

AUTOS DE GOIÂNIA



ÍNDICE

Aprendiz de feiticeiro	4
Como será o amanhã?	5
Unidades utilizadas no estudo das radiações	6
Depoimentos	7
Alexandre Rodrigues de Oliveira	
Carlos Eduardo Brandão	
Nelson Valverde	
Rosana Farina	
Georgui Dmitrivitch Selidovkin	
João Alfredo Medeiros	
Epaminondas S. B. Ferraz	
SBF interroga CNEN	14
Tudo será como antes <small>Entrevista: Luiz Pinguelli Rosa</small>	17
Assec critica CNEN	18
A desintegração radioativa <small>Giorgio Moscati</small>	19
Radiação ionizante <small>Emico Okuno</small>	20
A fonte de cézio-137 <small>Anselmo S. Paschoa</small>	22
Efeitos biológicos <small>Roberto Alcântara Gomes</small>	23
O cálculo das aberrações <small>Íris Ferrari</small>	27
Em busca do cézio <small>Joyce L. Lipsztein e Adriana T. Ramalho</small>	28
A contaminação do ambiente <small>Epaminondas S. B. Ferraz</small>	29
Monitoração da cidade contaminada <small>Jean Remy D. Guimarães</small>	33
Radiação de fundo <small>Roberto Alcântara Gomes</small>	36
Depósitos de rejeitos radioativos <small>Eduardo Penna Franca</small>	37
Os descaminhos das responsabilidades	41
<small>Vilma Figueiredo, Moisés P. S. de Quadros, Eduardo Biavati Pereira</small>	
Direito à informação <small>José Paulo Cavalcanti Filho</small>	44
Proteção radiológica <small>Anselmo S. Paschoa</small>	46

É PRECISO NÃO ESQUECER GOIÂNIA



Luis Trizano — 1966

Que fazia uma bomba de césio-137 num hospital abandonado, semidestruído, em Goiânia, no dia 13 de setembro de 1987? Não era uma bomba qualquer. Era um equipamento de alto risco, cuja importação, manutenção, uso e guarda estão sujeitos a rigoroso controle. A legislação atribui esse controle a um órgão especializado do governo, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), hoje subordinado ao Conselho de Segurança Nacional.

A Vigilância Sanitária de Goiás não comunicou o abandono à CNEN, e esta de nada sabia. Os inquéritos e a Justiça pouco concluíram sobre as responsabilidades. A bomba foi roubada, violada e 19 gramas de césio-137 espalharam uma tragédia. Quatro pessoas morreram e muitas outras receberam doses elevadas de radiação. Cometera-se um primeiro crime, e a este se sucedeu um segundo, não menos grave: a desinformação — as autoridades de governo, indecisas, omitiram-se no esclarecimento do que estava ocorrendo. Conseqüência: a multiplicação das vítimas. Pânico e incerteza paralisaram Goiânia. A CNEN e o governo

mostraram-se mais preocupados em esconder as próprias responsabilidades e proteger a imagem do programa nuclear do que em proteger a população. Os interesses da segurança nacional — nuclear, militar — prevaleceram.

O direito do cidadão à informação — já introduzido na nova constituição na forma do *habeas data* — não foi respeitado. Por que não se criou imediatamente uma comissão competente — idônea, insuspeita — para dirigir os trabalhos e informar responsabilmente a população? A tarefa foi entregue à CNEN. Ao contraventor, a defesa da lei; ao omissor, a explicação de seus deveres. Cúmplice do crime, a CNEN não poderia explicar nem convencer ninguém. Sua credibilidade estava irremediavelmente comprometida. Ainda está.

Anos de descaso com a radioproteção e a segurança nuclear (onde estão os planos de emergência em caso de acidente em Angra?) dificilmente poderiam ser justificados. O reduzido apoio e os poucos recursos destinados à pesquisa sobre os efeitos biológicos da radiação e às aplicações de radioisótopos na medicina e na agricultura têm como contraponto o investimento crescente na área nuclear com objetivos subterrâneos (como na serra do Cachimbo), ou submarinos (como no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN e no centro de Aramar, em Iperó). Para constatá-lo, basta comparar os orçamentos do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) e do IPEN, lembrando que o primeiro tem atribuições como o controle dos equipamentos de raios X — utilizados muitas vezes com pouca competência e péssima calibração — e a mensuração do teor de césio-137 no leite importado.

A CNEN levou quatro meses para responder perguntas que lhe foram

apresentadas pela Sociedade Brasileira de Física (ver "SBF interroga CNEN"). Continuamos desconhecendo informações importantes. Centenas de bombas permanecem sem controle — não se sabe se funcionam ou onde estão (em hospitais? em ferro-velhos?). O serviço de vigilância desses equipamentos não funciona desde 1982, quando a CNEN voltou sua atenção para outros programas, paralelos, de interesse militar. O sistema de armazenamento do lixo radioativo permanece indefinido. Do próprio acompanhamento epidemiológico em Goiânia restam sérias incógnitas. Parece ter sido transformado em questão assistencial ou acadêmica, de caráter local. As responsabilidades principais pelo crime de Goiânia — seja o da bomba ou o da desinformação — são do governo. Cabe a ele, no mínimo, assumir as conseqüências: designar os melhores técnicos e as mais confiáveis instituições para essa tarefa que deverá se prolongar por dezenas de anos. Para coordenar tal empreendimento, deveria ser chamada uma entidade nacional como por exemplo o CNPq — não a Fundação Leide ou o Núcleo de Acompanhamento da Universidade Federal de Goiás, que teriam grande dificuldade em garantir a continuidade dos trabalhos ao longo de décadas; e muito menos a CNEN, cúmplice do crime.

Por outro lado, preocupa constatar que, passados seis meses, o acidente caminha para o esquecimento. Pouco restou da lição. A CNEN, impune, nem ao menos foi desmembrada, com a atribuição da radioproteção a um instituto independente, como foi sugerido repetidas vezes. Os subterrâneos militares não o permitem, como não permitem que as questões nucleares sejam tratadas de modo civilizado, aberto e informado. Enquanto a aventura nuclear-militar prevalecer, outras Goiânias poderão ocorrer. É preciso não esquecer Goiânia. É preciso lavar os autos.

Os editores

APRENDIZ DE FEITICEIRO

No dia 5 de setembro de 1987, o presidente José Sarney anunciou oficialmente que o Brasil já dominava a tecnologia de enriquecimento do urânio. Quase ao mesmo tempo, um fato que só veio a público no fim do mês obrigaria o país a encarar, de forma dolorosa, sua verdadeira face de aprendiz de feiticeiro em matéria de utilização de energia nuclear. Uma bomba de céσιο-137, abandonada há dois anos nos escombros do antigo Instituto Goiano de Radioterapia (IGR) — desativado depois de sofrer uma ação de despejo —, foi dali removi-

da por dois sucateiros, violada e vendida como ferro-velho.

Entre a retirada da bomba da clínica em ruínas, ocorrida no dia 6 ou no dia 13 de setembro — os depoimentos divergem —, e a descoberta do fato pelas autoridades, dezenas de moradores de Goiânia conviveram com um material radioativo cuja periculosidade desconheciam. Atraídos pela luminescência do céσιο, adultos e crianças o manipularam e distribuíram entre parentes e amigos. Roberto Santos Alves e Wagner Mota Pereira, os sucateiros, Devair e Ivo

Alves Ferreira, donos de ferros-velhos, e Edson Fabiano, vizinho de Devair, transformaram-se involuntariamente em personagens centrais de um enredo infeliz. O saldo dessa experiência foi a morte de quatro pessoas, a amputação do braço de outra e a contaminação, em maior ou menor grau, de mais de 200.

Os primeiros sintomas da contaminação — náuseas, vômitos, tonturas, diarreia — apareceram algumas horas após o contato com o material. Desconhecendo a causa de seu mal-estar, as pessoas procuraram farmácias e hospitais e foram medicadas como vítimas de alguma doença infecto-contagiosa. Somente em 29 de setembro, um dia depois de a esposa e um empregado de Devair Alves Ferreira terem levado parte da bomba para a sede da Vigilância Sanitária, aqueles sinais foram identificados como característicos da síndrome da radiação.

Coube ao físico Walter Mendes Ferreira dar o alarme. Consultado na Secretaria de Saúde de Goiás, onde trabalha, por um médico que já suspeitava de contaminação radioativa em alguns pacientes recebidos pelo Hospital de Doenças Tropicais (HDT) de Goiânia, Mendes obteve na agência local da Nuclebrás um cintilômetro e foi até à sede da Vigilância Sanitária, onde a peça tinha sido posta sobre uma cadeira. O medidor confirmou a hipótese: ali estava a origem de tudo. Walter Mendes e o físico Flamarion Barbosa Goulart, que fora o responsável pelo equipamento no IGR, sugeriram as primeiras providências, como a evacuação dos locais em que a bomba permanecera e o recolhimento dos possíveis contaminados ao Estádio Olímpico, onde se improvisaram barracas para alojamento.

Simultaneamente, a Secretaria de Saúde de Goiás comunicava o fato à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), que acabou por enviar a Goiânia, na madrugada do dia 30, o diretor de seu Departamento de Instalações Nucleares, José de Júlio Rozental. Na mesma data, chegaram à cidade técnicos do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) e do Instituto de Pesquisas



Energéticas e Nucleares (IPEN), ambos da CNEN, e três médicos: um da Nuclebrás, um de Furnas Centrais Elétricas e um terceiro do IRD. Em seguida, a opinião pública era informada do episódio pela imprensa.

A partir da primeira semana de outubro, começaram a chegar ao Brasil, para ajudar no atendimento às vítimas, médicos e físicos de vários países. Entre eles, Günther Drexler, da Alemanha Ocidental; Elias Palacios e Juan Carlos Jimenez, da Argentina; Gerald Hanson, da Organização Mundial de Saúde (OMS); Robert Ricks, Robert P. Gale e Clarence C. Lushbaugh, dos Estados Unidos; e Georgui Selidovkin, da União Soviética.

O inquérito policial aberto para apuração do episódio indicou como responsáveis diretos os médicos Carlos Figueiredo Bezerril, Criseide de Castro Dourado e Orlando Alves Teixeira, proprietários do IGR, e Amaurillo Monteiro, antigo proprietário do instituto, além do físico Flamarion Barbosa Goulart; e, como co-autores, o coordenador da Vigilância Sanitária de Goiás, Sebastião Ferreira de Carvalho, e o diretor do De-

partamento de Instalações Nucleares da CNEN, José de Júlio Rozentel. Em fase posterior do processo, os dois últimos foram inocentados.

Seis meses após o acidente, Goiânia vive uma nova realidade. A maior parte das vítimas já voltou para suas casas; nove ainda permanecem alojadas na Fundação Estadual para o Bem-estar do Menor (Febem), aguardando a recuperação de suas moradias e o pagamento das indenizações pelo governo de Goiás. De acordo com a equipe médica que faz o acompanhamento mensal dos pacientes, todos eles foram descontaminados, seus quadros hematológicos estão sob controle e as radiolesões estabilizadas. No Hospital Geral de Goiânia (HGG), do Inamps, resta apenas um paciente internado com queimadura grave na perna, razão pela qual deverá submeter-se a uma cirurgia para recomposição dos tecidos lesados.

Com equipamentos, pessoal e indenizações, o governo do estado de Goiás gastou até agora cerca de dois bilhões de cruzados; só com alimentação e vestuário, a regional da Legião Brasileira de Assistência (LBA), em Goiânia, gastou

cinco milhões. Há ainda técnicos da CNEN trabalhando na cidade, pagos pelo governo, para a descontaminação definitiva das áreas afetadas.

O impacto que o acidente radiológico provocou na economia goiana é lamentável. Os comerciantes constataram uma queda significativa nas vendas de fim de ano: cerca de 23%, com relação ao mesmo período em 1986. Os prejuízos sofridos pela agropecuária, pelo comércio e pela indústria — de difícil avaliação — foram enormes. A discriminação e a rejeição selaram os produtos de todo o estado.

Debateu-se muito e ainda está em debate a questão do local escolhido pelas autoridades para enterrar os rejeitos radioativos gerados pelo acidente. Até 20 de dezembro último, havia sido acumulado um total de 3.000 m³ de lixo atômico em 1.219 caixas, 2.822 tambores e 14 *containers* no depósito provisório, localizado a aproximadamente 20 km da capital goiana. Estima-se que, após essa data, tenham sido recolhidos mais 100 tambores de lixo. No entanto, o destino definitivo de todo esse material ainda permanece uma incógnita. □

COMO SERÁ O AMANHÃ?

O acidente de Goiânia deixou transparecer não só o despreparo técnico do governo para enfrentar esse tipo de emergência. Tornou patente, também, a ignorância da população em relação à área nuclear. Alijada dos processos decisórios e mantida desinformada, ela não foi capaz de assimilar a avalanche de notícias e boatos sobre o acidente. O descaso e a inabilidade no esclarecimento público, por parte da CNEN, impôs dúvidas sobre a credibilidade dos fatos divulgados e o temor de que as reais dimensões do acidente estivessem sendo omitidas. A alternativa foi buscar apoio em áreas não diretamente responsáveis pelo episódio e por suas conseqüências, tentando driblar o sigilo erguido em torno do assunto.

Com a finalidade de amenizar essa situação, foram criadas duas comissões,

que posteriormente assumiram um caráter institucional. Uma delas, o Núcleo de Acompanhamento do Acidente Radiológico (NUAC), surgiu por iniciativa da Universidade Federal de Goiás (UFGO), em resposta às solicitações de esclarecimento que partiam dos órgãos públicos e da população em geral. A outra, a Fundação Leide das Neves Ferreira, foi constituída a partir de um grupo de controle de indivíduos expostos ao césio-137, formado pelo governo do estado com o principal objetivo de desenvolver um estudo epidemiológico.

A notícia da "cidade contaminada" provocou um impacto sócio-econômico significativo em Goiânia. Segundo o coordenador do NUAC, José Valter Pélico, o clima era de inquietação e desinformação. Os garis recusavam-se a recolher o lixo e algumas famílias estavam aban-

donando suas casas. Tornou-se necessário um trabalho que esclarecesse as dúvidas da população e lhe desse condições de avaliar os riscos e as dimensões do fato.

O núcleo propõe, como plano de trabalho, o desenvolvimento de programas de monitoração ambiental, de divulgação e avaliação do acidente; a realização de cursos para atualização e reciclagem na área de proteção radiológica e dosimetria; a organização de um acervo de referência e o acompanhamento da população irradiada.

Para alcançar esses objetivos, o NUAC fundamenta suas atividades na cooperação científica com outras instituições do país. Assim, além da UFGO, participam as universidades federais do Rio de Janeiro, de Minas Gerais, da Bahia, do Rio Grande do Sul, Fluminen-

se, a Universidade de Brasília, a Universidade do Estado do Rio de Janeiro e a Universidade de São Paulo.

A Fundação Leide estabeleceu seus estatutos enfocando principalmente a assistência médica e social. Solicitou, para tanto, a colaboração da equipe de médicos que acompanhou as vítimas em Goiânia, os doutores Alexandre Rodrigues de Oliveira, Carlos Eduardo Brandão e Rosana Farina.

O estudo epidemiológico a ser realizado pela fundação requer o acompanhamento prolongado das pessoas atingidas por doses elevadas de radiação e a escolha de um grupo de controle, para efeito de comparação. Exige, portanto, a realização periódica de exames clínicos, destinados a detectar alterações funcio-

nais ou orgânicas que venham a surgir nos primeiros anos pós-exposição. O plano define que, até o final do sexto mês pós-exposição, tais avaliações sejam realizadas semanalmente, periodicidade variável de acordo com o transcurso dos anos. Os exames freqüentes dos sistemas hematopoiético e imunológico permitirão, com significativa precocidade, surpreender lesões ou alterações pré-malignas, tornando mais eficaz a abordagem terapêutica.

O núcleo e a fundação possuem objetivos comuns. Ambos se propõem a divulgar conhecimentos, promover cursos, estudos e pesquisas, capacitar pessoal, controlar a radiação ambiental e reverter a imagem negativa que o acidente impôs a Goiânia. Apresentam também

diferenças. A fundação preocupa-se em planejar, organizar e supervisionar a assistência às pessoas envolvidas no acidente, bem como prestar assistência médica e social às vítimas e fazer suporte do controle de proteção radiológica, objetivos que não correspondem aos do núcleo. Segundo Pélico, a universidade não tem função fiscalizadora, nem a missão de fazer assistência social, o que não a impede de colocar sua competência e infra-estrutura à disposição da comunidade. De qualquer forma, conclui, "as funções do núcleo e da fundação deverão ser compatibilizadas, de forma que o conhecimento e a experiência de todos possam ser úteis no acompanhamento e avaliação das consequências do acidente". □

UNIDADES UTILIZADAS NO ESTUDO DAS RADIAÇÕES

A quantidade de material radioativo existente em uma fonte é avaliada por sua atividade, isto é, pelo número de átomos dessa fonte que se desintegram em cada segundo ou em cada minuto. Ela pode ser expressa por uma unidade chamada curie (Ci), que corresponde a $3,7 \times 10^{10}$ desintegrações por segundo ou $2,22 \times 10^{12}$ desintegrações por minuto. Atualmente, a unidade recomendada por convenções internacionais para medida da atividade da fonte é o becquerel (Bq), que corresponde a uma desintegração por segundo. Logo, 1 Ci vale $3,7 \times 10^{10}$ Bq.

Quando as radiações interagem com a matéria, elas provocam o arrancamento de elétrons dos átomos que a constituem, formando pares de íons, um positivo e outro negativo. Desta forma, é possível avaliar a quantidade de radiações à qual a matéria está exposta pela quantidade de cargas elétricas formada em cada quilograma, ou em cada grama, de matéria. Uma unidade de exposição ainda utilizada é o roentgen (R), igual à quantidade de radiação X ou gama que forma, em 1 kg de ar, uma quantidade de eletricidade, positiva ou negativa, igual a $2,58 \times 10^{-4}$ coulombs (C) de cada sinal. Hoje, as convenções internacionais recomendam

que a exposição seja expressa diretamente em C/kg, podendo-se calcular que 1 C/kg tenha valor aproximado de 3.876 R.

A unidade ainda empregada, mas que deve ser abandonada, para expressar a dose de radiação absorvida pela matéria é o rad (da expressão inglesa *radiation absorbed dose*), correspondente à quantidade de radiação que provoca a liberação, em 1 g de matéria, de 100 ergs — o erg, o joule (J) e o elétron-volt (eV) são unidades de energia e a relação entre eles é: $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$; $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-12} \text{ erg}$ ou $1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$. A unidade que substitui o rad é o gray (Gy), definido como a quantidade de radiação absorvida que provoca a liberação, em 1 kg de matéria, de uma energia igual a 1 joule. Logo, 1 Gy é igual a 100 rads.

Radiações de diferentes naturezas (raios X, partículas alfa, partículas beta etc.) têm capacidades também diferentes de lesar a matéria viva. Assim, se um mesmo efeito biológico resulta da absorção de 4 Gy de raios X ou de 0,2 Gy de partículas alfa, isso significa que os primeiros são vinte vezes menos eficientes que as segundas para desencadear esse efeito. Por essa razão, não basta conhecer a dose absorvida para prever a intensidade de um efeito biológico. É indispensável introduzir fatores de correção que levem em conta as di-

ferentes eficiências das radiações para a produção de lesões. Obtém-se, desta forma, a dose equivalente. A unidade anteriormente empregada, hoje já quase abandonada, para expressar essa dose era o rem (da expressão inglesa *roentgen equivalent man*), agora substituído pelo sievert (Sv). Quando a matéria viva absorve 1 Gy de raios X, a dose equivalente é de 1 Sv, que corresponde a 100 rems. Uma vez que os diversos tecidos que compõem o organismo têm diferentes radiosensibilidades, as doses equivalentes por eles recebidas podem ser corrigidas, o que leva à determinação da dose efetiva equivalente, também expressa em sievert ou em rem.

Múltiplos e submúltiplos de todas essas unidades também são empregados. Para representá-los, antepõem-se aos seus respectivos símbolos os seguintes: k (quilo, mil vezes maior), M (mega, um milhão de vezes maior), m (mili, mil vezes menor) e μ (micro, um milhão de vezes menor). Por exemplo: $1 \text{ keV} = 1.000 \text{ eV}$; $1 \text{ MeV} = 1.000.000 \text{ eV}$; $1 \text{ mrem} = 0,001 \text{ rem}$; $1 \mu\text{Ci} = 0,000001 \text{ Ci}$.

Roberto Alcântara Gomes

Instituto de Biologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro



Luis Trímano

Quando comecei a trabalhar na área nuclear — minha formação voltou-se para radioacidentes —, uma das coisas que mais me preocupava era a possibilidade de um acidente. Fiz estágios no exterior, onde presenciei algumas situações de emergência radiológica. Portanto, o episódio de Goiânia não me pegou de surpresa nem me envolveu na aura de medo

e desinformação que, em geral, cerca os acidentes nucleares, e pude responder prontamente à convocação da CNEN.

Viajei para Goiânia junto com colegas do IRD e do IPEN, no dia 30 de setembro. Ao chegar à cidade, ao Estádio Olímpico, encontramos uma situação absolutamente inusitada. Havia todo um aparato mobilizado e um movimento impressionante de pessoas. Os contaminados, os suspeitos de contaminação e os que tiveram suas casas interditadas haviam sido levados para lá. As pessoas estavam instaladas em barracas de campanha, no gramado do estádio.

Nós nos reunimos com as autoridades de saúde e defesa civil para definir

ALEXANDRE RODRIGUES DE OLIVEIRA

Divisão de Higiene das Radiações Ionizantes,
Área de Saúde do Instituto Nuclebrás de Seguridade Social

“Os onze pacientes estavam no fundo, todos sentados, juntos. Alguns apresentavam lesões graves e sentiam dor. Entre eles, havia duas crianças. Mostravam-se visivelmente atemorizados, angustiados, e sofriam.”

23/12/87

uma primeira estratégia. Na área médica, a prioridade era o atendimento às vítimas. Definimos as áreas de risco e o ritual que a partir daquele momento deveríamos seguir. Tomamos todas as precauções: usamos calça, bota, avental, máscara, gorro, luvas duplas e sapatos.

Acompanhados de dois físicos de radioproteção, entramos finalmente na enfermaria, o dr. Brandão e eu. Foi uma situação que nos chocou muito. Os onze pacientes estavam no fundo, todos sentados, juntos. Alguns apresentavam lesões graves e sentiam dor. Entre eles, havia duas crianças. Mostravam-se visivelmente atemorizados, angustiados, e so-

friam. Não tinham idéia do que estava acontecendo: de uma hora para outra ficaram doentes, foram internados, isolados e tratados como suspeitos. A cena me causou certa emoção. Naquele momento, achei fundamental nossa participação, nosso trabalho.

As vítimas hospitalizadas não tinham passado pelo Estádio Olímpico. Muitos ha-

viam procurado o HDT por iniciativa própria ou por indicação de médicos. Suspeitava-se de uma doença infecto-contagiosa, pelos sintomas similares e por atingir um grupo de pessoas ligadas por parentesco ou amizade. O diagnóstico definitivo só pôde ser feito depois da associação dos sintomas com a bomba entregue à Vigilância Sanitária por Maria Gabriela Ferreira.

Nesse primeiro momento, o tratamento das vítimas consistia, basicamente, em processos de descontaminação. A descontaminação externa não envolve muitos segredos. O importante é retirar da pele o pó, o resíduo. Para isso, o ideal é água e sabão. Eventualmente,

usa-se um detergente suave, que melhora as condições de eliminação das partículas gordurosas. A rotina consistiu em banhos e monitoração para verificar se o índice havia diminuído. Em alguns pacientes usamos vinagre, que é um ácido leve, de ação abrasiva suave. Usamos também resinas de troca iônica.

Na descontaminação interna, que chamamos decorporação, foi usado, principalmente, o ferrocianeto férrico ou azul-da-prússia. Não sabíamos que quantidade usar e se seria eficaz, porque tínhamos a informação de que só se descontamina nas primeiras 48 horas. Como não havia alternativa, resolvemos administrar o ferrocianeto, mesmo duas semanas após a contaminação. Aumentamos a dose diária e acompanhamos a eliminação do céσιο. Os resultados foram ótimos. Também utilizamos sauna e exercícios ergométricos para ajudar a decorporação através da sudorese.

O tratamento das lesões, das feridas provocadas pela radiação, não foi um trabalho simples. Elas são peculiares: no início, surge um eritema (vermelhidão) e uma sensação de coceira, formigamento ou dormência. Depois, surgem bolhas muito dolorosas. Nessa fase, começamos a fazer aplicações tópicas de medicamentos e imersões em bacias com substâncias analgésicas. Na terceira fase das lesões, quando as bolhas se rompem, utilizamos soluções e pastas à base de tanino, de óleo de babosa e substâncias antiinflamatórias. Desenvolvemos algumas técnicas novas, que resultaram em melhora e recuperação dos pacien-

tes. A fase crítica das feridas é quando se abrem e, a partir daí, a luta passa a ser a gerência dessas lesões.

