feixe de um acelerador está presente, pequenas quantidades de nêutrons e fótons escapam através da blindagem. Fótons na forma de raios x ou raios gama produzem ionização direta ou indireta nos tecidos vivos. Nêutrons podem ser uma fonte importante de exposição nas vizinhanças dos aceleradores. Eles perdem sua energia colidindo com os átomos dos materiais através dos quais eles passam, até que são capturados pelo núcleo de um de seus átomos. Desta captura resulta uma transformação nuclear, uma alteração isotópica, criando o próximo isótopo mais pesado daquele elemento e, ocasionalmente, produzindo um elemento diferente. Em alguns casos, este processo de captura produz um núcleo instável, que sofrerá decaimento radioativo, depositando energia em sua vizinhança. Este é o processo de *ativação*, e podemos dar um exemplo:



a produção de  $^{60}\text{Co}$  ou de outros elementos radioativos por ativação produz radioatividade residual, que persistirá mesmo quando o feixe do acelerador for desligado.

Muito embora haja radioatividade dentro e fora da blindagem da máquina, a radioatividade residual encontrada no interior da blindagem é a única fonte importante de exposição à radiação devida à ativação, para trabalhadores em áreas de radioatividade.

Produtos de ativação tais como  $^{24}\text{Na}$  e  $^{60}\text{Co}$  são radioativos e sua radioatividade diminui com o tempo. Esta diminuição da radioatividade é medida através da meia-vida do isótopo. Uma meia-vida é o tempo que leva para que a radioatividade de uma fonte caia à metade. Tomemos como exemplo um material hipotético que tenha uma meia-vida de 24 horas. Inicialmente temos 100% do material radioativo, mas depois de 24 horas, apenas 50% do material radioativo existirá, 50% tendo já decaído, tornando-se estável. Depois de um segundo período de 24 horas, restarão apenas 25% do material. Este processo seguirá, até que depois de sete meias-vidas, menos de 1% restará.

Meias-vidas têm valores que variam por uma enorme faixa de tempos, indo desde frações de segundo até milhares, milhões e até bilhões de anos.  $^{232}\text{Th}$  por exemplo tem uma meia-vida de 14 bilhões de anos. De fato, este é um valor maior do que a idade da Terra. Ainda assim, um de seus produtos gasosos de decaimento  $^{220}\text{Rn}$  (lê-se radônio 220) tem uma meia-vida de apenas 55 segundos.

Acontece que a maioria dos materiais radioativos produzidos por ativação nas vizinhanças dos aceleradores têm meias-vidas curtas. Entretanto, devido ao fato de aceleradores operarem ao longo de vários anos, os isótopos de meia-vida mais longa vão tendo sua quantidade aumentada. Conseqüentemente, sua radioatividade acabará produzindo campos de radiação importantes nas vizinhanças dos aceleradores.

Outra fonte possível de exposição é quando propositalmente produzimos radionuclídeos em um experimento. Se os manusearmos sem o devido cuidado, tais radionuclídeos podem ser inalados ou ingeridos, contaminando por dentro o nosso corpo. Podemos evitar uma exposição interna seguindo práticas recomendadas de segurança no trabalho.

Aqueles que trabalham em aceleradores são protegidos da radiação do feixe e de suas componentes secundárias de fótons e nêutrons por uma espessa blindagem. Paredes espessas de materiais ricos em hidrogênio, como o concreto ou polietileno, são utilizados como blindagem contra nêutrons. Materiais densos, como chumbo, são bastante eficazes como blindagem contra fótons. Tenham em mente entretanto, que estas radiações, embora adequadamente atenuadas, nunca são completamente eliminadas.

### 3 Como se mede a exposição à radiação?

Há várias maneiras de se quantificar a exposição à radiação e para expressarmos a sua medida em termos de uma *dose*, vamos apresentar os termos comuns para se expressar a dose de radiação no sistema antigo, ainda muito utilizado, bem como no atual Sistema Internacional. Devemos discutir como se mede essa exposição de pessoas à radiação ionizante, ou seja, a dose.