Logo após nossa chegada a Goiânia, concluímos que se tratava de um acidente severo, de proporções importantes e novo para nós. Esse acidente requeria, no mínimo, a internação das vítimas em um ambiente hospitalar especializado. Sabíamos que o hospital do Inamps não era o local ideal para assistir aos irradiados, porque isso exige equipes presentes, laboratório funcionando 24 horas por dia, uma estrutura nova, limpa, especializada. Pelo contrário, vivemos condições adversas: um hospital geral que estava parado, em greve, sem ninguém para nos receber. Como havíamos deixado o Hospital Marcílio Dias, no Rio de Janeiro, de sobreaviso, naquela mesma madrugada decidimos que seis pacientes deveriam ser transferidos para lá.

A triagem foi feita com base na sintomatologia. O Devair, por exemplo, apresentava um eritema na face, o que significava uma dose alta na cabeça. A meu ver, ele seria o primeiro a ser removido para o Rio. A Leide apontava alta contaminação interna; os detectores, quando próximos dela, disparavam. O Ivo, o Ernesto e o Wagner acusavam radiolesões graves e o Roberto chegara ao HGG de maca, entorpecido e com tremor nas mãos. Os pacientes viajaram acompanhados pelo dr. Nelson Valverde. No Inamps, ainda ficaram cinco internados.

Na tarde do dia 1º de outubro, voltei ao Estádio Olímpico para conversar no-

vamente com todas as vítimas e fazer uma nova seleção. Naquele dia, o nosso núcleo totalizou 20 pessoas internadas, número que não foi superado, apesar da rotatividade dos pacientes. Começamos, também, a realizar exames hematológicos diários, criando uma rotina laboratorial. Passados dois dias de avaliação, enviamos mais quatro pacientes para o Marcílio Dias.

O acidente de Goiânia foi o primeiro teste para esse hospital. Um teste duro, difícil. Não posso dizer que o desempenho tenha sido ruim. Eu diria que, do ponto de vista do suporte médico, na fase crítica dos pacientes mais graves, o Marcílio Dias foi eficiente. A equipe de lá teve um trabalho sobre-humano, usando o máximo dos recursos disponíveis. Por outro lado, o acidente provou mais uma vez que, se não houver uma filosofia hospitalar preparada para atender a esse tipo de emergência, nada funciona. Quero dizer com isto que é preciso ter um conjunto de especialistas conscientes, preparados, treinados para gerenciar um acidente desse porte, incluindo pessoal de enfermagem e de laboratório, que lida com o material contaminado.

Respeitando as proporções, Goiânia significou para nós o que Tchernobyl foi para a União Soviética, com a diferença de que nós nunca tínhamos tido acidentes radioativos. Eu diria que foi o acidente mais grave até hoje, no mundo, envolvendo o céσιο e que atingiu indivíduos do público. Em Tchernobyl, as vítimas eram profissionais. □

Assim que fui informado do acidente, viajei para Goiânia. No Estádio Olímpico se encontravam cerca de 22 vítimas, distribuídas em oito barracas da Defesa Civil. Embora estivessem ali há mais de 24 horas, não tinham tido acesso a banhos porque a coordenação do estádio temia a contaminação do local.

Nossa primeira medida foi monitorar os acidentados e encaminhá-los para banhos com água e sabão, quantos fossem necessários. Fizemos, em seguida, exames clínicos e entrevistas e, ao fim de quase dez horas de trabalho, os pacientes estavam cadastrados. A equipe de

CARLOS EDUARDO BRANDÃO

Instituto de Radioproteção e Dosimetria,
Comissão Nacional de Energia Nuclear

“Usávamos máscaras, gorros, luvas, botas, macacões.
Quando, após algum tempo, pudemos circular
sem esses adereços, muitos exclamavam:
— Mas o senhor é tão diferente!”

14/1/88

assistência entrou em contato com o laboratório central da Secretaria de Saúde para que todos fossem submetidos a exames laboratoriais e hemogramas completos. As vítimas de maior gravidade já haviam sido internadas em al-

guns hospitais da cidade, mas a equipe decidiu reuni-las no HGG. Para mim, a experiência nesse episódio foi extremamente enriquecedora, não só do ponto de vista profissional, mas, sobretudo, a nível pessoal e humano. Há cinco anos venho lidando com ai-déticos, um grupo discriminado na sociedade, tanto quanto o foram as vítimas do céσιο, rejeitadas por toda uma população. Além desse ponto em comum, os acidentados, como os portadores de AIDS, apresentavam deficiência imunológica. Acredito que essa vivência anterior me tenha ajudado no

tratamento dos pacientes de Goiânia, no qual a contribuição dada por mim foi principalmente em clínica geral, área de minha formação. Só há pouco mais de um ano, na CNEN, comecei a trabalhar com higiene das radiações.

Todo médico está acostumado a ser visto pelo paciente como uma esperança, uma tábua de salvação, e os de Goiânia não fugiam a isso. No entanto, a reação deles às vezes diferia da habitual. Eram pessoas de nível sócio-econômico-cultural baixo, de repente vivendo aquela situação: confinadas durante semanas, sem contato com familiares ou amigos. Então reagiam de forma bastante peculiar, às vezes manifestando depressão, às vezes excitação. Escutávamos frases do tipo: "Ah, doutor, hoje o senhor não vai botar a mão em mim!" A frustração era enorme, eu nunca havia sido rejeitado assim por um paciente.

Outro dado curioso foi a surpresa que revelavam quando identificavam algum médico. Usávamos máscaras, gorros, luvas, botas, macacões. Quando, após algum tempo, pudemos circular na enfermaria sem esses adereços, muitos exclamavam: "Mas o senhor é tão diferente!"

Em relação à equipe médica, houve um entrosamento muito bom, cada um colaborando com o que aprendera em sua área específica. Infelizmente, não posso dizer o mesmo em relação à classe médica local, cuja participação foi dis-

creta, acredito que por desinformação. No entanto, embora mínima em quantidade, essa participação foi excelente em qualidade. No começo, a única pessoa que se juntou a nós foi a dra. Rosana Farina, que aos poucos foi "aliciando" outros profissionais de saúde para o nosso trabalho. Ao fim de três meses, tínhamos conseguido reunir um *staff* com médicos de diversas áreas, de bom nível, que vieram somar conhecimentos importantes.

Sob encomenda da Fundação Leide, o dr. Alexandre de Oliveira, a dra. Rosana e eu elaboramos um protocolo de acompanhamento das vítimas, que será realizado por médicos da região, de preferência aqueles que participaram da fase crítica do acidente, da luta diária na enfermaria, e que conviveram conosco durante quase dois meses.

O programa abrange três grupos. O primeiro é o das vítimas contaminadas por ingestão ou inalação de césio e as mais seriamente irradiadas. Estas terão acompanhamento a longo prazo, de cinco a dez anos, ou mais, se preciso. Durante esse período, serão submetidas a exames de urina, de sangue, radiografias e avaliação genética. O segundo grupo, chamado epidemiológico, abrangerá a população que habitava ou trabalhava dentro de um raio de 200 a 300 m a partir dos principais focos de contaminação. Esse levantamento será feito por amostragem e pressupõe também um

acompanhamento médico. O terceiro grupo, de controle, será formado por moradores de Goiânia que não tiveram nenhum contato com objetos ou pessoas contaminadas e que moram afastados da área do acidente.

Graças a esse trabalho, dentro de 25 a 30 anos, poderemos saber se os efeitos tardios da radiação são significativos ou não. Em outras palavras, haverá condições de avaliar se a incidência de câncer nos grupos expostos ao acidente terá sido, ou não, maior do que aquela que se observar no grupo de controle. Esse estudo é primordial. Mas, para tornar-se viável, vai requerer uma estrutura muito bem montada, com importantes recursos humanos, materiais e financeiros.

Outra razão para se fazer esse acompanhamento é a necessidade de avaliar a eficácia dos procedimentos terapêuticos usados em Goiânia. O que existe na literatura médica sobre acidentes com césio-137 não alcança a proporção que teve esse episódio. Tivemos o maior acidente do mundo com césio-137 e o segundo mais numeroso em óbitos, na área nuclear. A terapia empregada poderá ser avaliada a longo prazo, dentro de três, quatro, seis meses ou mais, e acredito que nossos depoimentos e os trabalhos que venhamos a publicar se tornem parâmetros de avaliação. Nossa experiência será um elemento de referência, principalmente do ponto de vista do tratamento médico das vítimas. □

A notícia do acidente chegou a Furnas através da CNEN, que solicitou a colaboração de nossa empresa nas áreas médica e de proteção radiológica. Furnas possui uma equipe preparada tanto para atividades de rotina da usina nuclear de Angra dos Reis como para casos emergenciais.

Quando cheguei a Goiânia, havia poucas pessoas no HGG e elas se mostraram temerosas de agir. Não contávamos com ninguém da enfermagem. Esse temor pode ser atribuído ao mito criado em torno do átomo e da energia nuclear, sempre vinculados a guerras, planos secretos, filmes e espionagem. Mesmo que os médicos não tivessem receio, poucos teriam condições de nos ajudar, pois não há nos currículos de medicina infor-

mações sobre contaminação, irradiação e proteção radiológica.

A primeira medida tomada em Goiânia foi fazer a triagem dos pacientes. Nessa seleção, a história clínica auxiliou bastante. Sabia-se que todos os internados no HGG se haviam contaminado. Algumas pessoas, vítimas de uma exposição localizada, tinham radiodermites e, pelo aspecto das lesões, tratava-se de altas doses localizadas de radiação. A

equipe médica considerou que todos os pacientes apresentavam um padrão misto de lesão: exposição de corpo inteiro e/ou localizada, contaminação interna e externa. Com base nesses elementos, escolhemos seis pacientes para serem removidos para o Hospital Naval Marcílio Dias, no Rio, considerado

o hospital de base, de referência da CNEN para emergências desse tipo.

Outra medida urgente foi a descontaminação. O processo é simples: para a pele, se os resultados com água morna e sabão neutro não forem positivos, utilizam-se outros produtos como dióxido de titânio (abrasivo), permanganato de potássio, métodos de sudorese e de lavagem mecânica e química. Se a contaminação estiver fixada numa ferida,

NELSON VALVERDE

Divisão de Medicina do Trabalho e Assistencial,
Departamento de Saúde, Furnas Centrais Elétricas

"Não existem na formação curricular de medicina informações ou esclarecimentos sobre contaminação, irradiação e proteção radiológica."

16/12/87

com uma taxa de dose alta, pode-se proceder a um desbridamento, uma limpeza cirúrgica. A descontaminação interna depende do material radioativo que foi incorporado. No caso do céσιο, utiliza-se o azul-da-prússia, que é uma mistura de ferro com ferrocianeto férrico, na proporção de quatro para três. O produto funciona como uma resina de troca iônica, um carregador de íons. O céσιο, habitualmente excretado pela urina, passa, com o azul-da-prússia, a ser eliminado também pelas fezes. Este medicamento não apresenta efeitos colaterais, desde que totalmente puro.

É importante destacar a diferença entre contaminação e irradiação. A primeira resulta de um contato direto com o conteúdo da fonte, à diferença da irradiação, que se dá à distância. No caso da Leide, a contaminação interna foi tão grande que o material radioativo por ela incorporado passou a irradiar sua própria medula óssea. Em vez de ocorrer de fora para dentro, a irradiação se deu de dentro para fora. A menina chegou a receber na medula uma dose diária de 20 a 25 rads, o que corresponde a 50 raios X de tórax por dia. Para se ter uma idéia, um trabalhador ocupacionalmente exposto à radiação pode receber em torno de 108 μ Ci de céσιο por ano. A Leide tomou 43.000 μ Ci em poucos dias! Um caso incompatível com a sobrevivência.

Alguns pacientes foram irradiados com 600, 700 rads, embora não tenham recebido essas doses de uma vez só, o que torna o quadro um pouco melhor. Mas, sabendo que uma dose única de 400 rads mata 50% das pessoas que a receberem, podemos deduzir que o desempenho dos médicos foi até razoável. As quatro vítimas fatais não puderam sobreviver em consequência da doença aguda da radiação. Tiveram uma depressão leucocitária muito grande e morreram de septicemia.

A estimativa das doses recebidas pelas vítimas foi feita por dosimetria biológica. Esta, no entanto, tem um fator de erro e é mais utilizada para avaliar a radiação instantânea. Ora, os irradiados de Goiânia não receberam uma dose única. Eles estiveram expostos durante cinco, seis, sete dias. Então, não se pode

calcular com exatidão a dose recebida por eles. Além do mais, as curvas de calibração utilizadas foram projetadas para o cobalto e não para o céσιο. Este é um outro fator de erro.

Há sempre a possibilidade de aparecimento de efeitos biológicos tardios, principalmente a cancerização. Essas pessoas, portanto, terão que ser examinadas, pelo menos uma ou duas vezes por ano, até o fim de suas vidas. Algumas lesões, provocadas por radiação beta, foram superficiais; estas estão resolvidas. Outras, produzidas por raios gama, são do tipo evolutivo. A lesão anatomopatológica é uma obstrução das arteríolas e aparece tardiamente. Ela poderá permanecer por mais dois anos, mas é autolimitada. Mesmo estacio-



Luis Trimano

nando, o tratamento é problemático. Se o tecido for vascularizado, será possível fazer um enxerto. De modo contrário, o local de ferimento deverá ser revestido com pele artificial. Ainda é cedo para saber o que vai acontecer.

Quanto à população vizinha ao local do acidente, acho inviável um estudo epidemiológico, que requer grupo de controle, noção das doses recebidas e, no mínimo, 30 anos para análise dos efeitos. Estes podem ser estimados com base em curvas de probabilidade: pode-se especular sobre a taxa de câncer, por exemplo. Agora, submeter uma população inteira, supostamente exposta à radiação, a exames durante 30 anos é um sacrifício desnecessário que, além do mais, não vai levar a lugar nenhum.

É praticamente impossível estabelecer um grupo de controle neste caso. O grupo deveria ser composto de uma população igualzinha à de Goiânia com uma única diferença: que não tivesse recebido radiação. Deveria ser pareado em raça, sexo, idade, religião, hábitos sociais. Não seria correto comparar, por exemplo, um fumante e um não fumante, já que o tabaco possui substâncias radioativas. Portanto, é um estudo extremamente complexo. Pesquisas realizadas em populações que moram em áreas de alta radiação na China, na URSS e mesmo no Brasil — o professor Eduardo Penna Franca fez esse levantamento em Guarapari — não conseguiram comprovar nada. Também em Hiroxima e Nagasaki não foram observadas alterações genéticas, o que não significa que não tenham ocorrido. É que elas são de cunho recessivo: podem aparecer apenas na terceira, na quarta, até na quinta geração.

Minha posição de que não se faça um estudo epidemiológico é meramente científica. Seria injusto chegar histericamente para a população de Goiânia e dizer que é preciso fazer análises citogenéticas, hemogramas etc. Além disso, não temos recursos humanos nem materiais para concretizá-lo. Mas não é uma questão de se economizar dinheiro. Apenas acredito que isso não irá levar a lugar nenhum. Só vai servir a pessoas que querem se promover às custas do Brasil. Outra coisa, no entanto, é o acompanhamento a longo prazo das pessoas acidentadas, o que, obviamente, deve ser feito.

O acidente foi algo lamentável. Agora, cabe a nós resgatar algum tipo de experiência. O episódio de Goiânia deve extrapolar as fronteiras da área nuclear. Se houvesse ocorrido um acidente químico, ao invés de radiológico, estaríamos preparados para atender à população? Garanto que não. A área nuclear teve até uma resposta superior à que seria dada a uma emergência química. Somos poucos na área, mas temos um certo treinamento. A universidade sempre esteve ausente; estuda a radiobiologia, mas não o atendimento específico. O Brasil entrou na área nuclear recentemente e não foi despertado para a radiopatologia. □

Quando a notícia do acidente de Goiânia veio a público, não pude perceber as proporções que ele alcançaria. O hospital do Inamps, na época, estava em greve. Interessada no acidente, participei de uma reunião de esclarecimento no próprio hospital, convocada pelos doutores Alexandre de Oliveira e Carlos Eduardo Bran-

dão. Após explicar o tratamento que deveria ser dado às vítimas e apresentar medidas de radioproteção e dosimetria, os médicos solicitaram a colaboração dos colegas goianos. Passei a fazer parte da equipe no dia 1º de outubro.

Não tive receio no contato com os contaminados. Se havia gente competente se expondo da forma que se expôs, não haveria razão para ter medo. Apesar disso e dos esclarecimentos sobre como trabalhar, a colaboração da classe médica de Goiânia foi mínima, para não dizer nula. No início, por desinformação ou medo, o pessoal se negava até a en-

“As doses de radiação recebidas pelas vítimas do acidente de Goiânia foram provavelmente inferiores àquelas calculadas pelos técnicos brasileiros e em nenhum caso devem ter ultrapassado 6 Gy. Além disso, os processos infecciosos que resultaram na morte de quatro pacientes foram mais graves do que se poderia esperar em relação a essas doses. Embora todo paciente irradiado sofra uma queda em sua capacidade imunológica, a morte de pelo menos dois deles poderia ter sido evitada se, logo no início, tivessem ficado em enfermarias absolutamente esterilizadas, especiais para esses casos, mas inexistentes no Brasil.”

Ao manifestar estas opiniões a *Ciência Hoje*, ao fim de um período de quase dois meses, durante os quais acompanhou o tratamento das vítimas em Goiânia e no Rio de Janeiro, o médico soviético Georgui Selidovkin criticou os procedimentos utilizados na dosimetria dos

ROSANA FARINA

Hospital Geral de Goiânia, Inamps

“No início, por desinformação ou medo, o pessoal se negava até a entrar no hospital. Não tiro a razão, cada um tem sua razão. Eu diria que esse é um problema goiano mesmo.”

4/12/87

trar no hospital. Não tiro a razão, cada um tem sua razão. Eu diria que esse é um problema goiano mesmo.

Abandonei praticamente todas as minhas atividades para cuidar das vítimas do césio. A equipe de atendimento foi bastante flutuante. Tentou-se fazer um rodízio durante os fins de semana, mantendo sempre um médico da equipe no Inamps. De maneira geral, quatro médicos trabalham efetivamente no HGG; um deles tem ido freqüentemente para a Febem, onde se faz também atendimento ambulatorial às vítimas do acidente. À diferença da classe médica, os

medicação básica empregada. Além de não apresentar efeitos colaterais, verificou-se que, quanto maior a dose ministrada, maior a excreção de césio pelas fezes.

Todas as previsões e teorias foram confirmadas ao se constatar a reação dos pacientes. Sabia-se que o azul-da-prússia era utilizado para descontaminação interna de césio, mas nunca tinha sido usado em tão altas doses. A prática correspondeu ao que tínhamos estudado, mas muita coisa nova pôde-se aprender desta experiência inédita no mundo. □

GEORGUI DMITRIVITCH SELIDOVKIN

Diretor do Departamento de Transplante de Medula Óssea do Hospital Geral nº 6 de Moscou (URSS)

“Não consegui me entender com os técnicos brasileiros.”

24/11/87

pacientes: “Não consegui me entender com os técnicos brasileiros”, disse. “Eles usaram uma curva de calibração que deve ter sido calculada para cobalto. É verdade que a curva de calibração para o césio não existe, mas eles deveriam fazê-la agora. Além disso, partiram do princípio de que tinha havido uma irradiação prolongada”. Sem dar ênfase ao problema da contaminação interna e à consequente auto-irradiação, Selidovkin mostrou-se convencido de que só uma das vítimas — a que guardou fragmentos das pastilhas de césio em seu quarto — sofreu irradiação por vários dias seguidos: as outras teriam recebido doses únicas.

de órgãos de vítimas autopsiadas, para que pudesse estudar em laboratórios de seu país os efeitos da contaminação por césio: “A CNEN e o diretor do hospital prometeram apenas me mandar depois esse material.” Elogiou, no entanto, a atuação de seus colegas brasileiros, sobretudo daqueles que trabalharam no HGG e planejaram o acompanhamento clínico dos pacientes. Selidovkin julgou desnecessário um estudo epidemiológico para a população de Goiânia que vive ou trabalha perto dos focos de contaminação: “Para essas pessoas não há problema nenhum, não mais do que existe para quem mora perto de um posto de gasolina.” □

enfermeiros são todos da cidade.

Não sentimos falta de medicamentos. Muitos foram obtidos via CNEN; outros, no próprio hospital. Houve carência em termos de auxílio de alguns especialistas, mas não faltou tratamento médico às vítimas. Podemos afirmar que foi correto o tratamento com o azul-da-prússia, a

A equipe responsável pela descontaminação química em Goiânia não tinha uma experiência específica nessa área. Nossa participação começou com a necessidade de analisar quimicamente o azul-da-prússia, que o Hospital Geral da Marinha estava desenvolvendo. Descontaminar revelou-

se um problema químico, e nós nos envolvemos na busca de soluções, esforçando-nos para preparar resinas e pastas para descontaminação externa dos pacientes e objetos.

A história do acidente dá uma idéia da amplitude da nossa tarefa: o "pó venenoso", contendo cloreto de cézio, foi manuseado, levado para casa em vidrinho, colocado no bolso, esfregado no corpo. Foi varrido para debaixo do armário, para a cozinha, para o quintal. Foi lavado pela chuva e carregado pelo vento. Mais grave ainda foi a sua disseminação pelas pessoas, que o deixavam onde colocavam as mãos, os pés ou onde se sentavam. Nos locais em que trabalhamos, era possível seguir o rastro da contaminação, nos bancos, mesas, torneiras, azulejos e outros objetos. Era possível traçar o caminho do cézio e reconstituir o trajeto das pessoas contaminadas. Iniciamos o trabalho justamente por esses focos secundários, locais públicos com menor grau de contaminação, deixando os pontos "quentes" para o final.

Assim como no tratamento médico das vítimas, a substância química mais utilizada na descontaminação ambiental foi o azul-da-prússia. Mas a variedade de materiais contaminados era tão grande, que apelamos para tudo. Chegamos mesmo a desenvolver um certo *know-how*. Se fôssemos nos basear apenas na literatura, levaríamos dois anos — e não dois meses — para descontaminar Goiânia. O conhecimento existente, além de limitado, era teórico. Não se previu, por exemplo, a quantidade e a variedade de objetos que poderiam ser contaminados pelo suor.

Soubemos que, para descontaminar a pele dos pacientes, os médicos estavam usando pomadas à base de lanolina e óxido titânico. Elas funcionam como uma cola que, ao ser removida, limpa a pele, descamando-a. Essas pomadas são indicadas para eliminar a contaminação

JOÃO ALFREDO MEDEIROS

Laboratório de Análise Mineral,
Instituto de Radioproteção e Dosimetria

"Procurar cloreto de cézio em Goiânia era a mesma coisa que procurar um punhado de sal perdido em algum quintal da cidade."

28/12/87

com pó de qualquer natureza. Para a descontaminação de cézio-137, sugerimos a utilização de ação química, ao invés de mecânica. Preparamos resinas catiônicas sintéticas e as carregamos com azul-da-prússia. Como não podem ser aplicadas a seco, preparamos géis, cremes e pastas d'água para aplicá-las sobre a pele dos pacientes. Houve resistência da parte médica em utilizá-las. É verdade que, sem controle de qualidade, o azul-da-prússia pode ser tóxico. Mas é preferível, à toxicidade do cézio, a de uma resina, que é mínima. Quando finalmente foram utilizadas nos pacientes, as pomadas deram bons resultados.

Para descontaminar cimento e concreto, usamos misturas de ácidos com alumínio e azul-da-prússia, combinando-os com uma ação mecânica, escovas manuais ou elétricas e, às vezes, lixadeiras. Para azulejos de cozinhas e banheiros, escolhemos o ácido fluorídrico, que remove o cézio com maior rapidez. Locais amplos com grandes áreas de lajotas cerâmicas, como um banheiro inteiro ou uma enfermaria de hospital, exigiram o uso de lixadeiras industriais. Pisos encrustedos e objetos que acumulam gordura foram lavados com soda cáustica e detergente ou com soluções não aquosas de ácido clorídrico.

É importante avaliar o que realmente precisa ser descontaminado. Devem ser levados em conta os custos e as dificuldades com mão-de-obra, transporte e armazenagem de tanto lixo. Também tem que ser colocado na balança o valor sentimental que as pessoas atribuem a seus pertences. Nem tudo deve ser destinado aos tambores de lixo radioativo.

O trabalho de descontaminação foi duro, principalmente pelos riscos que envolveu. Procurar cloreto de cézio em Goiânia era a mesma coisa que procurar um punhado de sal perdido em algum quintal da cidade. O cloreto de cézio é muito solúvel em água; ao primeiro contato com a umidade, se dissolve e di-

funde. Por outro lado, fica facilmente retido em diversos materiais. Em Goiânia, na maior parte dos casos, foi retido por minerais presentes no barro dos quintais.

O local de maior contaminação foi a casa 68, na rua 57, em cujo quintal foi aberta a cápsula. Quando a equipe da CNEN chegou, o cézio já es-

tava completamente espalhado. Foi uma guerra. Lá registramos o ponto mais ativo. Foi o último e mais perigoso local a ser descontaminado. As taxas de exposição à radiação eram muito altas, obrigando os técnicos a permanecer no local apenas alguns segundos. Um pequeno erro poderia expor as pessoas a doses comprometedoras. Planejamos a descontaminação química de dois pontos críticos que não estavam blindados, a não ser com lençóis de chumbo. Aplicamos na argila soluções ácidas de alumínio. Foi a melhor maneira de soltar o cézio da argila e do cimento. Utilizamos toalhas impregnadas com azul-da-prússia para descontaminar o solo. Depois do ataque químico ao solo, que reduziu muito a taxa de exposição, pudemos retirar as mangueiras e as partes concretadas. As mangueiras foram removidas com muita dificuldade, arrancando um dente da maior retroescavadeira e quebrando um parafuso de quase uma polegada de diâmetro. O concreto também foi todo retirado.

Todo esse trabalho foi feito debaixo dos maiores aguaceiros que já vi, verdadeiros dilúvios. O risco maior era lidar com a lama contaminada que as máquinas carregavam para a rua. Cerca de 99% da terra mais contaminada estavam nas camadas superficiais, que apresentavam de 100 a 150 roentgens/hora de taxa de exposição. Entrávamos no local correndo, para avaliar a área a ser descontaminada. Em operações de segundos, recebíamos doses de 50 a 100 mrems. A gente podia, numa operação daquelas, levar uma dose comprometedor de radiação. Estabelecemos para nossa exposição um limite diário de 150 mrems, considerado alto. Mas era um trabalho que precisava ser feito. Tratava-se de uma emergência. Eu, por exemplo, levei uma dose alta, mas que não equivale a duas radiografias de coluna.

Encerramos a descontaminação na semana do Natal. Já não há locais que

ofereçam riscos, mas uma limpeza fina ainda tem que ser feita. Teremos que rastrear rua por rua, casa por casa, porta por porta. O trabalho de descontaminação requer paciência, muita paciência.

O meio científico cometeu enganos terríveis de avaliação do acidente, além de uma omissão inaceitável e imperdoável. Vi a universidade cruzando os braços, fazendo, à distância, críticas sobre o trabalho que estávamos reali-

zando em Goiânia. Sinto-me à vontade para falar disso porque faço parte do meio acadêmico; leciono em universidade há vários anos.

Trabalhei na indústria, trabalho na CNEN, faço pesquisa e oriento teses de pós-graduação. Posso afirmar que a omissão do meio acadêmico foi enorme, sempre com a desculpa de que se tratava da área nuclear. Eu dizia aos meus colegas: mas isso é química de césio! Se

os cientistas tivessem avaliado melhor, sua contribuição seria maior e o césio não teria se alastrado nessas proporções ou, pelo menos, a descontaminação teria sido menos trabalhosa. Além de uma dose extrema de paciência, esse trabalho exige que não se pense no título de mestre ou doutor como um escudo para não se usar as mãos. A descontaminação consiste, basicamente, num trabalho braçal. □

Estive em Goiânia em duas oportunidades. Na primeira, em nome do reitor da USP, junto com os professores Celso Orsini e Otaviano Hele-
ne, do grupo de estudos de radiocontaminação ambiental. Fomos oferecer os préstimos da instituição ao governo estadual, à Universidade Federal de Goiás (UFGO) e à CNEN. Isso aconteceu por volta do dia

19 de outubro. Fiquei três dias na cidade, período em que pude observar fenômenos relativos à absorção do césio pelas raízes das mangueiras. Junto com técnicos da CNEN, recolhi amostras de flores, frutos e folhas, analisadas no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), em Piracicaba (SP). Constatada a contaminação, telefonei ao professor José de Júlio Rozental, da CNEN, e o alertei para o fato de que o material radioativo estava se espalhando pelo solo, em torno do foco principal.

Até aquele momento, não tinha havido preocupação com a disseminação através das plantas. Só haviam pensado na disseminação do césio pelo solo e na possibilidade de contaminação do lençol freático. Após o alerta, o IRD deslocou para Goiânia equipes de monitoração e controle ambiental, quando então se providenciou, a partir de uma sugestão minha, a poda das árvores frutíferas ao redor do foco principal. Era importante evitar que pessoas, principalmente crianças, consumissem aqueles frutos.

Voltei a Goiânia 90 dias após o ocorrido para discutir os problemas de contaminação e descontaminação com a equipe encarregada da monitoração ambiental. Fiquei na cidade durante uma semana e pudemos discutir os processos de disseminação do césio que estavam ocorrendo. Encontrei profissionais de

EPAMINONDAS S. B. FERRAZ

Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo

“A CNEN incentivava o trabalho das universidades em áreas de aplicação pacífica da energia nuclear. Com o tempo, o apoio foi diminuindo e os projetos relativos a aplicações médicas, agrônômicas e industriais foram desaparecendo.”

02/02/88

praticamente todas as áreas do conhecimento colaborando, alguns espontaneamente, outros convocados pela CNEN. A comunidade científica universitária teve uma participação bastante efetiva nos trabalhos desenvolvidos. Diria que essa colaboração poderia ter sido mais intensa, mas, de qualquer maneira, foi muito importante. Não foi mais efetiva em razão da falta de entrosamento entre a CNEN e a universidade, cujo relacionamento vem se deteriorando nos últimos anos. À medida que o tempo passa, maior se torna a distância entre os respectivos interesses. Anos atrás, havia grande cooperação. A CNEN incentivava o trabalho das universidades em áreas de aplicação pacífica da energia nuclear. Com o tempo, o apoio foi diminuindo e os projetos relativos a aplicações médicas, agrônômicas e industriais foram desaparecendo. Hoje, o número de pessoas que trabalha na área nuclear é muito menor do que há dez anos. Isso é fruto de uma política de distanciamento, de isolamento.

Foram feitas críticas à UFGO, cuja situação reflete um quadro geral: excetuando-se alguns centros mais evoluídos, a universidade brasileira está limitada a ensinar um currículo mínimo, imposto, sem programas efetivos de treinamento, desenvolvimento e pesquisa; além de que o professor universitário

não é incentivado a desenvolver seu trabalho. Tudo isso é reflexo de uma política educacional errada. Acredito que o medo e a desinformação tenham colaborado para que a universidade se mostrasse omissa. O medo da radiação não é privilégio das camadas mais humildes, das pessoas ignorantes. No caso do leite radioativo e do episódio de Goiânia,

colegas de nível universitário, até mesmo alguns da área de física, mostraram-se temerosos e desinformados com relação à radioatividade.

A informação sobre o acidente radiológico foi mal conduzida pela imprensa, pelo governo, por todos. Em casos como esse, a divulgação de dados deve ser precisa e confiável. Não se pode querer enganar uma população inteira. Tanto tecnicamente quanto em relação à responsabilidade pelas notícias, a imprensa estava despreparada para tratar de assuntos dessa magnitude. Por outro lado, o governo tinha obrigação de tornar público o que estava acontecendo. Houve muitas falhas, principalmente notícias falsas e porta-vozes que queriam se promover politicamente.

Apesar das limitações, principalmente no que diz respeito ao número de técnicos e aos equipamentos, não tenho dúvidas de que fizemos um bom trabalho. Os focos principais foram removidos, e o material recolhido está confinado no depósito transitório. A contaminação do ambiente está num nível normal, abaixo da radiação natural de algumas áreas do Brasil e da encontrada em locais próximos a Tchernobyl. Poderíamos ter feito um trabalho ainda melhor, se tivéssemos podido nos prevenir, planejar, convocar as pessoas corretas. Mas fomos apanhados de surpresa. □

SBF INTERROGA CNEN

No dia 16 de novembro de 1987, a Comissão de Acompanhamento da Questão Nuclear, da Sociedade Brasileira de Física (SBF), encaminhou à CNEN um questionário relativo ao episódio de Goiânia. Só dois meses mais tarde, em 19 de janeiro, o presidente do órgão, Rex Nazaré, apresentou a comissão as respostas que transcrevemos abaixo.

— *Qual a quantidade (em termos de massa) que foi efetivamente liberada, admitindo-se que se conhece com precisão a atividade específica e a massa inicial da fonte de céσιο-137?*

— O material constitutivo da fonte, por ocasião de sua fabricação, no ano de 1971, compunha-se de cloreto de céσιο-137 (28 g) mais um aglutinante (63 g). A fonte, portanto, tinha uma massa total de 91 g, densidade de 3 g/cm³ e uma atividade de 2.000 Ci. Na época de sua abertura (setembro/87), a fonte apresentava as seguintes características:

- atividade (set/87): 1.375 Ci
- massa total: 91 g
- massa de CsCl: 19,26 g
- atividade específica: 15,11 Ci/g

Noventa por cento do conteúdo total da fonte de céσιο-137, isto é, cerca de 17 g, foram efetivamente liberados em Goiânia.

— *Qual a data exata da liberação de céσιο-137 em Goiânia?*

— Segundo o relatório do inquérito promovido pelo Departamento de Polícia Federal, a fonte foi indevidamente removida, presumivelmente entre os dias 13 e 14 de setembro de 1987. O mesmo documento indica que a liberação de céσιο-137 ocorreu após essa data.

— *Qual o intervalo de tempo decorrido entre a liberação de céσιο-137 e a verificação da existência de pessoas contaminadas por céσιο-137 em Goiânia?*

— O primeiro diagnóstico efetivo de pessoas irradiadas/contaminadas pelo céσιο-137, efetuado pela Secretaria Estadual de Saúde do Estado de Goiás, ocorreu em 29 de setembro, ou seja, aproximadamente 15 dias depois. Neste mesmo dia, a CNEN foi informada sobre a contaminação e enviou ao local o físico José de Júlio Rozental, diretor do Departamento de Instalações Nucleares, acompanhado de uma equipe para identificação inicial da situação.

— *Quais os vetores conhecidos e/ou presumidos (envolvendo pessoas, animais, ventos, chuvas etc.) que contribuíram e ainda estão contribuindo para o agravamento do episódio da liberação de 1,5 kCi do céσιο-137 em Goiânia?*

— Faz-se conveniente, necessário mesmo, precisar a amplitude do acidente de Goiânia em termos geográficos. Os focos de contaminação se concentraram nas áreas em que houve manipulação e guarda do material radioativo, como os locais de trabalho (ferro-velho) e as residências das vítimas. Alguns pontos adjacentes a estes focos foram contaminados por mecanismos relacionados ao comportamento das pessoas inicialmente contaminadas, acrescidos, em menor grau, de processos decorrentes das condições ambientais.

A cápsula de céσιο-137 continha cloreto de céσιο, fixado em substâncias aglutinantes, em forma de pó altamente solúvel em água. Esta propriedade química do cloreto de céσιο contribuiu substancialmente para a disseminação nas áreas afetadas. Entretanto, o maior veículo de disseminação da contaminação foram as pessoas diretamente relacionadas ou envolvidas na manipu-

lação e guarda do material radioativo. Estas pessoas contaminaram ambientes que, por sua vez, contaminaram novas pessoas, surgindo a partir de então outros vetores de contaminação: solo, animais e plantas.

Dado positivo, nessas circunstâncias, foi que o solo dos locais próximos aos focos continha grande concentração de argila, favorecendo fortemente a retenção de íons de céσιο. Contudo, esta propriedade positiva algumas vezes sofria reversão, em razão de chuvas, soluções salinas ou ácidas, absorção por raízes de plantas e por microorganismos do solo.

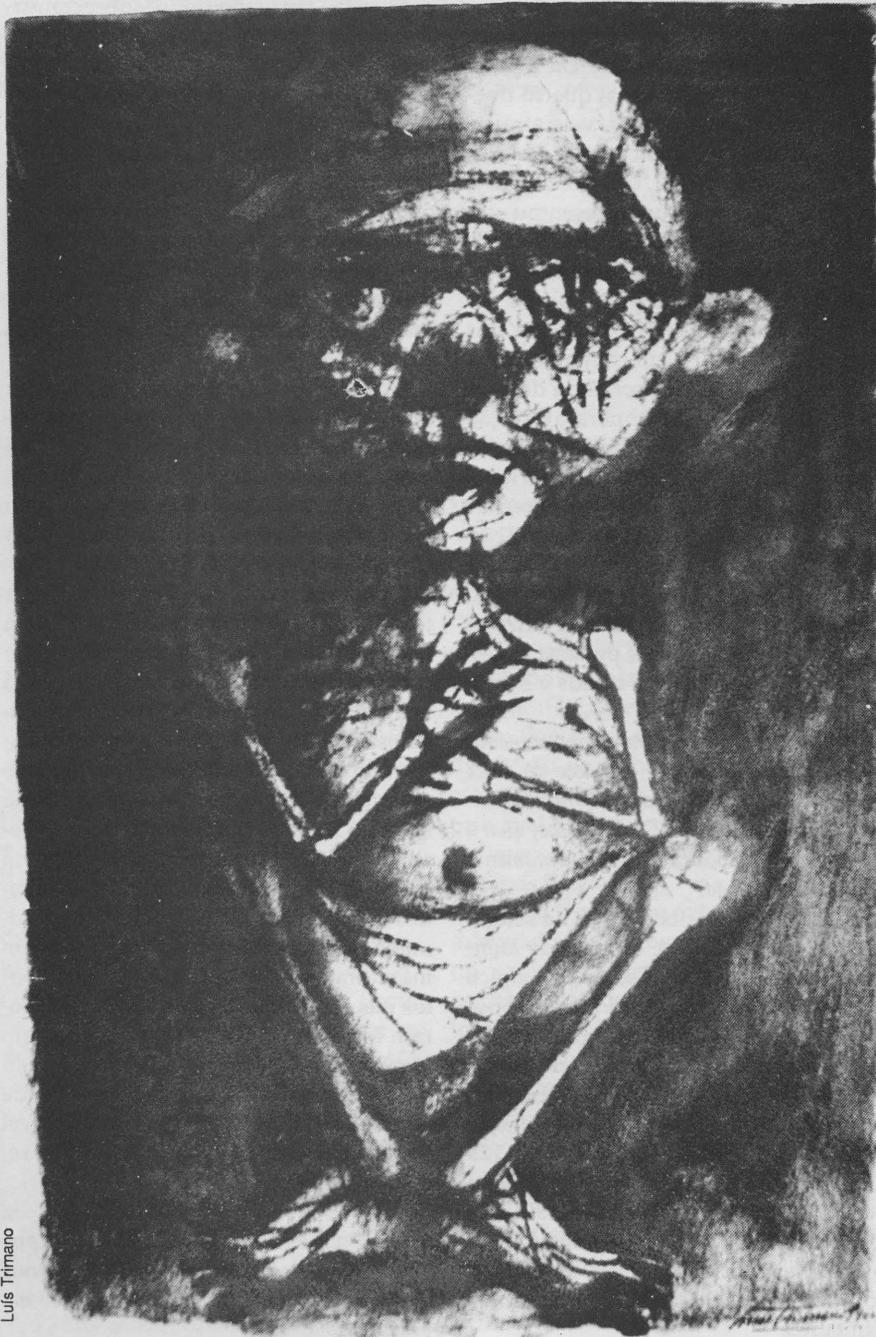
As chuvas contribuíram para disseminar o céσιο presente no solo através de dispersão radial pelo arraste na forma de lama, e os ventos favoreceram a disseminação dentro dos locais afetados, geralmente delimitados por muros e paredes de casas contíguas. Entretanto, nenhuma anomalia significativa foi detectada fora de um raio de 50 m dos focos principais.

Animais, principalmente os domésticos, que tiveram contato com os locais e as pessoas contaminadas, constituíram-se, também, em veículos de disseminação da contaminação. Foram identificados e sacrificados.

Em menor grau de importância, plantas de grande porte concorreram para uma disseminação mais extensa no solo, em virtude, provavelmente, da ramificação de raízes, que, por formar um vasto sistema de capilares, modificou o comportamento de migração do céσιο no solo. No atual estágio do trabalho, após a eliminação dos focos de contaminação, minimizou-se qualquer possibilidade de risco, de qualquer natureza.

— *Há contaminação definitiva de plantas, verduras, ervas, frutos e raízes comestíveis? Se há, quais as providências que foram tomadas para que alimentos contaminados não afetem a saúde da população?*

— Observou-se que tal efeito, quanto aos vegetais, esteve apenas e rigorosamente circunscrito a um raio de 50 m de alguns dos principais focos de contaminação, limitando-se a um reduzido número de fruteiras e hortaliças domésticas. Esses vegetais foram imediatamente localizados, identificados, mensurados e eliminados.



Acresce que, por extrema cautela da CNEN, foram feitas amostras no comércio hortifrutigranjeiro do local e da periferia, não se constatando qualquer disseminação do céσιο-137.

— Houve contaminação de solos aráveis ou cultiváveis, como hortas ou pequenos sítios?

— Uma das principais preocupações da CNEN dirigiu-se exatamente para a prospecção de solos contaminados. À exceção dos poucos locais cuja relação foi explícita e amplamente divulgada, nenhum outro apresentou indícios de contaminação. No entanto, para a minimização de riscos, além das pomenori-

zadas medições de superfície, foi efetuada a aerorradiometria de 67 milhões de metros quadrados, na cidade de Goiânia e em sua periferia, descartando-se toda e qualquer ocorrência residual de novos pontos.

— Se houve, quais as providências tomadas para que solos contaminados não venham a ser utilizados no futuro para a produção de alimentos?

— Os solos dos principais focos de contaminação foram retirados e, posteriormente, substituídos, o que impedirá a contaminação da futura produção de alimentos nesses locais. Nas áreas em que apresentaram contaminação secun-

dária e com níveis de exposição externa não significativa, os solos foram regados com solução de fertilizantes, visando-se criar mecanismos naturais de competição. Não persiste, pois, risco de uso indevido desses solos, carecendo-se, no entanto, de contínuo acompanhamento cauteloso, por parte dos órgãos oficiais responsáveis, cuidado esse incorporado no programa de monitoração do meio ambiente conduzido pela CNEN em conjunto com a Secretaria Estadual de Meio Ambiente de Goiás.

— Houve contaminação de águas superficiais? Se houve, quais as providências tomadas para a descontaminação das águas e sedimentos, ou para a sua utilização, caso a descontaminação não seja possível?

— Até o momento, os valores observados em águas de superfície (córregos e rios) foram sempre inferiores ao limite de detecção de 1,0 Bq/litro.

— Houve contaminação do lençol freático? Se houve, quais as providências que estão sendo tomadas para minorar os efeitos futuros dessa contaminação?

— Segundo os dados disponíveis nos serviços de geotécnica e compilados na Universidade Federal de Goiás, o lençol freático nas áreas afetadas (posteriormente removidas) situa-se muito abaixo das profundidades identificadas com contaminação. Em consequência, não houve contaminação do referido lençol freático. Em dois poços observou-se a presença de céσιο-137 em níveis variáveis e sempre próximos ao limite de detecção dos instrumentos de medida utilizados: 1 Bq/litro, em razão da imersão de materiais ligeiramente contaminados. Todos os demais poços próximos aos principais focos foram analisados, estando livres de contaminação na época, mas mantidos sob controle.

A medida preventiva foi a retirada e substituição dos solos contaminados, não cabendo, no momento, face aos resultados obtidos, nenhuma providência corretiva adicional.

— Está havendo ressuspensão de céσιο-137 do solo para as plantas provocada pela chuva e/ou vento? Se está, quais as providências tomadas para evitar ou minorar a contaminação das plantas no futuro?

— Pôde-se observar a contaminação de algumas fruteiras numa área circunscrita a um raio de 50 m dos principais focos de contaminação. Removendo-se as fruteiras e os solos e substituindo-se estes, elimina-se a propagação do problema.

— *Quais as doses externas recebidas por pessoas não contaminadas interna ou superficialmente, mas que estiveram expostas à fonte não blindada? Quantas pessoas foram presumivelmente irradiadas externamente? Dentre essas, qual a percentagem já localizada para tratamento?*

— Para possibilitar uma melhor análise, face ao cenário do acidente, juntamos as perguntas de forma a permitir total compreensão das respostas.

Sete locais foram identificados como focos principais de contaminação: rua 57, nº 68 (casa do Roberto); rua 63, nº 19 - fundos (casa do Ovídio); rua 26 A e rua 15 (ferro-velho I - Devair); rua 6, quadra Q, lote 18 (ferro-velho II - Ivo); rua P 19, lote 4 (ferro-velho III - Joaquim); rua 17 A, quadra 70 A, lote 26 b (casa da fossa - Ernesto Fabiano); rua 16 A nº 792 (Vigilância Sanitária).

O levantamento radiométrico e as estimativas de exposição externa indicaram que:

(a) *Vizinhança* - Na residência dos fundos, à esquerda da rua 57 nº 68, obteve-se estimativa de dose externa entre 8 e 12 rads (considerando o período decorrido entre a abertura da fonte e o isolamento da área). Nesta residência habitavam cinco pessoas. Nas demais residências contíguas da rua 57, as doses externas integradas foram estimadas entre 80 mrad e 1,2 rad. Nas vizinhanças dos demais focos principais, as doses externas integradas foram estimadas entre 20 e 900 mrad.

(b) *Nas ruas* - Durante esse período, a estimativa de dose integrada nas ruas situou-se entre 112 mrad e 173 mrad.

(c) *Transporte da fonte* - A reconstituição sumária do cenário do ônibus sem passageiros, em pé, onde foi transportada parte da fonte do ferro-velho localizado na rua P 19, lote 4, para a Vigilância Sanitária, situada na rua 16 A, permite estimar que a dose máxima recebida por um passageiro hipotético que estivesse ao lado da fonte, nas condições de geometria mais desfavoráveis, durante o período de 15 minutos, que foi o tempo máximo estimado de trajeto, não excedeu 30 rads nos seus membros inferiores. A uma distância de 1,40 m, este valor cai para 4 rads sem considerar nenhuma blindagem adicional do feixe.

(d) *Divisão de Vigilância Sanitária (DVS)* - Investigações foram realizadas para determinar os funcionários da DVS que pudessem ter tido algum contato direto ou estar nas cercanias do local onde parte da fonte foi entregue no dia 28 de setembro.

A partir dessas informações, chegou-se à conclusão de que várias pessoas poderiam ter sido expostas. Da avaliação dessas pessoas, somente quatro tiveram as suas doses mensuráveis através do exame de citogenética, com valores respectivamente de 0,2, 0,3, 0,5 e 1,3 Gy, sendo que a única que apresentou um valor de contaminação interna detectável atingiu 20 μ Ci. Estas pessoas estão sendo acompanhadas pela equipe de médicos especialistas em medicina das radiações, da CNEN, em conjunto com a equipe de médicos da Secretaria de Saúde do Estado de Goiás, para avaliação clínico-laboratorial periódica.

Dessa forma, um número inferior a mil pessoas teve exposições externas acima daquela oriunda da radiação natural. Uma reconstituição preliminar desses cenários baseada no inventário da fonte nesses locais permite afirmar que mais de 97% destas pessoas foram expostas a doses entre 20 mrad e 1 rad.

— *Quantas pessoas foram contaminadas externamente a partir do contacto do CICs com a pele? Quantas pessoas foram contaminadas internamente? Dentre essas, qual a percentagem já localizada para tratamento de descontaminação?*

— Durante o período de 30 de setembro a 22 de dezembro, o posto de atendimento da CNEN no Estádio Olímpico monitorou 112.800 pessoas. Desta população, somente 249 foram identificadas com taxas de dose indicativas de contaminação externa ou interna. Dentre elas, 120 pessoas apresentaram contaminação somente no vestuário e calçados; 129 pessoas apresentaram contaminação interna e externa. As medidas efetuadas nos exames de urina e no contador de corpo inteiro instalado pela CNEN em Goiânia apresentaram os seguintes resultados:

Número de pessoas	Doses comprometidas (70 anos - Sv)
45	< 0,005
42	0,005 - 0,05
33	0,05 - 1,0
09	> 1,0

Deste último grupo, 49 foram internadas. Dessas, 21 exigiram atendimento médico intensivo. Dos pacientes, dez apresentaram estado grave com complicações no quadro clínico e radiodermite, tendo ocorrido quatro óbitos e a amputação do antebraço de um paciente. As demais pessoas foram liberadas após tratamento de descontaminação interna

e externa, permanecendo sob acompanhamento médico.

— *Qual a fração da fonte que ainda não foi localizada?*

— Vários foram os mecanismos através dos quais se localizaram os pontos onde havia contaminação. Dentre eles, informações das pessoas diretamente envolvidas no acidente; levantamento aerorradiométrico da cidade e periferia; levantamento radiométrico terrestre da cidade.

Através de informações de pessoas envolvidas, os focos principais e a maioria dos locais indiretamente contaminados foram localizados na fase inicial. Com a realização de um levantamento radiométrico, com uso de helicóptero (sensibilidade de 200 mR/h), foi possível detectar mais um único local cuja taxa de exposição, na superfície, estava na faixa de 1 R/h; conseqüentemente constatou-se que os principais focos já haviam sido isolados. Não obstante, ainda está sendo realizado um levantamento radiométrico terrestre com um sistema de medidas cuja sensibilidade se situa na faixa de microrroentgen por hora (nível de radiação natural) montado em veículo automóvel. Com os resultados iniciais desse levantamento (aproximadamente 30% da cidade já foi assim monitorada), somente cerca de dez pontos nas cercanias dos focos principais foram localizados em calçadas e ruas com níveis de exposição na faixa de 0,05 mR/h a 0,4 mR/h, estando em fase de eliminação. Essa avaliação é compatível com o inventário das atividades dos rejeitos recuperados.

— *Qual o prazo esperado para uma primeira etapa de descontaminação dos locais contaminados para habitação, negócios ou outras atividades?*

— A descontaminação está, a rigor, concluída. Os principais locais com focos de contaminação já foram devidamente descontaminados e/ou removidos. O tempo envolvido neste processo dependeu do grau de contaminação e da complexidade do ambiente considerado.