O termo dose é familiar quando temos que tomar um remédio, ou queremos medir uma massa em gramas ou um volume em colheres de sopa ou chá para preparar uma receita na cozinha, mas isso tudo tem pouca utilidade em nosso caso. O que nos interessa aqui é a quantidade de (energia da) radiação absorvida pelo tecido vivo, ou *dose absorvida*. As unidades dessa medida necessitam de um pouco de discussão. A sua unidade no Sistema Internacional é o gray

$$1 \text{ gray} = 1 \text{ J/kg}$$

o gray representa um joule de energia absorvida por quilograma de tecido. Mas, ainda se encontra em amplo uso a unidade rad, valendo

$$100 \text{ rads} = 1 \text{ gray} .$$

Há ainda uma característica importante associada à dose absorvida: a mesma dose pode ter diferentes efeitos biológicos, para diferentes radiações. Assim, os físicos que trabalham em radioproteção levam esse fato em conta através de uma quantidade denominada dose equivalente, que é obtida multiplicando-se a dose absorvida por um fator de qualidade. A unidade de dose equivalente no SI é o Sievert e ainda se encontra em uso a unidade rem (*radiation equivalent in man*), convertendo-se de uma para a outra através de

$$100 \text{ rem} = 1 \text{ Sievert} .$$

Durante este treinamento estaremos falando de milirems (mrems) e rems

$$1 \text{ mrem} = \frac{1}{1000} \text{ rem} .$$

O fator de qualidade mencionado anteriormente é determinado pela densidade de ionização deixada por uma partícula ao longo de sua trajetória. Raios gama, raios x e partículas alfa têm comportamentos bastante diferentes, sendo que os efeitos biológicos de uma partícula alfa são cerca de 20 vezes maiores do que os de raios gama. Temos então

Fator de Qualidade	Tipo de Radiação
1	Betas e Gamas
3 até 10	Nêutrons
20	Alfas

Assim, é possível que uma dose absorvida de 1 rad resulte em uma dose equivalente de 20 rem, se se tratar de partículas alfa.

Resumindo, a dose de radiação depende:

- Da quantidade de energia da radiação absorvida pelo corpo;
- Do tipo de radiação e de sua energia, o que determina a sua ação biológica.

## 4 O limite seguro e os riscos de doenças

A radiação de fundo dá a todos uma dose anual de cerca de 300 mrem dos quais 200 a 250 provém de gás radônio, que ocorre naturalmente. Raios x dentários e do resto do corpo contribuem com mais 25 a 100 mrem em um ano.

Foram estabelecidos limites para a chamada *exposição ocupacional*, para quem trabalha com radiação. A dose de corpo inteiro é de 5 rem, ou 5000 mrem, em um ano. Na prática, entretanto, o valor realmente tomado é bastante menor, a média anual de dose equivalente ocupacional fica ao redor de 230 mrem/ano. **Lembrem-se que isto é considerado além da dose da radiação de fundo. Atenção: o limite para não trabalhadores com radiação é a décima parte do limite anterior, ou seja, 500 mrem em um ano.**

Esses limites foram escolhidos como forma de prevenção contra efeitos negativos à saúde, vindos tanto das exposições curtas e agudas (ou intensas) como das exposições longas ou crônicas. O propósito principal deste limite é minimizar a chance do aparecimento de doenças crônicas vindas de exposições a baixos níveis de radiação. Notadamente, radiação induz o aparecimento de leucemia e outros tipos de câncer.

## 4.1 Exposição aguda

Antes de discutirmos o risco de câncer, vamos revisar rapidamente os efeitos de uma exposição elevada e aguda sobre a saúde. Doses elevadas, da ordem de 100 rem ou maiores, causam uma doença denominada *síndrome aguda da radiação*. Os efeitos dessa doença são bem conhecidos, devido ao curto intervalo de tempo desde a exposição até o aparecimento dos sintomas. Temos bom conhecimento a respeito dessa síndrome, devido ao estudo das vítimas das bombas atômicas e da experiência dos primeiros trabalhadores com radiação, como o casal Joliot-Curie, Becquerel, dos diversos acidentes nucleares ou envolvendo fontes, como Chernobyl, Goiânia e outros.

Doses elevadas de radiação danificam principalmente células que se dividem rapidamente, tais como os glóbulos brancos e aquelas do sistema gastro-intestinal. Isto provoca grandes infecções, desequilíbrio dos fluidos do corpo e seus eletrólitos e eventualmente provoca a morte. O tratamento adequado com antibióticos e fluidos e a permanência em um ambiente estéril são necessários para a sobrevivência do paciente.

A irradiação de partes do corpo com doses elevadas pode também provocar efeitos localizados, como avermelhamento da pele e ulcerações similares às da queima. Muitos dos primeiros trabalhadores com radiação apresentaram esses problemas, juntamente com câncer de pele.