Atualmente, os locais anteriormente interditados podem ser habitados normalmente. A título de absoluto rigor, algumas residências serão submetidas a limpeza fina, muito embora não estejam oferecendo riscos aos habitantes e aos profissionais envolvidos em tal operação, pois as doses, em nenhum local, excedem aos valores encontrados em Guarapari.

— Qual o prazo necessário para a descontaminação dos locais atingidos para que voltem a ter níveis de radioatividade considerados normais ou equivalentes aos das áreas de radioatividade natural, como por exemplo Guarapari?

— Os trabalhos de descontaminação realizados em Goiânia foram conduzidos no sentido de reduzir os níveis de radiação a valores da mesma magnitude que os de ambientes naturais não contaminados pela ação humana.

Podemos considerar que hoje as taxas de exposição expressa em mR/h encontradas nos locais atingidos em Goiânia são inferiores às de Guarapari ou de Poços de Caldas, o que constitui situação excepcionalmente positiva.

— Qual o número de técnicos contaminados e/ou expostos a doses de radiação aci-

ma dos limites aceitos nacional e internacionalmente?

— De acordo com as normas e procedimentos adotados no país, em consonância com as normas internacionais, foram utilizados os seguintes limites de exposição ocupacional (limite para o trabalhador envolvido com material radioativo): limite diário = 150 mrad; limite semanal = 500 mrad; limite mensal = 1.000 mrad; limite trimestral = 3.000 mrad.

No período de 30 de setembro a 22 de dezembro de 1987, estiveram envolvidos cerca de 500 técnicos. Em algumas etapas, consideradas de maior risco, tais como as operações realizadas na casa nº 68 da rua 57 — que compreenderam levantamento dos pontos "quentes", retirada dos mesmos e posterior distribuição em caixas especiais para transporte

até o depósito de rejeitos —, somente 3% de todo o pessoal envolvido atingiu o limite derivado diário. Entretanto, os limites derivados semanal e mensal não foram alcançados em nenhuma das operações; outrossim, não foi constatado nenhum caso de contaminação externa ou interna dos técnicos.

Os técnicos utilizaram como rotina os seguintes sistemas dosimétricos: (1) filme dosimétrico; (2) dosímetro TLD - anel; (3) canetas dosimétricas de 0 - 200 mR, 0 - 500 mR e 0 - 5 R; (4) monitor individual com alarme sonoro; (5) contador de corpo inteiro.

Os itens 1, 2 e 5 eram analisados todas as vezes em que os técnicos retornavam às suas cidades de origem para repouso. O item 3 era verificado continuamente a cada operação e registrado o valor integral no final do dia. □

TUDO SERÁ COMO ANTES

Luiz Pinguelli Rosa, diretor da Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Engenharia (Coppe), da UFRJ, e integrante da Comissão de Acompanhamento da Questão Nuclear da Sociedade Brasileira de Física (SBF), foi procurado por *Ciência Hoje* para avaliar as respostas fornecidas pela CNEN às indagações da SBF. Para Pinguelli, "nada vai mudar; depois do impacto tudo fica como antes".

— Qual sua opinião sobre o fato de as respostas da CNEN terem sido dadas dois meses depois da apresentação do questionário?

— Considero absurda essa demora para as respostas. Eles esperaram o momento em que não haveria repercussão, quando o acidente já estivesse esvaziado. Os jornais se limitaram a uma notícia e pronto.

— O conteúdo das respostas é satisfatório?

— Em parte, sim. Há vários pontos que discutimos e aceitamos. Mas aspectos importantes ficaram vagos. Até agora, por exemplo, eles não sabem a quantidade de césio que se perdeu, porque são imprecisos os cálculos que apresentaram sobre a recuperação do material radioativo: uma faixa mínima de 960 Ci e uma máxima de 1.498 Ci. De acordo com essa faixa máxima, eles teriam recuperado uma quantidade de césio superior àquela que existia na fonte, e que era de 1.375 Ci! Por outro lado, quando se discute segurança nuclear, convém escolher a pior hipótese. No caso, é aconselhável supor que só foram recuperados 960 Ci. Ora, entre esta estimativa e o que efetivamente foi liberado há uma diferença de quase 400 Ci. Em todo o lixo radioativo de baixa e média atividade de Angra dos Reis há apenas

62 Ci. Então, é possível admitir que se perdeu, em Goiânia, várias vezes o que há no lixo de Angra.

— Foi possível avaliar, com as respostas da CNEN, o impacto, as dimensões e as consequências do acidente?

— De maneira satisfatória, não. Por exemplo: não nos forneceram dados sobre o destino final do lixo radioativo. No depósito provisório, há cerca de 3.000 m³ de material contaminado. Esse volume é muito grande e ainda não se resolveram as dificuldades de remoção. Também faltaram informações sobre as doses recebidas pelas principais vítimas. Outro problema é o controle das pessoas que podem ter sido irradiadas. Não me parecem válidos os critérios adotados para selecionar a população que será objeto do tal estudo epidemiológico. Muita gente afetada pode não ter sido cadastrada. A incidência de câncer pode crescer nos próximos dez anos, e o estudo deve ser feito a partir de um número de pessoas mais representativo, que inclua a periferia de Goiânia. Por outro lado, é difícil descobrir efeitos nos irradiados apenas com exames citogenéticos.

— A contaminação ambiental está efetivamente sob controle? O trabalho chamado de "malha fina" pela CNEN pode ser considerado eficaz?

— É verdade que eles estão reduzindo os níveis de radiação. Mas a questão é saber se ainda resta algum foco que apresente risco. Os técnicos estão percorrendo Goiânia de carro, com aparelhagem específica, mas, segundo o físico Anselmo Paschoa, não há como garantir a eficiência desses detectores. É evidente que a CNEN está se esforçando ao máximo. Mas é claro também que, andando de carro pelas ruas, muitas coisas podem ficar perdidas.

— Como foi o desempenho da CNEN, de um modo geral?

— Nessa contingência, os técnicos da CNEN saíram-se bem, fizeram o impossível. Descontaminaram a região, procuraram atender às pessoas, tudo com uma razoável rapidez. Considerando-se a carência de meios, tiveram um desempenho que eu elogio. Expuseram-se até mais do que o necessário. Mas, do ponto de vista da estrutura organizacional e política, considero a CNEN absolutamente discutível.

— Alguns técnicos que trabalharam em Goiânia falam de omissão da comunidade ci-

entífica frente ao acidente. O que acha desse comentário?

— É uma mentira. Eu mesmo estive em Goiânia duas vezes e cumpri o meu papel. O grupo da Coppe que trabalha com física nuclear aplicada e com segurança fez um trabalho direto. A universidade esteve presente de várias maneiras. A UFRJ, por exemplo, colaborou junto ao Hospital Marcílio Dias. Fundamentalmente, nós levantamos de imediato uma série de questões que visavam auxiliar na correção de medidas tomadas pela CNEN. Nossa função é pedagógica. Será que a comunidade científica deveria ter ido a Goiânia para catar lixo atômico? Essas coisas exigem treinamento profissional. As Forças Armadas existem para isso, são elas as encarregadas da segurança nuclear. Se os bombeiros não conseguem extinguir um incêndio, eles não reclamam porque a população não ajudou a apagá-lo.

Onde está o ministro chefe da Casa Militar, que é responsável pela CNEN e representa o nível mais alto do governo no setor? Até agora, ele não interveio, não apareceu, não foi a Goiânia. Essa omissão é grave, assim como são graves

a omissão da CNEN quanto à fiscalização da bomba e a atribuição de culpa pelo episódio à Secretaria de Saúde. Na época, discordamos inclusive da imputação de responsabilidade a José de Júlio Rozental. O que aconteceu em Goiânia faz parte de um programa distorcido, voltado para fins militares e cuja prioridade é o beneficiamento do urânio para a construção do submarino nuclear ou, quem sabe, até da bomba atômica.

— Que lição pode ser tirada desse acidente?

— Não ficou nada. Nada vai mudar. Passado o impacto, tudo permanece como antes. Faz parte da tradição da República brasileira. As pessoas vão morrer de câncer e ninguém avalia a dimensão disso. Depois do acidente de Tchernobyl, houve uma discussão sobre segurança nuclear, da qual participei, que incluiu o ministro das Minas e Energia, os presidentes da CNEN e da Nuclebrás. Elaboramos um relatório que previa mudanças e elas nunca foram implementadas. Segundo consta, foram vetadas pelo Serviço Nacional de Informações (SNI). □

ASSEC CRITICA CNEN

A Associação dos Empregados da CNEN (Assec) divulgou em novembro último um documento manifestando a posição dos seus associados sobre o acidente radiológico de Goiânia. Destacamos aqui alguns trechos desse documento.

"(...) O acidente de Goiânia revelou um aspecto triste da realidade brasileira, que é o descaso das autoridades públicas com relação à garantia da qualidade de vida da população e da preservação do meio ambiente. Devido à gravidade deste acidente e de suas conseqüências sociais e ambientais, a Assec considera imprescindível a apuração das responsabilidades.

No que tange à CNEN, pode ser apontada a ênfase que vem sendo dada aos seus programas tecnológicos em detrimento dos programas de proteção e segurança à população. A inversão da ordem das prioridades da CNEN foi iniciada por ocasião da

concepção do programa nuclear paralelo, hoje conhecido como Programa Nuclear Autônomo, materializado ao longo da década através da incorporação do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares à CNEN, da criação do Sistema de Proteção do Programa Nuclear, da monopolização da pesquisa e desenvolvimento de energia nuclear pela CNEN e Nuclebrás e, mais recentemente, com a passagem da CNEN à Presidência da República, o que acabou por consagrar o papel do Conselho de Segurança Nacional e Forças Armadas no direcionamento das atividades da CNEN.

A centralização decorrente deste contexto impediu a participação dos técnicos da CNEN e de segmentos da sociedade nas decisões, resultando, por exemplo, no despreparo da CNEN diante de uma emergência radiológica. (...)

Apesar das condições adversas e do alto risco a que estão expostos, os técnicos da CNEN têm prestado seus serviços de forma incondicional na minimi-

zação das conseqüências do acidente, atuando em todas as frentes de trabalho, seja em Goiânia, no Hospital Naval Marcílio Dias ou nos laboratórios de análises. (...)

Diante do exposto acima, a Assec propõe:

1. Que seja formada uma comissão especial, livre de pressões políticas e/ou econômicas, que apure com isenção as responsabilidades.

2. Que a política nuclear brasileira seja amplamente discutida, com participação efetiva da comunidade científica e da sociedade, e que o programa nuclear brasileiro seja controlado e fiscalizado pelo Congresso Nacional.

3. Que o programa nuclear autônomo tenha finalidades pacíficas e não militares.

4. Que os empregados participem das várias instâncias de decisão na CNEN, com o objetivo de democratizar e tornar transparentes os seus mecanismos de funcionamento."

A DESINTEGRAÇÃO RADIOATIVA

Giorgio Moscati

Instituto de Física, Universidade de São Paulo

A matéria é formada por átomos, os quais podem agregar-se em moléculas. Os átomos, por sua vez, compõem-se de elétrons que orbitam em torno de um núcleo, onde se concentra a quase totalidade da massa atômica, e cujos principais constituintes são os núcleons: prótons e nêutrons, formados por partículas menores ainda, os quarks (ver "A matéria indivisível", em *Ciência Hoje* nº 14). O total de prótons e nêutrons é chamado número de massa. Cada tipo de átomo tem um número atômico, que corresponde à quantidade de prótons ou à de elétrons, que é a mesma. Desta forma, o número de nêutrons corresponde à diferença entre o número de massa e o número atômico.

Apesar de suas pequenas dimensões, os núcleos têm estrutura interna complexa, que é objeto de estudos da física nuclear (ver "Ressonâncias nucleares gigantes", em *Ciência Hoje* nº 39).

Como não podem ser observados diretamente, suas propriedades são estudadas por experiências indiretas. Essas propriedades podem ser massa, carga elétrica, dimensões, forma, magnetismo, além da interação dos núcleos e de sua faculdade de se transformarem espontaneamente em outros núcleos e partículas, isto é, de se desintegrarem.

Um mesmo elemento pode ter núcleos com massas diferentes. No cloro, de número atômico 17, alguns átomos têm número de massa 35; outros, núme-

ro de massa 37. A diferença está no número de nêutrons, maior no segundo. Dizemos então que há na natureza dois isótopos do cloro: um com 35 unidades de massa atômica, outro com 37. Assim, para os 92 elementos encontrados na natureza, temos cerca de 300 tipos diferentes de núcleos, correspondentes aos isótopos dos vários elementos.

O hidrogênio, por exemplo, tem um isótopo chamado deutério, de número atômico 1 mas número de massa 2, porque ao próton se juntou um nêutron.

Esse isótopo e os do cloro acima mencionados, também encontrados em estado natural, são estáveis. Estudos sistemáticos das propriedades dos isótopos mostram que alguns deles podem existir mas são instáveis, isto é, se desintegram espontaneamente, para formar outras combinações de prótons e nêutrons. Assim, além dos 300 isótopos estáveis conhecidos, já foram identificados mais de mil isótopos instáveis, ou radioativos, também chamados radioisótopos ou, mais corretamente, radionuclídeos.



Luís Trímiano

Ao desintegrar-se, um núcleo instável pode atingir uma configuração estável ou formar um novo núcleo radioativo, que, por sua vez, vai também se desintegrar após um determinado período. Essa cadeia de desintegrações se completa quando o resultado é um núcleo estável.

A principal característica desse processo é que a porcentagem de átomos que se desintegram por unidade de tempo é constante. Portanto, após um período variável segundo o elemento em questão, o número de núcleos residuais (que ainda não se desintegraram) cai à metade. É esse período que se chama meia-vida de um elemento radioativo. Uma consequência importante desse comportamento da radioatividade é que, mesmo após terem decorrido várias meias-vidas, resta sempre uma pequena fração de núcleos instáveis iniciais.

As meias-vidas dos radioisótopos variam de frações de segundo até alguns milhões de anos. O carbono com número de massa 11 (^{11}C) possui meia-vida de 20 minutos, ao passo que o de nú-

mero de massa 14 (^{14}C) tem meia-vida de 5.760 anos. Encontram-se na natureza vários elementos radioativos. É o caso do urânio-238 (^{238}U), cuja meia-vida, de 4,5 bilhões de anos, é praticamente equivalente à idade da Terra. Apesar de ser instável, só uma parte dele se desintegrou desde que a Terra se formou.

Existem vários mecanismos de desintegração para os núcleos radioativos. Os principais são a desintegração alfa (α), a desintegração beta (β) e a desintegração gama (γ), conhecidas e estudadas a partir do início do século. Em 1938 descobriu-se outro tipo de transformação, a fissão nuclear.

Na desintegração alfa, um núcleo emite com grande velocidade uma partícula alfa de carga positiva, reduzindo o valor de seu número de massa em quatro unidades, pois seu número atômico cai em duas unidades e seu número de nêutrons em outras duas.

Na desintegração beta, o núcleo emite um elétron, que pode ter carga elétrica positiva ou negativa. No primeiro caso, trata-se de uma desintegração beta mais (β^+): o número atômico decresce de

uma unidade, indicando a transformação de um próton em um nêutron no núcleo. No segundo, a desintegração é beta menos (β^-): um dos nêutrons do núcleo se transforma em próton e o número atômico aumenta de uma unidade. O número de massa não se altera em nenhum dos casos. O cézio-137 (^{137}Cs , número de massa 137, número atômico 55 e, portanto, 82 nêutrons) emite radiação β^- , isto é, elétrons negativos. O núcleo resultante é o bário-137 (^{137}Ba). Na desintegração beta, é também emitida uma outra partícula, o neutrino, partícula sem carga elétrica e de massa zero, que tem a velocidade da luz.

Após uma desintegração alfa ou beta, o núcleo resultante pode liberar energia na forma de radiação eletromagnética que toma a denominação de radiação gama. Com a emissão gama, o núcleo apenas rearranja seus núcleons, não alterando, portanto, seu número atômico nem seu número de massa. Após a emissão de uma partícula beta negativa, o núcleo de ^{137}Ba , recém-formado a partir do ^{137}Cs , libera energia na forma de um fóton de radiação gama de 662 KeV. □

RADIAÇÃO IONIZANTE

Emico Okuno

Instituto de Física, Universidade de São Paulo

Radiação é a energia emitida por uma fonte e que se propaga de um ponto a outro sob a forma de um feixe de partículas elementares, ou núcleos atômicos, ou ainda sob a forma de ondas eletromagnéticas. Um feixe de partículas elementares (elétrons, prótons, nêutrons, mésons) é chamado radiação corpuscular.

As ondas eletromagnéticas são constituídas de campos elétricos e magnéticos oscilantes, perpendiculares entre si, e se propagam no vácuo com uma velocidade constante de 300 mil km/s. A energia de uma onda eletromagnética é quantizada, isto é, só pode assumir valores discretos, assim como a carga elétrica, que também é quantizada. Na interação da radiação eletromagnética com a matéria, a absorção e a emissão de energia só ocorrem em quantidades discretas, chamadas *quanta* ou fótons.

Diz-se que a energia da radiação eletromagnética é de 1 MeV quando a energia de cada fóton dessa onda for de 1 MeV. Sendo a energia de cada fóton diretamente proporcional à frequência da onda eletromagnética, quanto maior esta frequência, maior será a energia de seus fótons. Entre as ondas eletromagnéticas, em ordem crescente de frequência, estão as de rádio, as de TV, as microondas, a radiação infravermelha, a luz visível, a radiação ultravioleta, os raios X e os raios gama (ver "Características da radiação eletromagnética", em *Ciência Hoje* nº 11, p. 42, e "O leitor pergunta", em *Ciência Hoje* nº 12).

Todas as partículas sem carga e os fótons de raios X e gama possuem certa probabilidade de passar através de um meio material sem sofrer nenhuma interação com ele e, portanto, sem perder energia. Uma partícula carregada, ao

contrário, sempre sofre colisões, perdendo energia gradativamente.

A radiação é dita ionizante quando, na interação com os átomos e as moléculas do meio, arranca alguns de seus elétrons orbitais. Em consequência, surgem pares iônicos, cada um formado por um íon positivo (átomo que perdeu um elétron) e um íon negativo (elétron removido do átomo). Todas as partículas carregadas produzem ionização diretamente, quando possuem energia para tal. Já as partículas neutras e os fótons de raios X e gama, embora eles próprios não ionizem, produzem na interação com o meio partículas capazes de ionizar. Os dois tipos são chamados radiação ionizante ou, simplesmente, radiação. Se o meio for o tecido orgânico, as ionizações podem resultar na quebra molecular. Se não houver recuperação, pode iniciar-se um dano biológico.

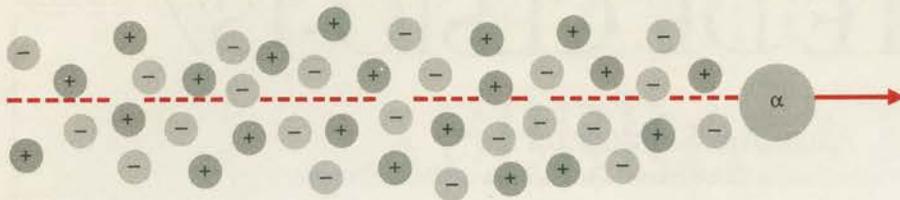


Fig. 1. Trajetória de uma partícula alfa.

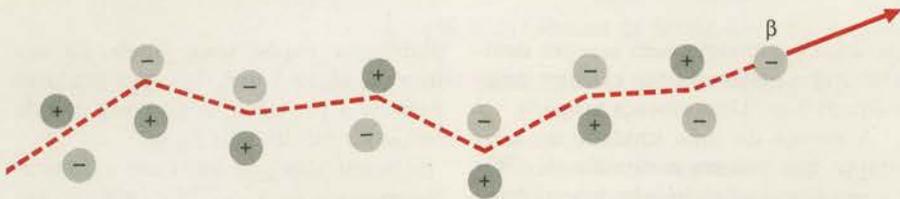


Fig. 2. Trajetória de uma partícula beta.

Dependendo do tipo de radiação (corpúscular ou eletromagnética), os mecanismos de sua interação com a matéria são diferentes.

Quando uma partícula alfa entra na matéria, produz um número muito grande de ionizações. A ionização específica (número de pares de íons formados por unidade de comprimento) de uma partícula alfa de 4 MeV na água é de três mil pares de íons/micrometro. Por ser pesada, essa partícula tem trajetória quase retilínea, num dado meio (figura 1). Seu alcance (distância que percorre nesse meio até parar) é muito pequeno. Uma partícula alfa de 3 MeV, por exemplo, possui respectivamente no ar, no tecido humano e no alumínio alcances de 1,67 cm, $1,00 \times 10^2$ cm e $0,98 \times 10^3$ cm. Dessa forma, uma folha finíssima de alumínio, com 10 micrometros de espessura, barra completamente um feixe de partículas alfa de 3 MeV. Mesmo sem qualquer blindagem, essas partículas não conseguem penetrar na pele humana. Entretanto, a ingestão de radio-nuclídeos emissores de partículas alfa pode causar grandes danos localmente, em consequência de sua grande ionização específica. As partículas alfa são emitidas principalmente nas desintegrações de elementos pesados como o urânio, o tório ou o polônio, e geralmente se fazem acompanhar de partículas beta e raios gama.

As partículas beta são elétrons e pósitrons (partículas idênticas aos elétrons, exceto na carga, que é positiva). Têm ionização específica bem menor que a das partículas alfa de igual energia, mas seu alcance é bem maior, num dado meio. O alcance de uma partícula beta de 3 MeV no ar, no tecido humano e no alumínio é, respectivamente, de 1.260 cm, 1,5 cm e 0,56 cm. Em virtude de sua pequena massa, a trajetória des-

sas partículas é tortuosa (figura 2). O trítio e o carbono-14 emitem somente partículas beta. Para blindar a radiação beta podem-se usar folhas de alumínio ou de plástico.

Os nêutrons interagem predominantemente com núcleos atômicos e não produzem, eles próprios, ionização. Po-

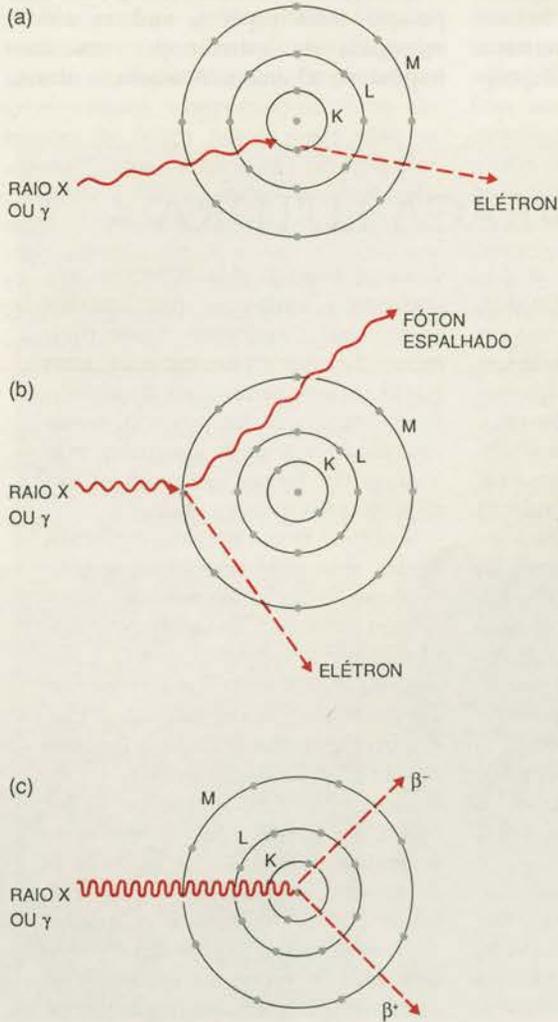


Fig. 3. Interação dos raios X e gama com a matéria: (a) efeito fotoelétrico; (b) efeito Compton; (c) produção de pares.

rém liberam partículas carregadas que, por sua vez, ionizam. Antes da interação, os nêutrons percorrem grandes distâncias através da matéria. São, portanto, muito penetrantes. Para blindá-los, usam-se normalmente materiais como parafina ou água. Os raios gama e os raios X diferem entre si apenas quanto à origem: os primeiros provêm do interior do núcleo ou da aniquilação de partículas, enquanto os raios X se originam fora do núcleo. Ambos são ondas eletromagnéticas extremamente energéticas, de grande poder de penetração. Seus principais mecanismos de interação com a matéria são o efeito fotoelétrico, o efeito Compton e a produção de pares (figura 3).

No efeito fotoelétrico, o fóton é totalmente absorvido. Sua energia se transfere a um elétron orbital das camadas mais internas de um átomo, e esse elétron é ejetado. No efeito Compton, o fóton de raio X ou gama é desviado por um elétron da camada mais externa, transferindo-lhe parte de sua energia.

Nesse processo, o fóton não é absorvido e, portanto, continua interagindo com outros elétrons. A produção de pares (elétron-pósitron) acontece quando a energia do fóton é superior à soma das massas de repouso dessas duas partículas, ou seja, maior do que 1,02 MeV.