Outro efeito agudo possível é o risco de esterilidade permanente. Entretanto, a dose de corpo inteiro necessária para tornar alguém permanentemente estéril seria mortal para a maioria das pessoas. Esterilidade temporária pode ser induzida com níveis mais baixos de exposição, mas a dose necessária para tal seria cerca de 50 vezes o limite de dose ocupacional.

## 4.2 O que realmente nos preocupa ao pensarmos em “radiação”

O risco que preocupa a maioria das pessoas e o mais comumente associado a doses baixas crônicas é o de se contrair câncer. Profissionais da área de biologia molecular celular estudam o efeito de partículas carregadas sobre células *in vitro*. Quando perguntados sobre qual é esse risco para pessoas que trabalham com radiação em seus empregos, a posição deles é que infelizmente não há dados adequados, de forma que o assunto é um tanto controverso, mas os cientistas desenvolveram modelos estatísticos para estimar os riscos de se contrair câncer, provocado pela radiação. Esses modelos são baseados no conceito de que os riscos seriam proporcionais à dose: quanto menor a dose, menor o risco. Assim, mesmo uma pequena exposição está associada a algum risco. Essas estimativas são baseadas em dados epidemiológicos confiáveis de resposta a altas doses. O que não temos é uma boa estimativa da resposta a doses baixas, recebidas por trabalhadores com radiação, mas conhecemos bastante sobre o câncer induzido pela radiação, quando comparado com os tipos de câncer induzidos pela exposição crônica a produtos químicos.

Os riscos estimados são de que uma pessoa em dez mil apresente câncer ao receber uma dose de 1 rem. Devido à natureza estatística desse dado, o número real poderia ser zero, ou pouco maior do que um. Vale observar que as chances de indivíduos da população “normal” contraírem câncer (dados dos EUA) são de 1650 pessoas em cada 10000 (16,5%). Observe que este valor é bastante alto, e significa que se as 10000 pessoas tomassem uma dose de 1 rem, o número de indivíduos que apresentariam a doença cresceria de 1650 para 1651. Este é realmente um aumento muito pequeno, tão pequeno que é difícil de detectar no povo em geral.

Quanto ao risco de defeitos devidos à exposição à radiação pelo feto em desenvolvimento, sabemos que o feto pode ser afetado por doses menores do que um adulto, devido ao fato de que células em

processos rápidos de divisão são mais sensíveis à radiação. Por isso, limites mais baixos foram estabelecidos para pessoas em gestação: a dose permitida para mulheres grávidas durante toda a sua gravidez é de 0,5 rem, ou 500 mrem. Se uma mulher grávida tiver que trabalhar com radiação, doses únicas elevadas devem sempre ser evitadas, qualquer exposição à radiação deve ser feita a uma taxa uniforme. É claro que o primeiro trimestre é o mais crítico para o feto. Assim, mulheres grávidas e aquelas pretendendo engravidar devem consultar os serviços médicos o mais cedo possível para discutir o seu risco de exposição à radiação. Arranjos envolvendo alteração de condições de trabalho devem ser feitos com o chefe imediato, se necessário.

Quanto ao risco de mutações, radiação pode causar mutações nos genes tanto dos óvulos quanto aos espermatozoides e estas podem ser transmitidas para os filhos. Entretanto, os limites estabelecidos foram escolhidos de forma a proteger os trabalhadores, tornando essas mutações indistinguíveis daquelas causadas pela radiação de fundo. Assim, o trabalhador com radiação não está sujeito a uma probabilidade maior de observar mutações em sua prole.

### 4.3 Alguns dados estatísticos

O limite ocupacional foi escolhido de forma a proteger todos os trabalhadores de efeitos negativos à sua saúde. Uma boa política de trabalho e o bom senso requerem que todas as nossas exposições à radiação sejam mantidas tão baixas quanto for possível. Este princípio é conhecido como **ALARA**, do inglês, *As Low As Reasonably Achievable*. ALARA é baseado no fato de que qualquer exposição à radiação tem risco e portanto temos de minimizá-lo. Vejamos alguns dados de exposição ocupacional do Laboratório Nacional Lawrence, de Berkeley (LBNL) comparados a outros números:

Situação	Dose equivalente anual (mrem)
Limite ocupacional permitido	5000 (trabalhadores com rad.)
"	500 (não trabalhadores com rad.)
Média americana dos trabalhadores com radiação	230
Radiação de fundo	300 (dependente da altitude)
Média de trabalhador (do LBNL)	25 (2 a 4 raios x do tórax)