A probabilidade de ocorrer um desses tipos de interação depende da energia do raio X ou gama e do número atômico dos constituintes do meio. Um fóton de radiação X ou gama pode perder toda ou quase toda a energia numa única interação. É imprevisível a distância que ele percorre antes de interagir; pode-se, no entanto, prever uma distância, chamada camada semi-redutora, na qual há 50% de chance de isso ocorrer. A espessura de um material igual a uma camada semi-redutora reduz à metade a intensidade da radiação X ou gama. A camada semi-redutora para raios gama de 662 keV, emitidos pelo ^{137}Cs , é de 0,64 cm para o chumbo, 3,5 cm para o alumínio e 7,2 cm para o tecido humano. Para blindar esse tipo de radiação, são usados chumbo, concreto, aço, ferro ou terra. □

A FONTE DE CÉSIO-137

Anselmo S. Paschoa

Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

O céσιο-137 é um isótopo radioativo, proveniente da fissão de urânio ou plutônio, que se desintegra formando bário-137m (^{137m}Ba ; m = metaestável, isto é, excitado), o qual por sua vez emite raios gama no processo de desexcitação. Esses raios, altamente penetrantes, permitem que o ^{137}Cs seja facilmente observável por meio de detectores de radiação. Por outro lado, o ^{137m}Ba é de difícil dosimetria, tanto no caso de exposição externa aos raios gama quanto no de contaminação interna por ^{137}Cs . Durante a desexcitação, o ^{137m}Ba emite elétrons Auger (de curto alcance), que depositam localmente sua energia. Como esse radionuclídeo tem meia-vida de apenas alguns minutos, a contaminação de tecido muscular fibroso de seres humanos e animais por ^{137}Cs implica uma deposi-

ção local de energia nem sempre devidamente considerada nos cálculos dosimétricos (ver "Uma ameaça futura").

A cabeça de uma unidade de teleterapia que encerra a cápsula de ^{137}Cs constitui-se essencialmente de uma blindagem de chumbo e aço (e, às vezes, de urânio empobrecido) que impede os raios gama de escaparem para o exterior. Assim, quando não está em uso, a cápsula fica bem guardada, não representando qualquer risco em termos de proteção radiológica. Para usá-la, gira-se de 180° um disco instalado dentro da cabeça e em cuja borda está presa a cápsula. Esta se desloca, então, de seu centro geométrico e vem para uma posição mais exposta, embora ainda segregada do exterior por um diafragma de chumbo. A abertura desse

diafragma expõe uma janela de aço inoxidável de 1 mm de espessura. Isso permite a passagem dos raios gama de 662 keV emitidos pela fonte.

Os critérios que norteiam a fabricação de uma fonte de ^{137}Cs para uso em teleterapia são os seguintes: fornecer exposição de 30 R/min a uma distância de aproximadamente 75 cm; apresentar diâmetro da ordem de 2 cm para que não haja penumbra excessiva no feixe de radiação que atinge o paciente, evitando-se deste modo que sejam irradiados órgãos e tecidos não afetados pela doença que se quer tratar; caber dentro de uma cápsula padrão internacional, fabricada com especificações definidas num acordo, datado de outubro de 1953, entre os Estados Unidos e o Canadá, à época os dois únicos fabricantes dessas fontes [2].

Desses critérios, deduz-se que: para que uma fonte de ^{137}Cs forneça 30 R/min a uma distância de 75 cm, é necessário que sua intensidade seja de 2,62 kCi, isto é, $9,7 \times 10^{13}$ Bq; o diâmetro mínimo de uma fonte de tal intensidade deve ser de 3,34 cm, admitindo-se uma espessura infinita relativamente à auto-absorção de raios gama (é claro que a fonte pode ter diâmetros maiores, mas sua penumbra será também maior). Ora, a cápsula padrão acomoda fontes de até 2,85 cm de diâmetro.

Verifica-se, assim, uma inconsistência entre os critérios de fabricação e suas conseqüências. Isso obriga o fabricante a buscar uma solução de compromisso entre a atividade requerida para uma dada taxa de exposição, a uma dada distância da fonte, as dimensões desta e o tamanho especificado para a cápsula. A atividade específica da fonte de ^{137}Cs encerrada numa cápsula de padrão internacional está geralmente entre 20 e 26 Ci/g — o número exato depende de diversos fatores. Considerando-se a meia-vida de 30 anos do ^{137}Cs , pode-se calcular uma atividade específica de 87 Ci/g, caso a fonte fosse de céσιο puro.

Como a fonte é de cloreto de céσιο (CsCl), tal atividade cai para 69 Ci/g. Além disso, é preciso adicionar céσιο estável (para forçar a precipitação do céσιο

UMA AMEAÇA FUTURA

O Laboratório Nacional de Argonne (ANL), nos Estados Unidos, realizou há algumas décadas uma experiência, durante pouco mais de um ano, com cães da raça *beagle*, que foram submetidos a injeções de uma solução contendo ^{137}Cs , a fim de estudar o metabolismo interno desse radionuclídeo e uma possível relação de causa e efeito no que tange à indução de câncer através da contaminação interna e, portanto, da irradiação gama originária do ^{137}Cs espalhado ao longo do corpo. O metabolismo desse elemento é semelhante ao do potássio e, assim, seria possível estabelecer um certo paralelismo. Como era de esperar, um número significativo de cães desenvolveu vários tipos de câncer, e foi sacrificado para estudos radiobiológicos.

Após a experiência, muitos dos cães sobreviveram por alguns anos, durante os quais continuaram a receber o tratamento dispensado aos cães não contaminados. Surpreendentemente, uma percentagem significati-

vamente elevada dos sobreviventes apresentou sintomas que levaram ao seguinte diagnóstico: desenvolvimento de neurofibrossarcomas, uma forma extremamente rara de câncer. Esse diagnóstico foi posteriormente revalidado através de autópsias, mas a causa da doença permaneceu um mistério para os pesquisadores.

Em 1980, dois cientistas, um brasileiro e um norte-americano, sugeriram que os neurofibrossarcomas poderiam ter sido originados pela densa deposição local de energia pelos elétrons Auger, emitidos no processo de desexcitação atômica do ^{137m}Ba , decorrente da localização e desintegração do ^{137}Cs incorporado ao tecido muscular fibroso dos animais [1]. Na época, a sugestão não foi bem compreendida, mas hoje está sendo levada a sério. Tendo em vista o episódio de Goiânia, seria bom que esses dois cientistas estivessem enganados. Mas os processos radiobiológicos envolvidos seguirão seus rumos, estejam ou não corretos os cientistas.

na mistura de produtos de fissão em solução) em quantidade pelo menos igual à de césio radioativo, o que diminui a atividade específica para cerca de 35 Ci/g. Após a secagem do precipitado e a compressão do pó cristalino resultante, preparam-se com ele três discos que se ajustam como um único cilindro dentro da cápsula.

A densidade do CsCl é de 3,97 g/cm³, mas a densidade típica de uma fonte de césio é de aproximadamente 3,0 g/cm³. Com esses valores, temos que $(3,0/3,97) \times 35 \text{ Ci/g} = 26 \text{ Ci/g}$, que pode ser considerado um limite superior para a atividade específica de uma fonte comercial de teleterapia. Em consequência, para que a atividade inicial seja de 2,62 kCi, é necessário que a fonte tenha uma massa de cerca de $(2,62 \times 10^3 \text{ Ci} / 26 \text{ Ci/g}) = 100 \text{ g}$. Com base nos documentos disponíveis, estima-se que a fonte contida na cápsula aberta em Goiânia tinha inicialmente uma atividade específica de pouco mais de 22 Ci ¹³⁷Cs/g, distribuída em cerca de 94 g. Isso corresponde a uma atividade inicial de pouco mais de 2.000 Ci.

Sabe-se também que, ao serem fabricadas, as fontes de ¹³⁷Cs contêm entre dois e cinco por cento de césio-134 (¹³⁴Cs, outro isótopo radioativo do césio), variando a percentagem em função da história do reator de onde provém a mistura. Essa pequena porção de ¹³⁴Cs, destinada a aumentar a atividade inicial, cria dificuldades adicionais para a blindagem das unidades de teleterapia, em razão dos raios gama de maior ener-

gia (1.360 keV), e portanto mais penetrantes, emitidos na desintegração desse elemento. No entanto, com o passar do tempo, diminui a importância do ¹³⁴Cs, em virtude de sua meia-vida ser de apenas dois anos.

Pelo lado externo, a cápsula padrão tem a aparência de um cilindro de aço inoxidável, com cerca de 5 cm de base e pouco mais de 4 cm de altura. Os discos de material radioativo são colocados dentro da cápsula, a qual, a rigor, é dupla: sua parte externa é atarraxada à interna e depois selada por meio de solda dupla em todo o exterior, com exceção da janela de 3 cm de diâmetro e 1 mm de espessura por onde passarão 95% dos raios gama emitidos naquela direção, a fim de irradiar o órgão ou os tecidos afetados. Essa janela deixa passar também uma intensa luminosidade, fazendo com que a cápsula no escuro brilhe intensamente. Foi a curiosidade despertada por esse brilho que provavelmente levou à abertura da cápsula a golpes de marreta, liberando assim o ¹³⁷Cs em pó.

Esse incidente veio mostrar que as previsões do fabricante quanto à integridade da cápsula eram irrealistas. Em que pese sua obediência aos padrões internacionais de fabricação, foi amassada, destruída e finalmente violada, ao que tudo indica com o auxílio de uma pequena chave de parafuso introduzida na janela. Não fosse isso, as pessoas que se aproximaram dela seriam irradiadas severamente pelos raios gama de 662 keV do ¹³⁷Cs, mas não se teri-

am contaminado fatalmente pela ingestão, inalação ou manuseio do material radioativo.

Em 1983, houve no México um episódio semelhante ao de Goiânia. Uma cápsula de cobalto-60 (⁶⁰Co), retirada de um hospital, foi violada durante o transporte numa caminhonete e vendida como sucata para uma indústria metalúrgica. O fato só foi descoberto porque, várias semanas mais tarde, um caminhão que carregava estruturas metálicas às quais haviam sido incorporados grânulos de ⁶⁰Co, depois de atravessar a fronteira para os Estados Unidos, passou casualmente diante do laboratório de Los Alamos, cujos detectores indicaram a presença de radiação. A caminhonete contaminada ficara estacionada por algumas semanas na cidade de Juárez, irradiando várias pessoas. Embora as doses externas fossem elevadas, não houve, como em Goiânia, contaminação interna, uma vez que as cápsulas de cobalto, feitas de metal maciço, não podem ser abertas. □

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] PASCHOA A.S. e WRENN M.E., "Low energy electron microdosimetry of ¹³⁷Cs", 7th Symposium on microdosimetry, vol. II, J. Booz, H.G. Ebert and H.D. Hartfiel, editors, Harwood Academic Publishers for the Commission of the European Communities, p. 1.423-1.432, 1981.

[2] BEHERENS C.F. et alii, *Atomic medicine*. Baltimore, The Williams & Wilkins Company, 5^a ed., p. 801-810, 1969.

EFEITOS BIOLÓGICOS

Roberto Alcântara Gomes

Instituto de Biologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Após a descoberta dos raios X e da radioatividade natural, no fim do século passado, a atenção dos cientistas voltou-se para a radiobiologia, campo de estudo dos efeitos biológicos da radiação. Mas foram necessárias muitas décadas para que essa matéria ganhasse o status que merece — o que só ocorreu depois das explosões nucleares ao fim da Segunda Guerra Mundial e, mais recentemente, em consequência da utilização

em larga escala de fontes de radiação na medicina, na indústria e na geração de energia. Compreende-se assim por que muitos pioneiros da física nuclear e das aplicações médicas dos raios X sofreram lesões às vezes mortais, provocadas pela exposição excessiva: os cuidados básicos de proteção contra radiações só há pouco passaram a ser valorizados.

Embora os progressos científicos no campo da radiobiologia tenham sido al-

cançados graças à experimentação com animais de laboratório, alguns grupos humanos vêm sendo exaustivamente acompanhados. Entre eles, os sobreviventes de Hiroxima e Nagasaki, pacientes expostos a doses elevadas de radiação por razões diagnósticas ou terapêuticas, profissionais que trabalham com fontes de radiação e habitantes de certas zonas da Terra onde a radiação ambiental é superior aos índices normais.

A maior parte da exposição às radiações artificiais se deve às aplicações médicas. O número de exames radiológicos realizados varia de país para país, conforme seu desenvolvimento econômico-social e a atenção dada à saúde. Em países industrializados, excluídas as radiografias odontológicas, são realizadas anualmente entre 300 e 900 radiografias para cada mil habitantes; nos países do Terceiro Mundo, esses valores situam-se em faixas bem inferiores, não ultrapassando 200 exames anuais por grupo de mil habitantes.

A dose de radiação recebida por um paciente durante um exame varia enormemente, segundo os equipamentos utilizados, a sensibilidade dos filmes, a técnica adotada e os cuidados do radiologista, entre outras variáveis. Em certos exames, a dose de raios X absorvida pela pele, na zona mais diretamente exposta, pode ser bastante elevada, como ocorre, por exemplo, durante a obtenção de imagens radiológicas das coronárias ou de radiografias renais. Nesses casos, a dose de raios X absorvida pode ultrapassar 1 Gy. Essa alta dose, no entanto, é restrita à pele; em todo o corpo ou em órgãos críticos, como a medula óssea, a dose é significativamente menor.

O corpo humano é constituído por cerca de 5×10^{12} células, muitas das quais altamente especializadas para o desempenho de determinadas funções. Quanto maior o grau de especialização de uma célula, isto é, quanto mais diferenciada for, tão mais lentamente ela se dividirá.

Cada tipo de célula caracteriza-se por um certo nível de sensibilidade às radiações. De forma simplificada, é possível admitir serem mais radiosensíveis as células que mais rapidamente se dividem. Assim, os efeitos das radiações serão quase sempre maiores nas células que têm maior atividade mitótica ou menor grau de diferenciação, como por exemplo as da pele, do revestimento intestinal ou dos órgãos hematopoiéticos. Uma exceção significativa a essa lei geral é dada pelos linfócitos, que, embora só se dividam em condições excepcionais, são extremamente radiosensíveis.

Um organismo complexo exposto a radiações sofre determinados efeitos: alguns lhe são restritos; outros, transmissíveis às gerações subseqüentes. Os primeiros constituem os efeitos somáticos das radiações e os segundos, os efeitos genéticos.

Na análise de um organismo exposto à radiação, é habitual considerar se houve apenas irradiação localizada ou se

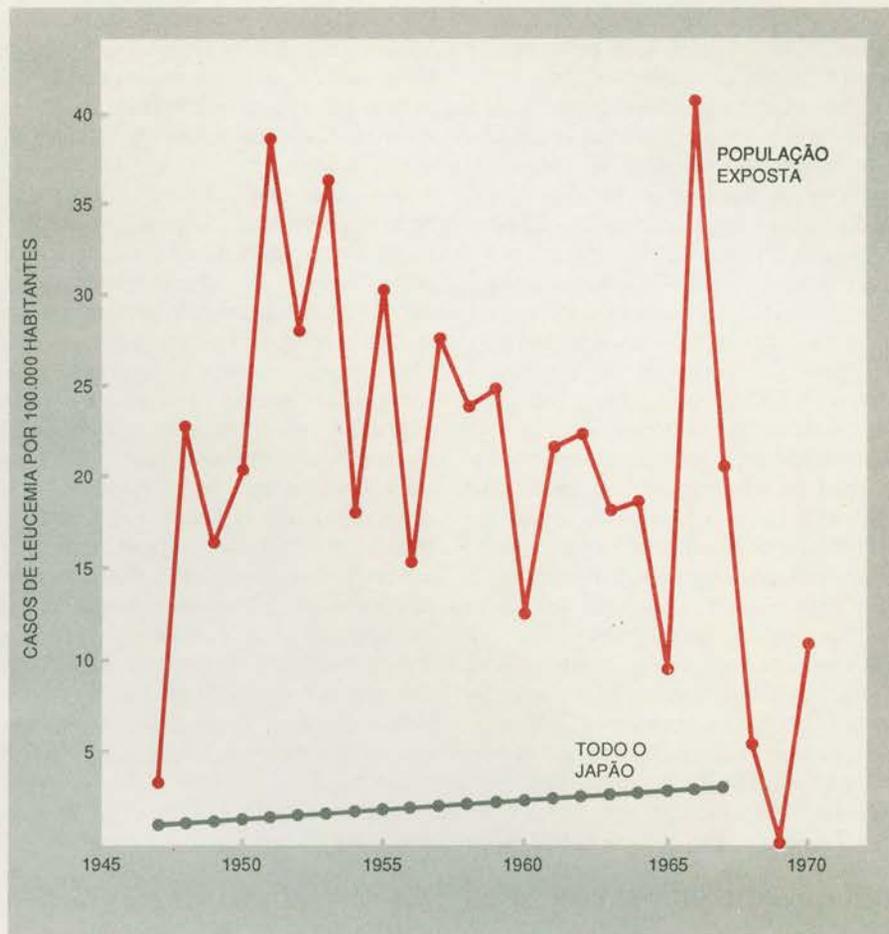


Fig.1. Incidência de leucemia entre sobreviventes da explosão nuclear de Hiroxima e na população japonesa.

Adaptado de United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, *Ionizing radiation: levels and effects*. Nova Iorque, United Nations Publications, 1972.

todo ele foi irradiado. Na radioterapia antitumoral, por exemplo, um único segmento anatômico pode ser exposto, mas, em certos casos, como no tratamento de linfomas ou da doença de Hodgkin, pode ser necessário irradiar múltiplos campos ou até o corpo inteiro. Em uma explosão nuclear, ou em certos acidentes com fontes radioativas, como o ocorrido em Goiânia, as pessoas expostas recebem radiações em todo o corpo, mas as doses absorvidas podem ser diferentes em cada tecido.

Outro parâmetro importante para a classificação dos efeitos somáticos das radiações ionizantes é a cronologia de seu aparecimento. Estes classificam-se em efeitos imediatos e retardados (ou tardios), com base num limite, adotado por convenção, de 60 dias. O mais importante dos efeitos imediatos das radiações após exposição do corpo inteiro a doses relativamente elevadas é a doença aguda de radiação (DAR). O efeito retardado de maior relevância é a cancerização radioinduzida, que só aparece vários anos após a irradiação.

A DAR comporta diferentes quadros clínicos, caracterizados por sintomas, cronologia de evolução e gravidade variáveis, conforme a dose de radiação absorvida pelo organismo. Essa doença é a principal causa da morte de mamíferos irradiados, nas primeiras semanas após a exposição.

Uma forma prática de avaliar a letalidade imediata produzida pela radiação em uma população consiste na utilização da chamada $DL_{50(30)}$, que corresponde à dose letal para 50% dos integrantes dessa população, observada 30 dias após a irradiação. Seus valores para os mamíferos são da mesma ordem de grandeza: homem = 4,5 Gy; coelho = 8 Gy; cão = 3,5 Gy. Os insetos, ao contrário, são muito mais resistentes: sua sobrevivência só se reduz a 50% mediante doses de várias centenas de grays.

O quadro clínico apresentado por um mamífero irradiado em todo o corpo depende da dose de radiação absorvida. Doses muito elevadas, da ordem de algumas centenas de grays, provocam a morte em poucos minutos, possível-

mente em decorrência da destruição de macromoléculas e de estruturas celulares indispensáveis à manutenção dos processos vitais. Doses da ordem de 100 Gy produzem falência do sistema nervoso central, de que resultam desorientação espaço-temporal, ataxia (perda da coordenação motora), hiperexcitabilidade, distúrbios respiratórios, convulsões, estado de coma e finalmente morte, que ocorre algumas horas após a exposição ou, no máximo, um ou dois dias mais tarde.

Para doses menores, no entanto, a evolução da doença exige vários dias, às vezes semanas. Neste caso, poucas horas após a exposição surgem, entre outros sintomas, náusea, vômito, diarreia, sudorese intensa, cansaço, febre, dor de cabeça, taquicardia — a fase prodromica da DAR. Em seguida, ocorre um período assintomático, que dura alguns dias, ao término do qual se instala um quadro clínico complexo, com predominância hematopoiética ou gastrointestinal, conforme a dose de radiação.

Quando a dose absorvida numa exposição de corpo inteiro é de dezenas de grays, a forma da DAR observada é a síndrome gastrointestinal, caracterizada por náusea, vômito, perda de apetite (anorexia), diarreia intensa e apatia. Em seguida surgem desidratação, perda de peso e infecções graves. A morte do paciente ocorre poucos dias mais tarde.

Doses da ordem de alguns grays acarretam a síndrome hematopoiética, decorrente da inativação das células sangüíneas (hemácias, leucócitos e plaquetas) e, principalmente, dos tecidos hematopoiéticos, responsáveis pela produção dessas células. O número de linfócitos circulantes reduz-se significativamente logo após a exposição. Outras alterações hematológicas observadas posteriormente, tais como redução do número de plaquetas, granulócitos e hemácias, têm conseqüências diversas no organismo. Assim, por exemplo, a diminuição do número de plaquetas (trombocitopenia) é uma das causas das hemorragias observadas após a irradiação. A redução da resposta imunológica pode ser explicada pela queda do número de leucócitos.

Para pacientes que tenham absorvido doses iguais ou superiores a algumas dezenas de grays, ainda não há condutas terapêuticas que permitam assegurar-lhes a sobrevivência. Os procedimentos adotados nesse caso são essencialmente paliativos. Para doses inferiores a 10 Gy, as possibilidades de uma assistência médica eficiente são maiores,

embora haja controvérsias quanto à adoção de algumas medidas.

O primeiro problema crítico no atendimento a um paciente irradiado é estimar a dose absorvida; em muitos casos, essa é uma tarefa extremamente difícil. Entre as metodologias adotadas atualmente com essa finalidade, as mais adequadas são: acompanhamento da variação do número de leucócitos circulantes; determinação da ocorrência de aberrações cromossômicas, especialmente do número de cromossomos dicêntricos. Esta última é uma metodologia confiável para doses de radiação iguais ou superiores a décimos de grays.

Pacientes irradiados com possibilidade de desenvolver a DAR devem ser internados num centro hospitalar bem aparelhado, com equipe de saúde adequadamente treinada para atender a casos dessa natureza. Conforme o tipo de acidente radiológico, poderá ser necessário descontaminar o paciente, isto é, eliminar os radionuclídeos depositados em sua pele (contaminação externa) ou no interior do organismo (contaminação interna). Para o tratamento de pacientes irradiados, recomenda-se: combate aos processos infecciosos com antibióticos e fungicidas; adoção de procedimentos anti-hemorragícos (a transfusão de pla-

quetas, capaz de provocar redução de perdas sangüíneas, parece ser o mais eficiente); enxertos de medula óssea, já que nesse quadro clínico há um bloqueio da neoformação de elementos figurados do sangue; reposição de fluidos e eletrólitos, visando compensar as perdas provocadas pelas hemorragias, vômitos e diarreias.

O principal efeito tardio da exposição às radiações é a cancerização, fato já conhecido desde o início do uso dos raios X e confirmado nos sobreviventes de Hiroxima e Nagasaki, como se pode ver na figura 1. As radiações podem provocar nos seres humanos diversos tipos de câncer, cuja probabilidade de aparecimento aumenta com a dose absorvida. Assim, admite-se que, em 80 pessoas que tenham absorvido 1 Gy, surgirá um caso adicional de câncer.

O estudo da cancerização radioinduzida exige o estabelecimento do formato da curva que relaciona o excesso de casos de câncer com a dose de radiação absorvida. Diferentes modelos têm sido propostos para essa curva, alguns dos quais mostrados na figura 2, cada um deles regido por uma equação matemática determinada. Um ponto importante na relação quantitativa entre casos adicionais de câncer e doses absorvidas é a

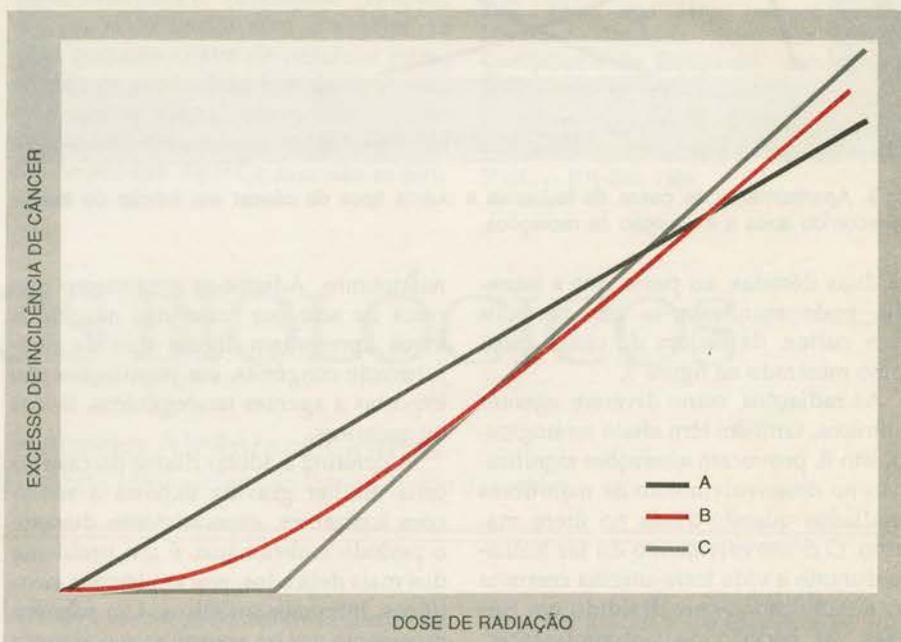


Fig.2. Modelos para relação entre excesso de casos de câncer e dose de radiação absorvida. Para diversos tipos de câncer, a relação matemática entre excesso de casos (S) e doses absorvidas (D) é do tipo linear-quadrático (curva B), isto é, regido pela equação $S = aD + bD^2$, onde a e b são constantes de proporcionalidade. Para outros tipos de câncer, a relação linear (curva A) descreve melhor o fenômeno e mostra-se mais adequada à extrapolação, para a faixa de doses reduzidas, dos resultados experimentalmente obtidos. A curva A superestima os riscos decorrentes das menores doses, as mais frequentes e de maior importância prática. Recomenda-se, por isso, a adoção do modelo linear para descrever a relação quantitativa entre radiocancerização e doses absorvidas. A curva C poderia ser encontrada se existisse uma dose limiar de radiação.

existência ou não de uma dose limiar, abaixo da qual a cancerização não seria observável. Com base nos argumentos científicos já colhidos e no que já se conhece sobre a produção de radiações no ácido desoxirribonucléico (ADN) e sua reparação, a existência de uma dose limiar parece improvável. Isso significa que qualquer exposição às radiações implica um certo risco de cancerização. Em outras palavras, não há uma dose "segura".