O objetivo do ALARA é manter o risco de morte de um trabalhador com radiação comparável ao risco de trabalhadores em empregos "seguros," como vendas e manufaturas leves. Para comparação, vamos apresentar alguns números (EUA):

Área de Trabalho	Mortes/Ano/100.000 indivíduos
Manufaturas leves	9,3
Acidentes de automóveis	28
Fumantes	177
Doenças cardíacas	366
Laboratório Nuclear (LBNL)	0,3

**Resumindo:** Mostramos aqui que a exposição à radiação pode sempre permanecer bem abaixo do limite de 0,5 rem/ano para exposição ocupacional. Conseqüentemente, os riscos de efeitos adversos à saúde, como câncer, devido à exposição à radiação são tão baixos, que seriam virtualmente inexistentes. Isto se deve em grande parte ao obediência estrito do princípio ALARA.

## 5 ALARA

Vejam algumas práticas de proteção específicas, necessárias para manter a sua exposição de acordo com o ALARA. Também descreveremos os recursos e programas (do LBNL) para ajudá-lo a proteger-se, além de explicar o que você deve fazer em caso de emergência.

Práticas de proteção contra radiação para manter o seu risco baixo requerem que você planeje e avalie cada trabalho e/ou experimento antecipadamente para minimizar a exposição. Use sempre os princípios básicos de **TEMPO, DISTÂNCIA** e **BLINDAGEM** para estar de acordo com ALARA. Sempre que possível use os três juntos: (1) limite o seu tempo na presença de fontes de radiação; (2) maximize a sua distância até elas e (3) utilize a blindagem apropriada.

Antes de mais nada, sempre que estiver trabalhando em prédios com aceleradores, maximize sua distância até as fontes de radiação: segundo a lei do inverso do quadrado da distância, se você duplica a distância até uma fonte de radiação, você reduz a sua exposição a um quarto. Localize as áreas de radiação e se familiarize com os procedimentos apropriados para acesso controlado a elas.

## 6 Áreas de radiação

Locais nos prédios de aceleradores são denominados de **áreas controladas ou monitoradas**, havendo outras áreas, denominadas de **radiação, de radiação elevada, ou de radiação muito ele-vada**. Ilustraremos com exemplos dessas áreas, mas devido às mudanças nas condições de operação das máquinas, as áreas de radiação podem mudar de regime. Portanto, observe sempre a sinalização e preste atenção a barreiras físicas e sempre que tiver dúvidas, verifique na Sala de Controle do acelerador. Com o aumento dos níveis de radiação, medidas mais rigorosas se fazem necessárias.

Áreas controladas têm apenas potencial para causar exposição à radiação. Todas as áreas no prédio de um acelerador devem ser consideradas como áreas controladas, a menos que estejam demarcadas de outra forma. Somente pessoas que trabalham no prédio, ou têm assuntos a tratar lá devem ser admitidos em seu interior. Dentro das áreas controladas existem áreas de radiação, indicadas por sinais, cordas ou portões. Níveis possíveis de exposição nessas áreas podem variar de 5 mrem a 100 mrem a qualquer hora. Não fique à toa em áreas de radiação e tenha a certeza de saber o nível de radiação antes de entrar nelas. Limite a frequência com que você passa por essas áreas e procure outras rotas quando fôr possível. No Pelletron, um exemplo de área de radiação onde é possível o acesso é o salão experimental, após o ímã ME200. Algumas dessas áreas de radiação se tornam áreas de radiação elevada sob certas condições. Áreas de radiação elevada têm sinais, lâmpadas piscantes e barreiras físicas que estão ligadas ao acelerador, interrompendo o feixe quando abertas. A taxa de dose nessas áreas pode ir de 100 mrem até 5 rem a qualquer momento. Áreas de radiação elevada devem ser também áreas de exclusão, com portas de travamento para manter o pessoal fora durante a operação do acelerador. Exemplos de áreas de radiação elevada incluem quaisquer pontos da máquina onde feixes são desviados ou feitos colidir com alvos, copos de Faraday, terminos de linha de feixe (*beam dumps*), etc. Por fim, aceleradores têm áreas de radiação muito elevada. Estas áreas se localizam dentro do acelerador e da blindagem da linha de feixe, quando o acelerador está em operação. A dose nessas áreas pode ser maior do que 5 rem a qualquer hora.



## 7 Procedimentos de segurança — questões freqüentes

Procedimentos de segurança exigem a existência de sinais, luzes vermelhas piscantes e um sistema de cadeias de segurança. Cadeias de segurança consistem de copos de Faraday, sistemas de travamento com chaves de segurança e ímãs para controlar a entrada de pessoas. Familiarize-se com estes sistemas em seu local de trabalho, buscando orientação sobre como interpretar suas informações e utilizá-los.

No caso muito improvável de você se encontrar em uma dessas áreas quando o feixe estiver para ser ativado, tome as providências necessárias para impedir isso. Os procedimentos apropriados e práticas seguras para o trabalho em áreas de radiação devem estar registrados em um Manual de Operação e Segurança de cada acelerador e este deve estar disponível na Sala de Controle.

**P.:** Quando você está fazendo uma montagem ou outro trabalho na área experimental, que tipo de procedimentos de segurança devem ser levados em conta?

**R.:** Muito embora nunca se deva sequer estar junto à canalização quando o feixe está passando, é importante considerarmos a blindagem ao redor desta. A radiação primária é detida no fim da linha, e portanto não tão importante se houver blindagem, mas os nêutrons e gamas produzidos por ela são importantes e devemos ter a blindagem adequada.

**P.:** Quais outros fatores devemos levar em conta?

**R.:** Devemos minimizar o tempo que ficamos nessa área, se há feixes sendo passados, pois algumas dessas áreas não possuem a blindagem adequada. Para descobrirmos quais canalizações e feixes estão em uso, devemos obter essa informação na Sala de Controle.

A Sala de Controle de cada acelerador contém também diversos sistemas de alarme, disparados por problemas com a máquina e de radiação. Alarmes soarão se houver problemas com o sistema de travamento (*interlock*), perda de vácuo, vazamentos de gás e problemas com alta voltagem. Em certos aceleradores ocorre um aviso verbal pelos alto-falantes, seguido de um sinal auditivo agudo, antes do estabelecimento de feixe em alguma canalização. O anúncio deve sempre ser precedido por uma busca pessoal nas áreas do acelerador.

## 8 Dosimetria, monitoração e trabalho planejado

Se o seu trabalho envolve estar em áreas de radiação ou com potencial de ter uma exposição ocupacional, você deve ter um *dosímetro pessoal*, para carregar consigo. Se você tiver a possibilidade de receber, durante seu trabalho, 100 mrem em um ano (acima da radiação de fundo) deve ter um dosímetro. Discuta com o seu chefe imediato se você necessita de um dosímetro ou não. Se esse for o caso, preencha o formulário adequado, submetendo-o ao grupo responsável pela dosimetria no IFUSP, o mesmo valendo para visitantes. Dosímetros pessoais são revelados a cada três ou quatro meses no IFUSP, sendo emitido um relatório, que é afixado no laboratório, em local de acesso público. Esses relatórios devem ser adequadamente arquivados, para que se possa manter um histórico das doses apresentadas pelos dosímetros pessoais de todos. A partir desses relatórios você poderá calcular a sua dose anual. Se alguma leitura muito elevada for registrada, as razões para esta devem ser esclarecidas.

Algumas partes do acelerador contém dosímetros, que integram a dose de radiação daquela área. As leituras desses detectores servem para que tenhamos um histórico do nível de radiação na área correspondente, avaliando, em caso de alteração da leitura, se os procedimentos de segurança adotados

para aquela área são ainda adequados ou se devem ser alterados. Cada laboratório tem também detectores ativos de radiação, como Geigers, câmaras de ionização, detectores de nêutrons, etc. Leituras anormais de qualquer monitor, pessoal ou não, devem ser averiguadas imediatamente.

No trabalho no acelerador, não será exigido de você leve consigo detectores de dose. Entretanto pode haver exigências específicas no caso de experimentos, como aqueles que tem o risco de causar contaminação. Converse com o seu chefe imediato para aconselhamento, instruções e instrumentos adequados, se necessário. Se você quiser monitorar a sua área de trabalho em qualquer ocasião, verifique com os responsáveis pelo laboratório qual o detector adequado. Se você trabalha com radioisótopos, onde sempre há o risco de haver contaminação, você deve manipular o seu material sempre dentro da capela e do recipiente adequados. Neste caso é necessário que você tenha o treinamento adequado para esse trabalho.

**Lembre-se: todo o trabalho em que houver a possibilidade de exposição à radiação deve ser planejado, de forma a minimizar a sua exposição.** Outro procedimento adequado é o de se monitorar qualquer material, móvel, etc. que é removido da área de um acelerador, à procura de radioatividade residual, rotulando-se-o. O transporte de material radioativo entre prédios, próximos ou não, deve também ser planejado, para que se minimize a chance de acidentes no percurso, especialmente se você pretende usar automóvel.