Outro conceito importante no estudo da cancerização radioinduzida é o de período latente — tempo transcorrido entre a exposição à radiação e o aparecimento do câncer. Os valores desse período variam conforme o tipo de neoplasia. No homem, a indução, por radiação, de um câncer pulmonar, de tireóide ou de fígado, por exemplo, requer uma

te do organismo em formação; muitas vezes, suas conseqüências não são sequer percebidas, pois nesse período a mãe ainda desconhece a gravidez. No período embrionário, há grandes probabilidades de produzirem malformações, cuja natureza e freqüência dependem da dose de radiação recebida e do momento em que se deu a exposição. No período fetal, a exposição a radiações praticamente não provoca malformações, embora possam ocorrer, entre outras conseqüências, redução de peso e retardo mental.

A determinação da ocorrência de malformações congênitas na espécie humana é bastante complexa: muitas delas levam à inviabilidade do indivíduo em formação ainda em fases iniciais da gravidez — e por isso não são percebidas; outras só são detectadas anos após o

radiação ionizante produzem uma radiodermite. A primeira conseqüência da exposição é a formação de um eritema, semelhante ao produzido pelas radiações solares, seguindo-se queda dos cabelos (epilação, que pode ser temporária ou definitiva, conforme a dose de radiação absorvida), formação de bolhas e necrose do epitélio, muitas vezes acompanhada de ulceração. Os vasos de pequeno e médio calibre também costumam ser lesados, neles ocorrendo vasodilatação, aumento da permeabilidade vascular e desenvolvimento de processos trombóticos. No aparelho gastrointestinal, é freqüente o aparecimento de danos nos epitélios da boca e das partes superiores do tubo digestivo, com eventuais ulcerações e estenoses, além de lesões nas vilosidades intestinais. A bexiga também é sensível, especialmente em razão de lesões em sua mucosa de revestimento, de que resultam ulcerações e eventuais infecções. A esterilidade, reversível ou não, conforme a dose absorvida, pode ser provocada pelas radiações, visto serem as gônadas órgãos bastante radiosensíveis. A irradiação do globo ocular leva freqüentemente à opacificação do cristalino, isto é, à formação de cataratas, que podem aparecer alguns meses ou até vários anos após a exposição.

As radiações ionizantes são inquestionavelmente um agente mutagênico, conclusão válida para espécies animais e vegetais, com base em resultados obtidos ao longo de seis décadas de experimentação. Os efeitos genéticos radioinduzidos podem ser divididos em: (a) aberrações cromossômicas, que envolvem modificações no número dessas estruturas ou na sua forma; (b) mutações gênicas, que provocam alterações na estrutura de um determinado gene. Na espécie humana, a detecção de tais alterações é bastante difícil. Mesmo entre os sobreviventes de Hiroxima e Nagasaki, a maior população irradiada até hoje e também a mais intensamente estudada, a ocorrência de mutações radioinduzidas não foi satisfatoriamente demonstrada. Apesar das amplas pesquisas feitas nesse grupo, dados sobre doenças genéticas e alterações na morfologia de cromossomos, entre outros, não foram diferentes dos observados na população-controle. No entanto, com base nos dados obtidos em populações animais ou em experimentos realizados com células em cultura, é possível estimar que, se um milhão de pessoas receberem um gray adicional, alguns milhares de mutações deverão surgir. □

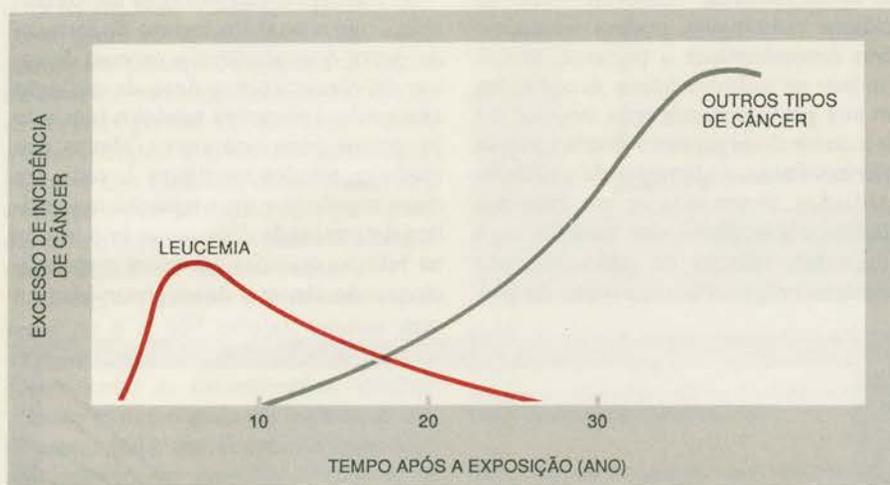


Fig.3. Aparecimento de casos de leucemia e outros tipos de câncer em função do tempo transcorrido após a exposição às radiações.

ou duas décadas, ao passo que a leucemia pode manifestar-se em períodos mais curtos, da ordem de cinco anos, como mostrado na figura 3.

As radiações, como diversos agentes químicos, também têm efeito teratogênico, isto é, provocam alterações significativas no desenvolvimento de mamíferos irradiados quando ainda no útero materno. O desenvolvimento do ser humano durante a vida intra-uterina costuma ser simplificada em três fases: (a) período da pré-implantação, de aproximadamente nove dias, que vai da fecundação à fixação da célula-ovo na parede do útero; (b) período embrionário, do nono ao sexagésimo dia, quando ocorre a maior parte da formação de órgãos; (c) período fetal, do sexagésimo dia ao nascimento.

Irradiações ocorridas na fase da pré-implantação acarretam, em geral, a mor-

nascimento. Admite-se atualmente que cerca de sete por cento dos nascituros vivos apresentam algum tipo de malformação congênita, em populações não expostas a agentes teratogênicos, físicos ou químicos.

A conduta a adotar diante do caso de uma mulher grávida exposta a radiações ionizantes, especialmente durante o período embrionário, é um problema dos mais delicados, seja em termos científicos, humanos ou éticos. Um número expressivo dos que pesquisam o assunto acredita serem aceitáveis os riscos se a dose não ultrapassar 0,1 Gy; acima de 0,2 Gy, os riscos se tornam, na maior parte dos casos, profundamente preocupantes.

Além dos efeitos globais da exposição às radiações, podem-se observar também efeitos localizados, conforme o órgão exposto. Na pele, os efeitos da

O CÁLCULO DAS ABERRAÇÕES

Íris Ferrari

Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília

Estimar a dose de radiação absorvida é requisito básico para o planejamento de uma terapia adequada a um indivíduo irradiado. Embora, para isso, se possam adotar métodos físicos (dosimetria física), não se devem dispensar os métodos biológicos (dosimetria biológica), que fornecem dados próprios para cada indivíduo. Entre os métodos biológicos disponíveis, o do estudo das aberrações cromossômicas em linfócitos do sangue periférico é o mais empregado atualmente. No campo da dosimetria, representa um avanço significativo, pois fornece com precisão a dose de radiação absorvida por um indivíduo exposto. Pesquisas indicam que há uma correlação entre a frequência de aberrações cromossômicas radioinduzidas e a dose de radiação. O número de aberrações observadas em amostras de sangue humano *in vitro* em diferentes doses permite traçar uma curva de calibração do tipo *dose x número de aberrações por célula*.

No sangue periférico, os linfócitos humanos só se dividem quando estimulados por agentes mitogênicos; sem estímulo, permanecem num estágio de repouso, em que o material cromossômico não se duplica. Colocados em meio de cultura e estimulados por fito-hemaglutinina (PHA) — substância obtida de leguminosas como o feijão *Phaseolus vulgaris* —, eles se dividem *in vitro* e, após 48 horas, podem-se observar as mitoses e reconhecidas suas fases: prófase, metáfase, anáfase e telófase. É durante a fase de repouso dos linfócitos, antes da duplicação do material cromossômico, que têm lugar as alterações produzidas pela radiação, estudadas na metáfase, quando os cromossomos são mais visíveis ao microscópio.

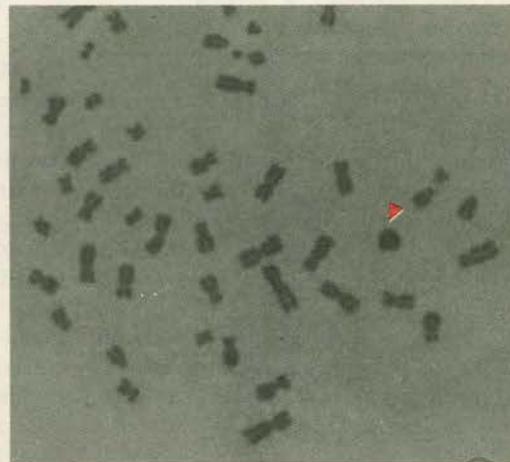
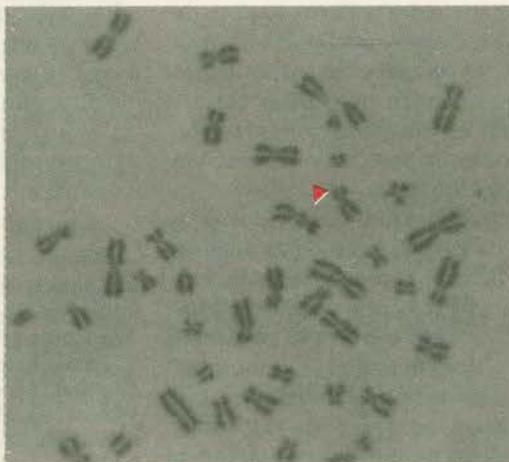
Examinado durante a metáfase de uma divisão celular, cada cromossomo apresenta dois braços paralelos (as cromátides), unidos um ao outro na região do centrômero. Algumas aberrações — alterações de tamanho ou forma de um ou mais cromossomos — resultam de quebras na mesma célula ao mesmo tempo, envolvendo um ou mais cromossomos. As extremidades quebradas podem recombinar-se, de modo a produzir vários tipos de cromossomos rearranjados, como por exemplo os cromossomos dicêntricos e os anéis cêntricos (ver fotos). Se a quebra for induzida antes de ocorrer a síntese do novo material, os cromossomos comportam-se como estrutura de braço único; nesse caso as aberrações observadas são do tipo cromossômico. Se a quebra for induzida após a síntese desse novo material, os cromossomos se comportam como estruturas de dois braços, e a quebra num deles é mais ou menos independente da quebra no outro. Tais aberrações são do tipo cromatídico.

Como o material cromossômico dos linfócitos do sangue circulante não se duplica, o resultado da radiação ionizante sobre ele será sempre uma aberração do tipo cromossômico. Assim, se a

aberração encontrada na metáfase for do tipo cromatídico, é possível admitir que ela não tenha sido induzida pela radiação, e sim produzida durante a primeira fase de síntese do ADN, por falha de duplicação do ADN ou de qualquer dos mecanismos de reparação do ADN lesado.

Entre as aberrações cromossômicas radioinduzidas, as que melhor indicam a dose de radiação absorvida são as do tipo cromossomos dicêntricos (cromossomos anômalos contendo dois centrômeros) e os anéis cêntricos (cromossomos em forma de anel contendo centrômero), facilmente identificadas na metáfase, sem a necessidade de técnicas de cariotipagem, que consiste no agrupamento dos cromossomos em pares homólogos.

Na avaliação da dose de radiação absorvida, é muito importante a estimativa do número de metáfases a serem observadas. Quanto maior a dose de radiação, menor o número de metáfases que se precisa estudar para a estimativa da dose absorvida. Nas exposições altas, a análise de cem metáfases é suficiente. Esse número poderá ser elevado para 500 quando a dose de radiação absorvida tiver sido pequena. □



As setas indicam aberrações cromossômicas em linfócitos de indivíduos expostos à radiação no acidente de Goiânia. À esquerda, aberração do tipo dicêntrico; à direita, do tipo anel cêntrico.

EM BUSCA DO CÉSIO

Joyce Landmann Lipsztein e Adriana T. Ramalho
Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Comissão Nacional de Energia Nuclear

As vítimas do acidente radiológico de Goiânia obviamente não portavam dosímetro físico (instrumento capaz de medir a dose de radiação absorvida), como fazem as pessoas ocupacionalmente expostas à radiação ionizante. Por essa razão, foi preciso submetê-las aos métodos de dosimetria biológica, os únicos capazes, no caso, de avaliar o grau de exposição ao ^{137}Cs . Após o acidente, foram identificados indivíduos que sofreram apenas irradiação e outros que, além disso, se contaminaram externamente (na pele) e internamente, através de alimentação contaminada e/ou de absorção intradérmica. Em ambos os grupos, a dose de radiação absorvida foi estimada com base na dosimetria citogenética, cuja metodologia está explicitada em "O cálculo das aberrações", à página 27 desta publicação.

Pelo método de dosimetria citogenética, foram feitas até o momento 60 estimativas de doses de radiação absorvida por pacientes expostos, que apresentavam ou não sintomas dessa exposição. Os resultados estão no quadro abaixo:

Dose estimada (em rads)	Número de casos estimados
0	14
1 a 100	27
101 a 200	6
201 a 400	5
401 a 600	6
601 a 700	2
> 700	0

Indivíduos contaminados internamente necessitavam de uma terapia adequada à eliminação do césio, que, incorporado ao organismo por inalação ou ingestão, continua a irradiá-lo. A avaliação da contaminação interna — e a conseqüente triagem das pessoas que precisavam dessa terapia — foi feita com base na quantidade de material radioativo presente na urina excretada. Detectados os casos de contaminação interna (65 pessoas), teve início o tratamento com cápsulas de azul-da-prússia, que acelera a eliminação do césio, principalmente pela excreção fecal. Para

avaliar a dose interna e controlar o efeito do medicamento, amostras de fezes e urina eram diariamente colhidas e processadas no IRD, no Rio de Janeiro. A comparação da excreção nas fezes e na urina é essencial para definir a ação do medicamento e sua dosagem. Até 22 de dezembro passado, haviam sido analisadas 3.250 amostras de urina e fezes de indivíduos vitimados pelo acidente de Goiânia.

Como complemento a essas análises, foi instalado pelo IRD no Hospital Geral de Goiânia, numa sala revestida de chumbo para reduzir a interferência da radiação natural, um contador de corpo inteiro — equipamento dotado de um detector de radiação de alta sensibilidade que permite a identificação e a quantificação de material radioativo no interior do organismo humano. Os indivíduos a ser monitorados, vestidos com macacões descartáveis, permanecem sob o detector durante dois minutos aproximadamente. A atividade mínima detectável para o ^{137}Cs , a um nível de confiança de 95%, é da ordem de 9,3 kBq (0,250 mCi).

Os indivíduos que, direta ou indiretamente, mantiveram contato com pessoas ou com áreas contaminadas estão sendo examinados com esse equipamento. Até 20 de janeiro passado, haviam sido monitorados cerca de 300 indivíduos de ambos os sexos, com idade de alguns meses até 72 anos. Os resultados variam entre valores abaixo de 0,250 mCi até aproximadamente 1 mCi (37 MBq). O contador de corpo inteiro continuará montado em Goiânia até que sejam feitas as avaliações pormenorizadas de todas as pessoas que sofreram contaminação interna.

A partir dos dados fornecidos pelo contador de corpo inteiro e das análises de urina e fezes, desenvolveram-se modelos matemáticos que permitem estimar — de acordo com o sexo e a faixa etária — a dose de radiação que um indivíduo internamente contaminado por ^{137}Cs receberá ao longo de sua vida. Esses modelos permitem também determinar a quantidade de ^{137}Cs incorporada ao organismo de cada indivíduo e

avaliar o efeito real do tratamento com azul-da-prússia.

Em Goiânia foram encontrados 63 indivíduos cuja contaminação interna poderia ocasionar uma dose também interna de radiação superior ao limite aceitável de 0,5 rems estabelecido para o público, ao longo da vida. Desse total, nove foram contaminados com quantidades de ^{137}Cs que acarretariam, ao longo da vida, doses superiores a 100 rems. Cabe observar, entretanto, que a ação do azul-da-prússia se tem mostrado extremamente eficaz. Até janeiro, esse medicamento já havia reduzido à metade, em alguns casos, e a um terço, em outros — de acordo com a dose administrada —, a quantidade de césio que ainda deveria estar incorporada ao organismo.

Também com base nesses modelos matemáticos foram elaboradas normas para a alta dos pacientes. Quando o indivíduo é liberado, o produto de sua excreção pode ser normalmente descartado no esgoto, sem oferecer perigo de contaminação, isto é, obedece ao limite de 0,4 mCi/l para a liberação de ^{137}Cs , conforme a norma Gerência de Rejeitos Radioativos em Instalações Radioativas (CNEN-NE-6.05), elaborada em 1985 pela CNEN. Os indivíduos liberados podem reintegrar-se normalmente à comunidade, pois a quantidade de césio em seu organismo é de tal modo baixa que eles não constituem fonte de radiação prejudicial a outros indivíduos. Para a liberação, o nível de contaminação interna de um indivíduo deve ser tal que a taxa de exposição de outro indivíduo a ele abraçado seja inferior a 0,13 mR/h, ou seja, metade do limite permissível para exposição externa do público, que é de 0,25 mR/h. □

Integram também a equipe de monitoração individual do IRD Adelaide M. G. Azeredo, Ana Cristina H. Nascimento, Betânia Lobato V. Freire, Bernardo M. Dantas, Carlos A. N. Oliveira, Dunstana Rabelo de Mello, Josefa P. Villalobos, Lígia Julião, Luiz Bertelli Neto, Maria Cristina Lourenço e Maristela S. Santos. Colaborou com avaliação dosimétrica dos pacientes a dra. Íris Ferrari, da Universidade de Brasília.

A CONTAMINAÇÃO DO AMBIENTE

Epaminondas S. B. Ferraz

Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo

A cápsula que continha cloreto de céσιο foi aberta no quintal da casa nº 68 da rua 57, onde morava Roberto Santos Alves, por ele e seu amigo Wagner Mota, possivelmente no dia 13 de setembro de 1987. Algumas centenas de curies de ^{137}Cs foram derramadas em um pequeno pedaço de tapete colocado sobre o solo nu, à sombra de duas mangueiras (figura 1). Parte do material restou no recipiente, mais tarde levado para outro local. Outra parte foi transportada inocentemente por pessoas, inclusive crianças, encantadas com as características daquele pó luminescente, sem cheiro, sem gases, nem quente nem frio: enfim, aparentemente inofensivo. Mas a parcela maior do cloreto de céσιο concentrou-se praticamente num único ponto daquele pequeno quintal, cercado de muros e casas.

Se o poluente fosse um outro qualquer, teria sido dado imediatamente o alarme e, através de uma ação decisiva, embora delicada, eliminar-se-ia com relativa facilidade todo o perigo. Porém, como as características peculiares da radioatividade não sensibilizam de imediato os órgãos dos sentidos, o acidente só foi descoberto depois de duas sema-



Luís Trimano

nas, tempo suficiente para a disseminação, verificada por vias distintas e favorecida pelas condições atmosféricas. Nessa primeira fase, segundo dados do 10º Distrito de Meteorologia (Disme) do Ministério da Agricultura, sediado em Goiânia, no dia 21 de setembro choveu 25,2 mm; no dia 23, 18,4 mm; e, nos dias 27 e 28, mais 8,7 mm em cada um. Tais

chuvas foram precedidas de ventos e entremeadas por períodos de forte insolação. Nesses 15 dias, a temperatura média foi de 26,4° C.

Descoberto o acidente, técnicos da CNEN isolaram com tapumes cinco residências da rua 57 (cerca de 1.000 m² de área), retiraram o pedaço de tapete altamente radioativo e despejaram sobre o ponto crítico algumas latas de concreto, para atenuar um pouco a radiação no ambiente. Pode-se dizer que, nesse momento, iniciou-se uma segunda fase de contaminação: as pessoas não podiam mais circular livremente pelo local mas ali permaneciam cães e galinhas; embora aquela pequena área tivesse sido coberta com o concreto, o solo continuou desprotegido, sujeito às intempéries; helicópteros de rastreamento sobrevoaram o local, provocando nuvens de pó radioativo e espalhando folhas das mangueiras contaminadas. Essa situação perdurou até o dia 24 de outubro, quando os responsáveis foram alertados por este autor de que plantas situadas a 60 m de distância do ponto crítico já estavam atingidas.

Já se haviam passado 40 dias quando foram tomadas algumas providências:

eliminou-se a copa das mangueiras principais e começou-se a exercer maior controle sobre as condições ambientais, através de uma equipe específica e permanente de técnicos em poluição ambiental, que passaram a fazer rigoroso monitoramento do solo, das plantas e do ar. Porém, nessa terceira fase, até o dia 6 de dezembro, permaneceram as condições para a disseminação da poeira radioativa, pois o solo continuou a descoberto e sujeito às intempéries.

Uma quarta fase do processo de contaminação ambiental teve início na segunda semana de dezembro, com a chegada ao local das equipes de descontaminação, com suas pesadas máquinas escavadeiras e de transporte. No dia 7 de dezembro, as mangueiras foram arrancadas e o solo altamente contaminado começou a ser escavado. Durante vários dias houve grande movimentação de terra, parte da qual se espalhou pelas redondezas na forma de poeira, apesar das chuvas e da irrigação proposital realizada com o intuito de evitá-la. Os cuidados também não conseguiram impedir que parte da lama formada se espalhasse pela região.

Cem dias após a liberação do césio, uma área considerável da zona urbana de Goiânia estava contaminada. Felizmente, era pequena a região com índices preocupantes de radiação.

A mangueira ao pé da qual foi derramado o césio era uma árvore bem desenvolvida, de talvez 40 anos, tinha copa bem formada, quase esférica, com aproximadamente 4 m de raio. O tronco, até as primeiras bifurcações, media 4 m de altura e tinha diâmetro médio de 65 cm. O sistema radicular pivotante atingia 2,40 m de profundidade; no sentido horizontal, pouco abaixo do nível do solo, as raízes avançavam de 3,50 a 4,30 m. A copa, desproporcional às raízes e ao tronco, mostrava ter tido seu crescimento controlado em anos anteriores. Em meados de outubro, a árvore já apresentava alguns frutos maduros. A pouco mais de um metro dessa primeira mangueira, existia uma outra de menor



Fig. 1. Local onde foi aberta a cápsula de ^{137}Cs , podendo-se ver o pedaço de tapete e uma das mangueiras.

retirados os troncos e as raízes. Alguns dados colhidos nos primeiros 40 dias permitem um interessante estudo daquele microsistema solo-planta-atmosfera. O cloreto de césio derramado sobre o solo, bem em cima das raízes superficiais, foi facilmente absorvido. Em pouco tempo, disseminou-se por todas as partes da árvore: raízes, caule, galhos, folhas e frutos. As elevadas temperaturas diárias, as chuvas abundantes, que chegaram a totalizar 150 mm no período, e o fato de a planta estar em fase de maturação dos frutos contribuíram para o rápido desenvolvimento do processo. A intensa evapotranspiração, de 3 a 5 mm por dia, fazia com que aquelas árvores trocassem totalmente seu conteúdo de água a cada quatro ou seis dias. O balanço hídrico do solo mostra que, a partir do dia 23 de setembro, havia plena disponibilidade de água.

O césio derramado na superfície do solo (figura 2) penetrou nele alguns centímetros por ação da água das chuvas e foi parcialmente absorvido pelo sistema radicular da mangueira, incorporando-se à seiva bruta. Pelo xilema (vaso condutor da seiva bruta), tal como ocorre normalmente, a água absorvida e os sais nela dissolvidos chegam até as folhas, onde a seiva é elaborada; é então distribuída a todos os órgãos da planta, inclu-

sive os frutos, e desce pelo caule através do floema (vaso condutor da seiva elaborada) até atingir as raízes. Análises feitas no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), da USP, em Piracicaba, em amostras coletadas no dia 19 de outubro, identificaram folhas contaminadas com ^{137}Cs num nível de $3 \text{ a } 4 \times 10^6 \text{ Bq/kg}$ e pedaços de casca e lenho periférico nos quais a contaminação estava em torno de $1 \times 10^6 \text{ Bq/kg}$. Tanto a polpa como as sementes dos frutos maduros apresentavam de 0,8 a 1,5 Bq/kg , enquanto os frutos verdes tinham de duas a três vezes menos radioatividade.

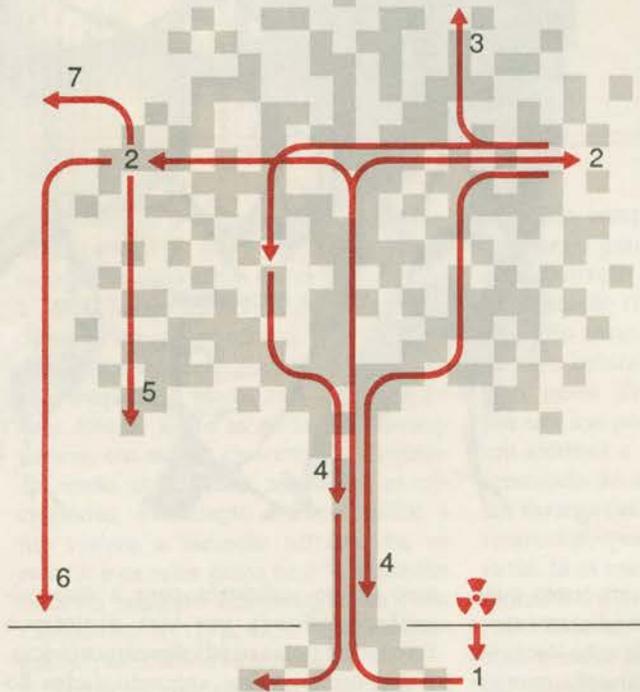


Fig. 2. Esquema da movimentação do césio na mangueira: derramado no solo (1), foi absorvido pelas raízes e, através da seiva ascendente, atingiu as folhas (2); daí distribuiu-se aos frutos (3) e ao lenho periférico (4). Da superfície das folhas, atingiu folhas inferiores (5), o solo (6) e áreas mais distantes (7).

No processo de transpiração, parte do céσιο acumulou-se na superfície das folhas e, por lixiviação, precipitou-se sobre as folhas inferiores ou sobre o solo; e ainda, por um outro meio qualquer de transporte, atingiu distâncias maiores. Dessa maneira, tanto a superfície do solo abaixo da copa, como terrenos, plantas, telhados e outros pontos, num raio considerável, foram contaminados pelo céσιο a partir da copa da mangueira principal.

A auto-radiografia de uma folha jovem da parte inferior da copa da mangueira (figura 3), colhida no dia 19 de outubro, apresentou uma atividade específica média de 3×10^6 Bq/kg. As zonas claras indicam maior radioatividade, ou seja, maior concentração de ^{137}Cs : assim aparecem o pecíolo e as nervuras. Mais interessante ainda é a grande quantidade de pontos e regiões claras nas diferentes partes da lâmina, indicando que houve autocontaminação, tanto por lixiviação foliar como por partículas de poeira radioativa levantadas do solo pelo vento. Os vários estágios de absorção foliar podem ser observados: as manchas redondas, de contornos bem definidos, devem-se a partículas recém-depositadas e ainda não absorvidas; as manchas difusas indicam o processo de absorção em desenvolvimento; e, no terço próximo ao ápice, a região bem clara indica não só uma alta atividade como a fase final do processo de absorção.

Pelo volume estimado das partes daquelas árvores (troncos e galhos, raízes e cobertura foliar) e pelos respectivos índices de atividade específica encontrados nas amostras colhidas no dia 19 de outubro, conclui-se que, naquele instante, as mangueiras continham em sua biomassa algo em torno de 2 a 5×10^{10} Bq de ^{137}Cs .

Mas convém lembrar que o processo é dinâmico e se desenvolveu dessa forma por mais de 30 dias, estimulado pelas condições meteorológicas favoráveis — energia solar intensa, ventos e chuvas — e pela alta disponibilidade de água no solo, capaz de proporcionar um fluxo respiratório de 150 a 250 litros de água por dia, no sentido solo-planta-atmosfera. Pode-se supor, portanto, que alguns curies de ^{137}Cs se tenham disseminado dessa maneira.

Durante esse período, o céσιο se espalhou principalmente por via aérea, em dois veículos: o pó levantado do chão por ação dos ventos e da turbulência provocada pelos helicópteros de rastreamento ou a matéria diretamente

transportada da copa da mangueira principal (figura 4). A auto-radiografia da folha permite imaginar a exportação do radionucléido através de mecanismos diversos, diretos — vento, insetos, pássaros — ou indiretos — águas de chuva que carrearam o poluente depositado nos telhados e em áreas pavimentadas para outros locais, onde se concentrou.

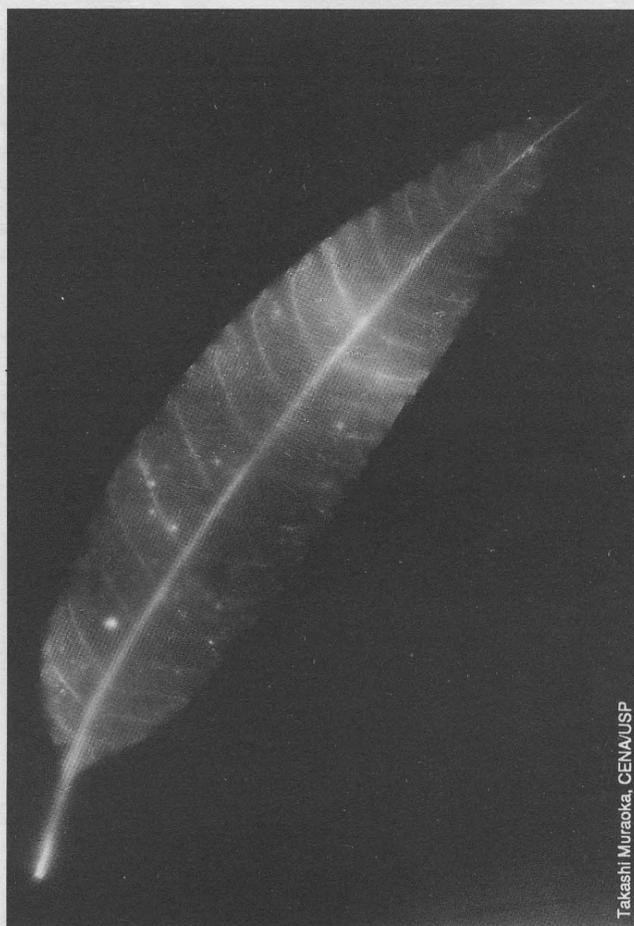
O processo de difusão do ^{137}Cs no solo, que tanto se temia a princípio, em

mesmo no sentido vertical, o deslocamento do céσιο é muito lento. Explica-se, assim, sua demora em atingir o lençol freático, que ali se situa a alguns metros de profundidade.

No dia 20 de outubro foram colhidas amostras de plantas dentro de um raio de 200 m de distância do foco principal da casa nº 68 da rua 57. Encontraram-se folhas de árvores com nível de contaminação entre 10^3 e 10^5 Bq/kg, polpa e sementes de manga madura com 10^3 a 10^4 Bq/kg, frutos de abacate e goiaba, hortaliças, plantas ornamentais e folhas de manjuba (uma árvore de sombra muito comum nas ruas do bairro) com radioatividade de igual ordem de grandeza. Algumas dessas plantas estavam isoladas em pequenos quintais e jardins, protegidos por muros e casas. Não poderiam, no entanto, ter sido contaminadas por via subterrânea: centenas de amostras de solo superficial e de perfis de solo, analisados pela equipe do IRD, comprovaram a baixa mobilidade do céσιο e sua localização perto da superfície. A via de transporte, nesse caso, foi aérea, e a contaminação das plantas se deu por absorção foliar direta ou através do sistema radicular, que recolheu o céσιο proveniente do *fallout* (deposição aérea).

Uma área de 15 ha foi contaminada por esses mecanismos em

diferentes graus de intensidade, quase de forma aleatória, principalmente em virtude da heterogeneidade do relevo da região — zona urbana com predominância de residências térreas, entremeadas de quintais, jardins e ruas asfaltadas. Apesar disso, os dados observados de 10^5 Bq/kg, no solo próximo ao foco, e de 10^2 a 10^3 Bq/kg, em pontos situados a 200 m deste, sugerem uma distribuição de intensidade inversamente proporcional à distância.



Takashi Muraoka, CENAU/USP

Fig. 3. Auto-radiografia de uma folha jovem da mangueira próxima ao local onde foi violada a bomba de ^{137}Cs . Um filme fotográfico especial, protegido da luz por um envelope de papelão, foi sensibilizado pela radiação que a própria folha emitiu. Ao se comprimir o envelope contra a folha, a radiação gama desta atravessou o papelão e sensibilizou o filme, revelado e copiado em papel fotográfico. As partes claras indicam maior concentração de ^{137}Cs .

razão da possibilidade de contaminação imediata do lençol freático, foi de menor importância. Por ser fortemente adsorvido às partículas de argila, o céσιο, assim como o potássio, tem baixa mobilidade no solo, bem inferior à do íon cloreto. Essa adsorção depende da quantidade e do tipo de argila, do teor de matéria orgânica e, conseqüentemente, do pH do solo. Tais forças de retenção, muito fortes, só são superadas pelas forças de absorção das raízes. Portanto,

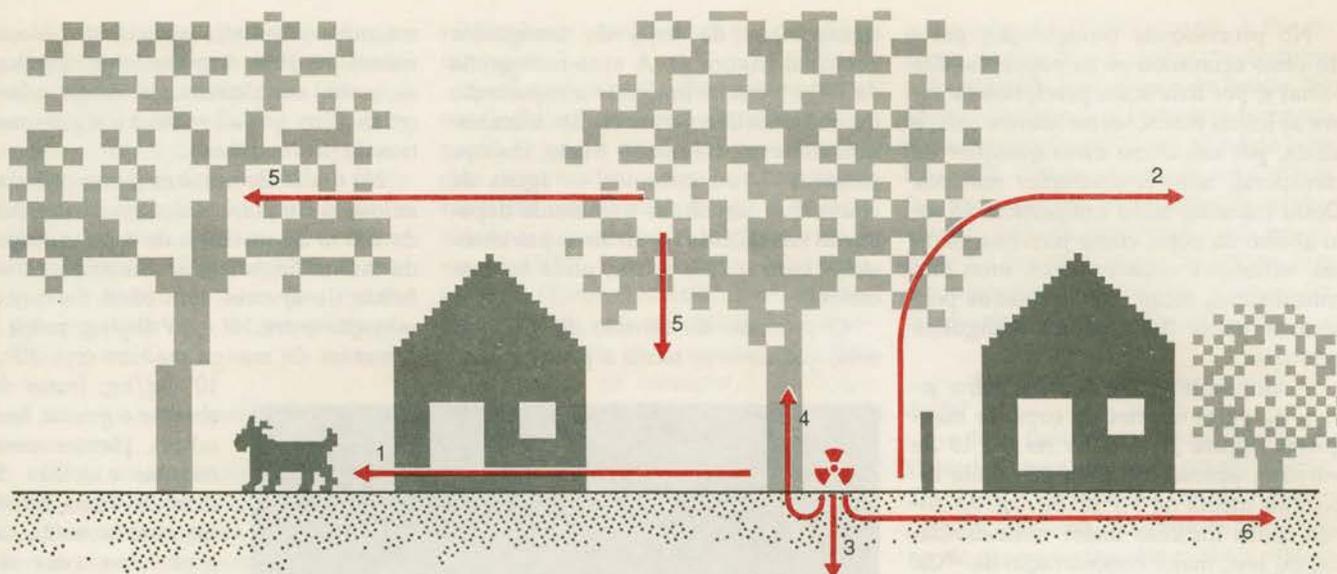


Fig. 4. Esquema dos diversos meios de propagação do ^{137}Cs : (1) transporte por pessoas e animais; (2) poeira levantada do solo; (3) penetração vertical; (4) absorção pelo sistema radicular da mangueira; (5) transporte das folhas para o solo, plantas e telhados próximos; (6) movimento horizontal no solo.

Na maior parte desses pontos, as amostras de perfis de solo revelam que o ^{137}Cs se depositou na superfície e se difundiu posteriormente, concentrando-se nos primeiros 15 ou 20 cm, numa distribuição exponencial negativa em relação à profundidade (figura 5). Perto das árvores de grande porte, em virtude da ação redistribuidora do sistema radicular, os perfis mostram uma outra região de concentração em torno de 50 a 60 cm de profundidade. Porém, mesmo em locais de alta contaminação — exceto, evidentemente, no foco principal —, o césio não foi, por esses mecanismos, além de 80 a 90 cm de profundidade.

Computando-se esses dados, chega-se à conclusão de que 1 ou 2 Ci de ^{137}Cs se espalharam no ambiente próximo por todas as vias descritas, no período considerado de 40 dias. Processo semelhante ao ocorrido em torno do foco principal pode também ter-se desenvolvido em pelo menos outros dois ou três focos secundários, não muito distantes do primeiro, como os dois ferros-velhos. Num quadrilátero hipotético de 200 x 1.000 m que engloba cinco pontos importantes de contaminação, calcula-se que a atividade total depositada na superfície do solo seja da ordem de 6 a 10 x 10¹⁰ Bq, ou seja, de 2 a 3 Ci.

Portanto, uma área considerável da cidade de Goiânia foi contaminada, o

que poderia perfeitamente ter sido evitado. Só três meses depois do episódio é que foi iniciada efetivamente a descontaminação do foco principal, na rua 57. Para treinar equipes, desenvolver métodos e programar as ações, a CNEN deci-



Fig. 5. Distribuição exponencial da radioatividade em solo nu (A) e junto de uma árvore de grande porte (B).

diu — corretamente, aliás — atacar primeiro os outros pontos de menor concentração de material radioativo. Assim, as operações na rua 57 puderam ser rápidas, precisas e bem coordenadas, embora as dificuldades se mostrassem muito maiores do que nos outros focos.

É evidente que os primeiros 15 dias, quando a violação da cápsula ainda era desconhecida, foram decisivos para a disseminação do poluente. Descoberto o episódio, porém, teriam sido menores

os danos ambientais se tivessem sido tomadas providências imediatas e bem orientadas. Ao contrário, não foram adotadas nem mesmo medidas simples, como o corte das duas mangueiras altamente contaminadas, a cobertura do solo nu do pequeno quintal com um lençol plástico, o desvio das águas de chuva ou o impedimento à circulação de pequenos animais.

O episódio de Goiânia mostrou nosso despreparo para resolver problemas desse tipo, que exigem ações rápidas e decisivas, técnicas especializadas e um comando que, além de enérgico, tenha plena consciência ambiental. Os entraves políticos e burocráticos, a indefinição de responsabilidades, o inusitado do fato, a prioridade dada a outras emergências — a saúde das pessoas contaminadas, por exemplo —, o número limitado de técnicos e a ausência, nas primeiras semanas, de um comando das operações retardaram as providências e contribuíram para o agravamento da contaminação do ambiente. Tecnicamente, apesar das dificuldades, fomos capazes de enfrentar a situação. Mas ficou comprovada a incompetência dos nossos poderes públicos. □

Colaboraram os professores Virgílio Franco do Nascimento Filho, Elisabete Tenadai Fernandes e Luís Carlos Pessenda (da Seção de Radioisótopos do CENA), Salim Simão, Antônio Enedir Boaretto, Takashi Muraoka e Antônio Enedir Boaretto (do CENA e da Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz), além da presidência da CNEN e da reitoria da USP.

MONITORAÇÃO DA CIDADE CONTAMINADA

Jean Remy D. Guimarães

Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Comissão Nacional de Energia Nuclear

Ao ser violada, a cápsula de ^{137}Cs perdeu aproximadamente 90% de seu conteúdo. Um complexo encadeamento de fatos resultou na contaminação intensa de três depósitos de ferro-velho, um quintal, uma repartição pública e, em menor grau, de diversas residências e locais públicos. Os de maior risco para o meio ambiente foram um quintal na rua 57 e dois depósitos de ferro-velho, nas ruas 6 e 26 A (figura 1). Nesses três pontos, a cápsula e fragmentos dela foram manipulados a céu aberto, o que contaminou diretamente o solo.

As construções, a quantidade e a diversidade dos materiais encontrados nesses locais, além da intensa radioatividade neles observada, não permitiram a imobilização do material por impermeabilização ou por outro processo. O cloreto de céσιο, altamente solúvel, ficou, portanto, disponível para disseminar-se no meio ambiente, através da dissolução por água de chuva (com conseqüente infiltração no solo), escorrimento pela rede de água pluvial e de esgotos e dispersão aérea.

Esses focos, assim como outros de menor importância, estão no Setor Aeroporto, próximo ao centro de Goiânia. É um bairro de classes média e média baixa, totalmente urbanizado, constituído essencialmente de casas e sobrados onde são comuns árvores frutíferas e pequenas hortas. Todas as casas estão ligadas às redes de esgotos e de abastecimento de água. Ainda existem no bairro alguns poços artesianos, usados apenas em caso de falta d'água prolongada. As redes de esgotos e de águas pluviais convergem para o córrego Capim Puba, que deságua no rio Meia Ponte. Este cruza a cidade no sentido noroeste-sudeste.

Quando atinge cursos d'água na forma solúvel, o ^{137}Cs é fortemente retido por sedimentos de fundo e partículas em suspensão, que se tornam seus principais meios de transporte. Os organismos aquáticos o concentram em níveis

variáveis, mas elevados, no caso de plantas e animais de água doce. Ao dispersar-se por via aérea, o material deposita-se sobre solos e vegetais e pode ser absorvido por eles.

Considerando-se as características do acidente e dos locais afetados, as principais vias potenciais de exposição à radiação, para a população vizinha aos focos, são a inalação, a ingestão de frutas e hortaliças e a irradiação externa a partir dos focos de contaminação e da deposição no solo. No caso da população ribeirinha do Meia Ponte, as vias principais são a irradiação externa por sedimentos e a ingestão de peixes e de vegetais irrigados.

Desde o início de outubro vem sendo executado um programa de avaliação do impacto radiológico ambiental do acidente, coordenado pelo Departamento de Proteção Radiológica Ambiental (Depra), do IRD, com a colaboração da Superintendência do Meio Ambiente do Estado de Goiás e o apoio do Laboratório de Radioecologia de Furnas, da Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico (Cetesb) de São Paulo, do Centro de Desenvolvimento de Técnicas Nucleares (CDTN), da Nuclebrás, e de outros órgãos da CNEN.

Para decidir sobre a conveniência de medidas restritivas, como interdição de consumo de certos alimentos ou poda de árvores, estabeleceram-se como aceitáveis para a concentração de ^{137}Cs os seguintes limites: alimentos = 530 Bq/kg (peso úmido); água potável = 100 Bq/l; ar = 62 mBq/m³. Esses limites são mais restritivos do que aqueles internacionalmente recomendados para situações de emergência radiológica como a de Goiânia e correspondem, cada um, a uma dose anual de radiação de 1 mSv, que é a taxa de dose média oriunda de causas naturais.

A extensão da contaminação do meio ambiente e sua variação com o tempo têm sido acompanhadas através de medidas periódicas em amostras de água,

sedimento e peixes da bacia do rio Meia Ponte; água de abastecimento da cidade; e, nas proximidades dos focos de contaminação, água de poços, de chuva, aerossol (poeiras em suspensão), solo, frutas e hortaliças. Além disso, executam-se medidas da taxa de radiação em estações instaladas em diversos pontos da cidade. Até fins de dezembro, os resultados eram os que se seguem.

Através da rede de águas pluviais e de esgotos, o ^{137}Cs atingiu parte do curso dos córregos Capim Puba e Botafogo e do ribeirão Anicuns e chegou finalmente ao rio Meia Ponte, em cuja margem direita estão os principais focos. Várias coletas foram realizadas de outubro a dezembro, para análise da água, sedimento de fundo e peixes. Os gráficos A e B da figura 2 mostram a variação na concentração de ^{137}Cs em sedimentos de fundo, tomando-se como exemplos, respectivamente, a foz do ribeirão Anicuns e a represa Jaó. Em A, observa-se um rápido decréscimo até o início de dezembro e um pequeno aumento nesse mesmo mês, em conseqüência da intensificação dos trabalhos de descontaminação dos focos. Não se detectou o radionuclídeo em solução na água. Peixes coletados em novembro no Meia Ponte, a jusante da represa Jaó, apresentaram uma concentração de 200 Bq/kg. No que diz respeito à radioatividade, estavam, portanto, próprios para consumo.

A água de abastecimento da cidade é captada na margem esquerda da bacia do rio Meia Ponte, não afetada pelo acidente. Medidas periódicas em amostras coletadas nos reservatórios da cidade antes e depois do tratamento da água não revelaram a presença de ^{137}Cs . Apenas alguns poços vizinhos aos focos apresentaram concentrações próximas ao limite de detecção de 1,5 Bq/l. Suspeita-se que isso se deve à contaminação do próprio material de coleta. Concentrações significativas só foram observadas em um poço residencial desativado (aproximadamente 30 Bq/l, nível

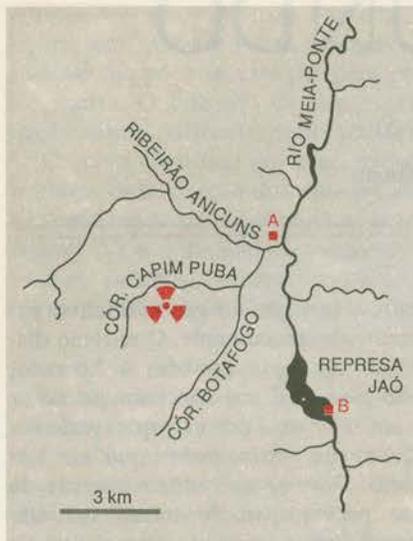


Fig. 2. Variação temporal da concentração de ¹³⁷Cs em sedimentos no ribeirão Anicuns (gráfico A) e na represa Jaó (gráfico B).

inferior ao limite estabelecido) e em outro localizado dentro de um ferro-velho contaminado (510 a 950 Bq/l). Este último, na rua 26 A, foi aterrado e concretado.

Centenas de amostras de solo superficial, de árvores frutíferas (folhas e frutos) e de hortaliças foram coletadas para avaliar a extensão e a intensidade da deposição aérea. Registraram-se concentrações superiores aos limites estabelecidos em diversos exemplares dessas plantas, sempre circunscritos a um raio de 50 m. As ações corretivas incluíram a retirada de todos os frutos e das hortaliças, a poda das árvores, a remoção dos solos superficiais e a rega dos terrenos com potássio, a fim de acelerar os processos naturais de lixiviação do ¹³⁷Cs para as camadas inferiores do solo.

Assim como ocorreu com as plantas, as concentrações em solos diminuíam rapidamente com a distância em relação aos focos. A deposição não seguiu um padrão homogêneo, mas, de forma geral, os solos apresentaram valores de até 90.000 Bq/kg num raio de 50 m a partir dos principais focos. Esses valores caíram para a faixa de 100 a 2.000 Bq/kg até 200 m de distância. Os solos situados dentro dos focos de contaminação — e nas vizinhanças imediatas — que apresentavam taxas significativas de radiação externa foram retirados e substituídos por solo limpo ou concretados. Assim, eliminou-se a principal fonte de ¹³⁷Cs disponível para dispersão aérea. Os demais solos, a depender de seu nível de contaminação, estão sendo retirados até 10 cm de profundidade e substituídos por solo limpo ou regados com potássio, alumínio e cloreto de amônia, para acelerar a lixiviação.

Para coleta de deposição total (água de chuva e poeiras), onze estações foram montadas no Setor Aeroporto. Em nenhuma das amostras se detectou ¹³⁷Cs. Nesse mesmo setor, instalaram-se três amostradores de ar para coleta contínua de partículas em suspensão, na direção preferencial dos ventos em relação a cada foco, a distâncias de 20 a 100 m. A concentração no ar foi baixa e variável. O limite de 62 mBq/m³ só foi atingido durante uma semana, no amostrador da rua 26 A, a 20 m do ferro-velho, durante os trabalhos de remoção do material contaminado.

Nos quintais e jardins residenciais ao redor dos focos das ruas 6, 26 A e 57, num raio de 180 m, foram dispostas estações fixas para medida de dose de radiação, num total de oito por foco. Essas estações consistem em um dosímetro termoluminescente (TLD), montado em um suporte a 1 m do solo. A análise posterior dos TLD indica a quantidade total de radiação recebida durante o período de exposição. Além dessas estações fixas, foram colocados TLD em residências próximas aos tapumes que isolaram os focos de contaminação e em locais sabidamente não afetados pelo acidente, de forma a determinar a taxa normal de radiação da cidade. Essa providência complementa os mapeamentos já realizados em diversos momentos com leitura de taxa de dose instantânea em monitores portáteis.

Abadia de Goiás, o local do depósito provisório do material radioativo retirado dos focos de contaminação, fica a cerca de 20 km a sudoeste de Goiânia, em local pouco habitado, com atividade de forma geral restrita à agropecuária. O material radioativo foi acondicionado

em tambores, caixas e *containers* metálicos, colocados sobre bases de concreto e abrigados da chuva. Sua contaminação externa era controlada antes do transporte.

O depósito de rejeitos, portanto, não deverá representar uma fonte significativa de ¹³⁷Cs para o meio ambiente. Mesmo assim, o controle da radioatividade está sendo semelhante ao que se faz numa instalação nuclear. Inclui medidas de solo, pasto, produtos agrícolas, água subterrânea e de drenagem, ar e chuva, além de taxa de dose de radiação no depósito e em pontos de controle afastados dele. Em dezembro, após terem sido colocados no depósito aproximadamente 3.000 m³ de rejeitos, a concentração média dos solos coletados em seu interior, nas imediações da cerca, era de 30 Bq/kg.