## 9 Fontes de informação

O objetivo deste treinamento é tornar o ambiente de trabalho sadio e seguro para todos, funcionários, estudantes, visitantes, etc. do IFUSP. Naturalmente, o diretor do laboratório é responsável por essa segurança, mas ela é também, e em grande parte, responsabilidade de cada um. Você é responsável pelo seu próprio conhecimento desses procedimentos de segurança e você deve alertar os envolvidos e informar ao seu superior sempre que for observado trabalho em execução fora das normas de segurança podendo causar acidentes. Este é um trabalho enorme, mas existe pessoal e material informativo para orientá-lo, como por exemplo o livro *Radiação: efeitos, riscos e benefícios*, da Profa. Emico Okuno, do Grupo de Dosimetria do IFUSP e a PUB 3000 do LBNL, *Health and Safety Procedures Handbook* (veja as referências) onde você encontrará informações sobre segurança industrial, radiológica e outros aspectos de segurança no trabalho. Se você quiser entender por exemplo como manusear fontes radioativas com segurança, esse manual lhe informará como. Se você seguir esses conselhos, o seu trabalho não terá apenas tido êxito, mas terá sido seguro.

Pessoal com mais experiência pode orientá-lo sobre como proceder. Em cada laboratório deve existir um representante de segurança, capaz de auxiliar a todos em tarefas como análise de necessidades de blindagem, segurança junto à canalização e segurança de raios x, além de estabelecer programas de treinamento para outros tipos de segurança. Devido ao fato de aceleradores serem basicamente estruturas industriais, há outros perigos além da exposição à radiação, e muito mais comuns do que este último: gases comprimidos e inflamáveis, alta voltagem, trabalho em lugares confinados, uso de produtos químicos tóxicos e/ou corrosivos, além dos usuais tropeções, escorregões e quedas. Por isso, outros treinamentos de segurança podem ser necessários. O seu chefe imediato é responsável por garantir que você tenha todo o treinamento necessário ao seu trabalho, antes que você esteja apto a trabalhar sem supervisão. Cursos devem ser preparados/ministrados para esse fim.

## 10 Em caso de emergência

Aceleradores não podem explodir ou fundir-se devido à radiação, como reatores nucleares. Entre em contato com a Sala de Controle e/ou com o responsável pela segurança sempre que houver alguma situação incomum, como escape de gases, perda de vácuo ou defeitos no sistema de segurança. Se ocorrer uma emergência envolvendo radiação, como por exemplo exposição ao feixe, interrompa o trabalho imediatamente. Chame ou peça para alguém chamar o responsável pela segurança e auxilie em caso de haver feridos. Evacue a área próxima e descubra quem foi exposto à radiação e segure-os até que chegue algum responsável pela segurança. Preserve o local do acidente. Se se tratar de derramamento de material radioativo, isole a área, para evitar mais contaminação. Qualquer pessoa envolvida deve também ser monitorada para se determinar se houve contaminação. Não tente limpar a contaminação você mesmo, antes de falar com o responsável pela segurança. Não se retire da área antes de ser apropriadamente monitorado, pois você poderá estar espalhando ainda mais o material radioativo.

O melhor modo de se evitar um acidente é conhecendo as normas de operação segura; familiarize-se com elas. No que concerne a radiações, a experiência tem mostrado que aceleradores costumam ser ambientes de trabalho bastante seguros. Em geral, laboratórios onde se segue as normas de segurança apresentam níveis de exposição bastante abaixo dos limites ocupacionais. Treinamento e bom senso nos auxiliam a manter a nossa exposição ALARA. Seguindo os princípios de proteção apropriados, como conhecendo as áreas de radiação, mantendo distância, minimizando o tempo e utilizando os procedimentos de controle necessários, você estará de acordo com o princípio ALARA, protegendo a si mesmo, àqueles que trabalham com você e ao meio ambiente.

## 11 Referências

1. Emico Okuno, *Radiação: efeitos, riscos e benefícios*, Ed. Harbra. Trata-se de texto que pode ser lido por qualquer pessoa, com ou sem formação científica, contendo informação valiosa a respeito do assunto.
2. PUB 3000 *Health and Safety Procedures Handbook*, LBNL. Tratado de segurança no trabalho, envolvendo não somente a segurança com respeito a radiação, mas muitos outros tópicos relevantes para nós. Sugere-se o preparo de versão em português.