Todas as atividades de controle da concentração de ¹³⁷Cs no ambiente aqui descritas serão mantidas e transformadas em rotina que se desenvolverá ao longo de vários anos. Apesar de os níveis de radiação em Goiânia estarem hoje situados dentro da faixa de variação da radiação natural no Brasil, é possível detectar ¹³⁷Cs em diversos pontos. Portanto, programas de pesquisa deverão ser implementados pela CNEN para aproveitar essa oportunidade única de estudar o comportamento desse radionuclídeo em solos, plantas e rios, num ambiente, em muitos aspectos, tipicamente brasileiro. □

Participaram da coordenação da equipe de meio ambiente em Goiânia: Elaine R.R. Rochedo, Elizabeth M.C. Vianna, Haroldo L.P. Azevedo, Jean R.D. Guimarães, José Marcus Godoy e Vândir A. Gouvêa.

RADIAÇÃO DE FUNDO

Roberto Alcântara Gomes

Instituto de Biologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

A vida na Terra apareceu e evoluiu sob constante bombardeio de radiações, algumas oriundas do espaço (raios cósmicos), outras provenientes de substâncias radioativas do planeta. A partir do século XIX, às fontes naturais de radiação somaram-se as produzidas pelo homem, tais como os raios X, as inúmeras aplicações médicas e industriais de radioisótopos e os contaminantes ambientais gerados pelas explosões nucleares. Assim, os seres humanos estão permanentemente expostos a uma radiação de fundo, que é a soma da radiação natural com a artificial. Ela corresponde, em média, a uma dose equivalente de quase 2,5 mSv por ano, como se vê na figura.

As radiações cósmicas primárias são constituídas de prótons (85%), partículas alfa (14%) e núcleos de números atômicos entre 3 e 26. Quando estes raios cósmicos primários, dotados de energias extremamente altas, interagem com os átomos existentes nas camadas mais elevadas da atmosfera, produzem-se outras radiações — raios cósmicos secundários. A dose oriunda dos raios cósmicos é muito influenciada pela altitude: em relação à observada no nível do mar, ela triplica a 2.000 m; é multiplicada por 160 a 10.000 m (altitude de cruzeiro da maioria dos jatos comerciais) e por 450 a cerca de 20.000 m (altitude dos vãos supersônicos). As doses variam também com a latitude — são maiores nos pólos que na zona equatorial —, pois os raios cósmicos são desviados pelo campo magnético da Terra.

Nas rochas que compõem a crosta terrestre, há diversos radionuclídeos, como o potássio-40 (^{40}K), o rubídio-87

(^{87}Rb) ou os átomos radioativos pertencentes às famílias do urânio-238 (^{238}U) e do tório-232 (^{232}Th). As doses de radiação provenientes desses radionuclídeos variam de local para local, dependendo da composição do solo; em geral, não ultrapassam 0,6 mSv/ano. Mas em algumas zonas da Terra as doses recebidas pela população são mais elevadas. É o que acontece na região de Guarapari (ES), onde, em razão da grande quantidade de areia monazítica (rica em tório), a dose pode atingir algumas dezenas de milisieverts por ano.

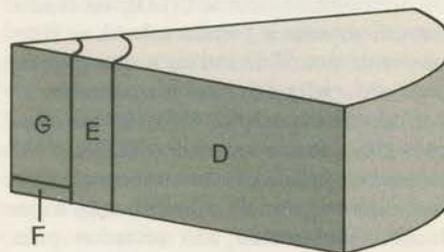
Como mostra a figura, os radionuclídeos situados no interior do organismo são a principal fonte de radiação de fundo. Entre eles, encontram-se o ^{40}K , o hidrogênio-3 (^3H), o carbono-14 (^{14}C) e, principalmente, alguns isótopos das famílias do ^{238}U e do ^{232}Th , que podem penetrar no corpo através do ar inspirado, da água e dos alimentos ingeridos. Nos últimos anos, particular atenção tem sido dada às doses provocadas pelo gás radônio — um radionuclídeo da família do ^{238}U ou do ^{232}Th . Existe em diversos materiais de construção e no solo, esse gás é progressivamente liberado; em ambiente mal ventilado, como acontece em países frios durante o in-

verno, a inalação do gás radioativo aumenta substancialmente. O radônio dissolvido na água também é liberado, razão pela qual sua concentração no ar de um banheiro, por exemplo, pode ser dezenas de vezes maior que em um quarto. Deve-se ao radônio metade da dose proveniente de fontes naturais recebida pelos seres humanos (cerca de 1 mSv/ano).

As aplicações médicas de radioisótopos e de raios X são responsáveis pela quase totalidade da dose de radiação artificial à qual o homem está exposto. Na radioterapia, as doses utilizadas são muito elevadas, mas, como o número de pessoas submetidas a essa prática médica é relativamente reduzido, sua contribuição para a dose global recebida pela população não é muito grande.

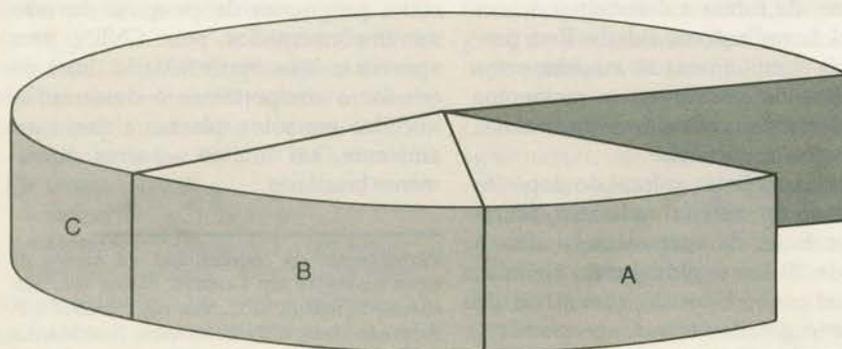
A partir de 1945, centenas de ensaios com bombas de fissão (atômicas) e de fusão (hidrogênio) liberaram na atmosfera muitos tipos de radionuclídeos — entre eles o ^{14}C , o ^{137}Cs , o zircônio-95 (^{95}Zr) e o estrôncio-90 (^{90}Sr) —, que contribuíram e ainda contribuem para a radiação de fundo.

A produção de energia elétrica em reatores nucleares constitui outra causa de disseminação de material radioativo. Existem hoje cerca de 350 reatores operando em quase 30 países. Eles são responsáveis pela produção de 15% da energia elétrica consumida no mundo. A obtenção do combustível, a liberação



Dose equivalente anual média à qual os seres humanos estão expostos

Origem natural	
(A) radiação cósmica	0,3 mSv
(B) fontes radioativas terrestres	0,35 mSv
(C) radioisótopos existentes no organismo	1,35 mSv
Origem artificial	
(D) radiações utilizadas por motivos médicos	0,4 mSv
(E) radioisótopos gerados em explosões nucleares	0,02 mSv
(F) radioisótopos gerados para fins de produção de energia elétrica	0,001 mSv
(G) outras fontes	0,01 mSv
Total	2,431 mSv



de detritos durante o funcionamento e a produção de rejeitos radioativos redundam em doses adicionais recebidas pelos seres humanos.

O acidente ocorrido no reator nuclear de Tchernobyl, na União Soviética, liberou dezenas de milhões de curies de isótopos radioativos, especialmente o iodo-131 (^{131}I) e o ^{137}Cs , provocando acréscimo da radiação de fundo (ver "Tchernobyl um ano depois: o que houve, afinal?", em *Ciência Hoje* nº 32).

Alguns tipos de relógios luminosos, de detectores de fumaça e de pára-raios, além de aparelhos de televisão a cores, são outras fontes de radiação artificial com que convivemos em nosso dia-a-dia. Mostradores e ponteiros de relógios luminosos são freqüentemente pintados com tintas que contêm radionuclídeos, como o rádio — o que pode acarretar doses bem superiores às provenientes, por exemplo, dos reatores nucleares utilizados para a produção de energia elé-

trica. Detectores de fumaça e pára-raios podem conter amerício-241 (^{241}Am), um emissor de partículas alfa, mas só oferecem riscos sérios se forem violados. Os aparelhos de televisão a cores mais modernos produzem doses muito reduzidas de raios X, quando utilizados em condições normais e submetidos a uma manutenção adequada. Alguns modelos mais antigos, no entanto, podiam provocar exposições mais significativas em seus usuários. □

DEPÓSITOS DE REJEITOS RADIOATIVOS

Eduardo Penna Franca

Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro

A função de um depósito de rejeitos é a de manter segregadas substâncias tóxicas ou agressivas por um tempo suficientemente longo, para possibilitar a sua degradação, de tal modo que o eventual retorno à biosfera não provoque um risco inaceitável para os seres vivos (ver "Lixo atômico: o que fazer?", em *Ciência Hoje* nº 12).

Os depósitos ou aterros sanitários de lixo urbano, por exemplo, induzem a biodegradação de substâncias orgânicas, a decomposição de objetos metálicos ou inorgânicos para formas mais solúveis e, finalmente, a retenção em solos ou a diluição lenta em corpos d'água. Materiais mais resistentes, como cerâmicas e vidros, podem no entanto persistir no meio ambiente por milênios.

As estações de tratamento de esgoto sanitário promovem a oxidação da matéria orgânica fecal, a destruição de bactérias patogênicas pelo cloro e a separação do efluente líquido e do lodo, o qual pode ser usado como fertilizante. Rejeitos industriais ou agrícolas são enterrados ou tratados e mantidos temporariamente em lagoas de decantação, com as mesmas finalidades: degradação biológica ou química, precipitação dos sólidos e liberação controlada do efluente. Os casos de maior risco exigem insulubilização ou construção de barreiras de concreto e outros materiais.

Em todas essas situações, o maior risco provém de substâncias tóxicas pouco biodegradáveis e de elementos químicos que mantêm para sempre sua toxicidade em qualquer forma química, como o mercúrio, o arsênico e o cádmio.

Os átomos radioativos, naturais ou artificiais, têm no meio ambiente as mesmas propriedades e o mesmo comportamento que os correspondentes átomos estáveis. A diferença é que, sendo instáveis, eles emitem radiações ionizantes — alfa, beta ou gama — e se transmitem em outro elemento distinto. Este é freqüentemente estável, mas, se ainda for radioativo, o processo se repete. Denomina-se meia-vida o tempo necessário para que a metade dos átomos de um determinado radionuclídeo se transmute e, conseqüentemente, perca metade de sua atividade. Decorridas seis meias-vidas, essa atividade estará reduzida a 1,6% da original; decorridas dez meias-vidas, terá caído para a insignificante fração de 0,09% da inicial. Desse modo, para os radionuclídeos de meia-vida curta ou média, o próprio decaimento se encarrega de eliminá-los.

Os repositórios de rejeitos radioativos visam, portanto, segregar essas substâncias por um tempo suficientemente longo para que sua radioatividade, por decaimento espontâneo, se reduza a valores tão baixos que seu eventual

retorno ao contato com os seres vivos não implique riscos significativos. Os rejeitos de Goiânia, por exemplo, que só contêm ^{137}Cs diluído em solos e em outros materiais, precisarão ser mantidos no futuro depósito definitivo por um período de 150 a 180 anos.

Para decidir sobre as características da construção de um depósito de rejeitos e sobre sua localização, deve-se levar em conta que os efeitos deletérios das radiações ionizantes sobre os seres vivos, cuja gravidade depende da dose absorvida, podem ser causados por irradiação à distância ou por contaminação.

No caso desses depósitos, evita-se a irradiação interpondo-se uma distância adequada entre as fontes radioativas e as populações mais próximas. A propagação no ar dos raios gama, emitidos em todas as direções por uma fonte radioativa, é idêntica à dos raios de luz produzidos por uma lâmpada elétrica: num e noutro casos, a quantidade de raios que atinge um objeto qualquer cresce com o inverso do quadrado da distância interposta. Por exemplo: se, a um metro de uma fonte radioativa, um indivíduo recebe uma dose de 10 rad/h (elevada e absolutamente inaceitável), a 100 m estará exposto a uma dose de apenas 0,001 rad/h, o que corresponde a menos de 1% da radiação natural anual. A 1 km de distância, a dose será

insignificante e não mais mensurável pelos aparelhos monitores.

Além da distância, outro recurso para reduzir a irradiação é o emprego de materiais densos e espessos como blindagem. Em laboratórios, instalações hospitalares e industriais que trabalham com material radioativo, utiliza-se muito, para isso, o ferro e o chumbo. Para rejeitos, emprega-se preferencialmente concreto, rochas, solos ou argila.

Os raios alfa e beta são facilmente bloqueados por pequenas espessuras de materiais sólidos. Já a absorção de raios gama por blindagens depende da energia da radiação e do material utilizado, e segue uma lei exponencial. Para uma fonte de ^{137}Cs , por exemplo, que emite radiação gama de 662 keV, uma blindagem de chumbo de 2,5 cm de espessura absorve 90% das radiações. Com 13 cm, ela deixa passar apenas um milionésimo (10^{-6}) do feixe. É por isso que a fonte de Goiânia, dentro de sua blindagem de chumbo, podia ser tranquilamente usada dentro de um hospital, sem risco para os operadores. Mas fora do cabeçote de chumbo ela era capaz de produzir uma dose letal de radiação para quem se aproximasse a menos de um metro, por alguns minutos. O concreto é menos eficiente para bloquear as radiações gama. Mesmo assim, uma blindagem de 35 cm de espessura nesse material só permite a transmissão de 0,00001 (10^{-5}) das radiações do ^{137}Cs .

A contaminação do meio ambiente por radionuclídeos existentes num depósito de rejeitos ocorreria se eles fossem lixiviados por água de chuva ou subterrânea e migrassem através do solo ou do lençol freático. Nessas condições, poderiam alcançar o homem pela ingestão de água ou de alimentos que os tivessem absorvido. Outra via de dispersão dos radionuclídeos é a poeira transportada pelos ventos. Nos diversos tipos de repositórios, evita-se a contaminação do meio ambiente pelo estabelecimento de barreiras múltiplas: recipientes metálicos, materiais impermeáveis, como betume e vários tipos de argilas, e materiais estruturais, como ci-

mento, concreto e rochas, que também agem como blindagem. Para cada tipo de rejeitos, adotam-se soluções diversas.

Os critérios para classificar os rejeitos gerados no ciclo do combustível nuclear para produção de energia e nas inúmeras

aplicações mais usadas baseia-se na concentração dos radionuclídeos e, em parte, na origem dos rejeitos. Assim, estabelecem-se três categorias: rejeitos de baixo, de médio e de alto níveis.

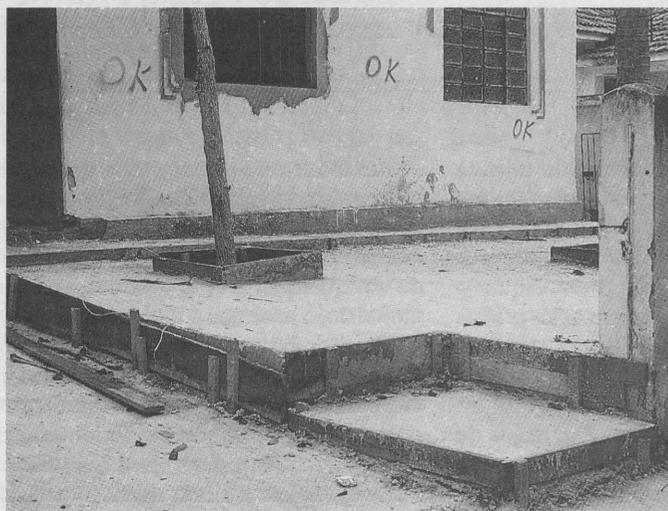
Os primeiros incluem uma larga variedade de materiais contaminados ou suspeitos de contaminação com radionuclídeos: papéis, roupas, objetos, filtros, resinas trocadoras, amostras, excreta de pacientes e outros materiais utilizados em laboratórios, hospitais, agricultura, indústria, solos etc. Embora mais de 90% dos rejeitos radioativos já gerados no mundo sejam de baixo nível, eles contêm apenas cerca de 1% da radioatividade total produzida pelo homem. Geralmente embalados em tonéis ou tambores de aço, de fibra de vidro ou de plástico, entre outros tipos de embalagens, são transportados para depósitos temporários ou permanentes.

Os mesmos materiais, em concentrações superiores, constituem os rejeitos de médio nível.

Estes exigem blindagem, geralmente de cimento, para reduzir a irradiação dos indivíduos que os manipulam e efetuam seu transporte. Os rejeitos produzidos pelo acidente de Goiânia foram, na sua grande maioria, de baixo nível. Mas uma pequena parte, particularmente a que restou da fonte e que foi entregue à Vigilância Sanitária, necessitou de blindagens espessas de cimento e chumbo e classifica-se como de nível médio.

Esses dois tipos de rejeitos podem ser segregados com segurança em depósitos temporários.

Para isso, basta que se disponha de áreas amplas, cercadas e vigiadas permanentemente; e de instalações em que as embalagens sejam protegidas da chuva e do contato direto com o solo, para retardar a corrosão. Nestas condições, a distância, a blindagem e a contenção



As ruas próximas aos principais focos de contaminação foram isoladas com tapumes, para não permitir o acesso do público, e forradas com plástico, para impedir o contato com o solo contaminado e evitar a dispersão do material radioativo. O asfalto foi descontaminado quimicamente e lavado com aerjato. A casa da rua 26 A não foi demolida por apresentar baixo índice de radioatividade. Optou-se por sua descontaminação: as portas e janelas, mais contaminadas pelo manuseio, foram extraídas; as paredes, raspadas; o piso recebeu tratamento especial, combinando ações mecânicas e químicas, para a remoção do céso. Externamente, a vegetação contaminada foi arrancada, as camadas superficiais de terra, removidas, e todo o terreno, concretado. As residências com maior taxa de radiação, como as da menina Leide e a de dona Santana, foram demolidas. Após a demolição, retiraram-se camadas do solo (de até 1,5 m de profundidade), o terreno foi preenchido com brita grossa e argila e posteriormente concretado.

ras aplicações de radionuclídeos em medicina, agricultura, indústria e pesquisa levam em consideração a natureza química dos radionuclídeos e sua radiotoxicidade, a energia e o tipo de radiações emitidas, as meias-vidas e a concentração em termos de radioatividade. A classi-

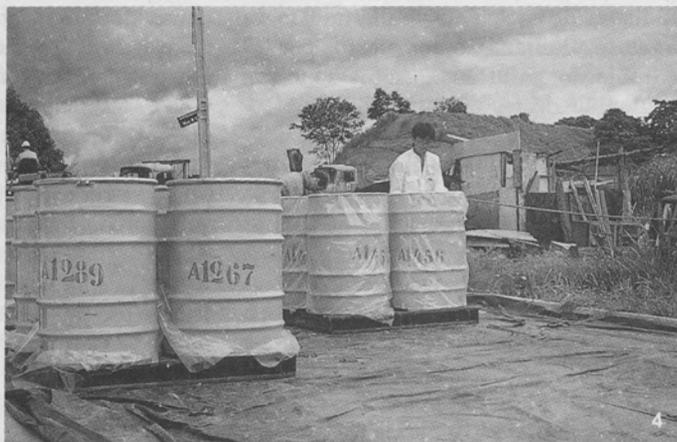
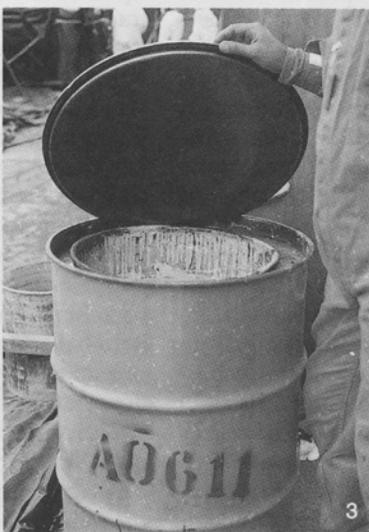
nos recipientes assegura que, fora da área restrita, as doses de radiação sejam insignificantes, correspondendo a uma fração tão baixa quanto a que se estipule como tolerável da radiação natural.

A longo prazo, a segregação desses materiais é mais segura em repositórios permanentes. A seleção dos sítios para essas instalações deve ser precedida de estudos ecológicos e de avaliação de impacto. Fatores como baixa densidade de população nas vizinhanças, pequena precipitação pluviométrica ou solos argilosos são favoráveis — porque reduzem os custos —, mas não decisivos. Dependendo do nível de radioatividade e da meia-vida dos radionuclídeos, os tambores podem ser enterrados em trincheiras superficiais ou profundas e cobertos com argila compactada, que é um excelente absorvente de radionuclídeos. Em alguns casos, valas, caixões ou monolitos de concreto são construídos em torno dos recipientes. Minas e túneis ferroviários desativados têm sido utilizados em alguns países. Deve ser previsto, ainda, um sistema que permita monitorar periodicamente a possível mobilidade dos radionuclídeos no solo e no lençol freático.

Rejeitos de alto nível são os próprios elementos combustíveis de urânio já utilizados ("queimados") em reatores nucleares ou os que resultam do reprocessamento desses elementos combustíveis. O reprocessamento visa recuperar o urânio não utilizado e o plutônio, que é físsil e pode ser

empregado em outros reatores ou em bombas atômicas. Ele deixa, como rejeitos, líquidos de elevadíssima radioatividade que contêm os produtos de fissão e de ativação, bem como elementos transurânicos (mais pesados que o

urânio), inclusive uma parte de plutônio. Esse tipo de rejeito, correspondente a uma faixa entre 90 e 99% da radioatividade produzida pelo homem, representa cerca de 1 a 2% do volume total.



Os rejeitos radioativos são armazenados em tambores, caixas, VBAs ou *containers*, de acordo com o volume e o grau de radiação. Uma peça pequena mas altamente contaminada pode ocupar sozinha um tambor ou caixa. Se incapazes de atenuar os níveis de radiação, esses recipientes devem ser colocados em *containers*. Rejeitos com alto teor de contaminação podem também ser acondicionados em tambores com um cilindro interno isolado por concreto ou em VBAs, grandes recipientes em que se colocam tambores presos por ferragens e fixados com concreto (foto 6). Por sua ação corrosiva, os rejeitos líquidos devem ser misturados ao concreto. O lixo atômico de Goiânia foi transportado para o depósito provisório, a aproximadamente 20 km da cidade. Os diversos tipos de recipientes foram colocados sobre bases de concreto e cobertos com lonas impermeáveis para abrigá-los da chuva. Esses rejeitos precisarão ser mantidos no futuro depósito definitivo por um período de 150 a 180 anos.

Os rejeitos de alto nível são o maior problema para o desenvolvimento da energia nuclear. A tecnologia para sua segregação definitiva ainda não foi devidamente equacionada. No mundo inteiro, os que provêm de reprocessamento estão sendo mantidos na forma de solução ácida, em tanques subterrâneos, permanentemente refrigerados para remover o calor gerado pela elevadíssima radioatividade. Os elementos combustíveis "queimados" têm sido retidos em piscinas, no interior das instalações dos reatores nucleares, ou então em blindagens de concreto denominadas cascos, ventiladas a ar, à espera de soluções tecnológicas para a construção de repositórios permanentes.

Várias propostas têm surgido para a construção de um sistema de barreiras múltiplas que segreguem os rejeitos de alto nível, em condições de grande segurança, por períodos de centenas de milhares de anos e até de um milhão de anos: insolubilização dos rejeitos por incorporação em blocos maciços de vidro; contenção destes em espessos recipientes metálicos, de cobre ou aço inoxidável; colocação desses recipientes em poços profundos, escavados em rocha cristalina (granito, dolomita) ou em minas de sal-gema; preenchimento dos poços com argila compactada. Apesar das investigações em curso em vários países, a solução definitiva ainda está longe de ser alcançada. Os países que possuem um programa de pesquisa mais avançada nesse campo são a Suécia e a Suíça.

Como o homem não tem experiência em planejar instalações que se mantenham íntegras por centenas de milhares de anos, os geólogos têm assumido a liderança nas pesquisas sobre repositórios de rejeitos de alto nível. A geologia é capaz de determinar a idade de rochas e de interpretar processos geoquímicos e hidrológicos que ocorreram ao longo de bilhões de anos. Ela também tem condições de projetar para o futuro fenômenos que demandem tempos geológicos. Por outro lado, não existem na natureza muitos dos radionuclídeos de meia-vida muito longa e de alta toxidez presentes nos rejeitos de alto nível, tais como o plutônio e vários outros elementos transurânicos. Assim, as investigações são conduzidas estudando o comportamento dos seus análogos químicos naturais, ou seja, elementos que tenham o mesmo comportamento químico, como o urânio, o tório e as terras-raras.

O planalto de Poços de Caldas, em Minas Gerais, oferece condições excepcionais para essas pesquisas (ver "O lei-

tor pergunta", em *Ciência Hoje* nº 4). Formada entre 60 e 80 milhões de anos atrás por um processo tectônico intrusivo que trouxe magma para a superfície, a região sofreu, por ação de águas subterrâneas termais, intensas alterações geoquímicas e mineralógicas, além de intemperismo, o que provocou decomposição extensiva das rochas superficiais. Como consequência, formaram-se em pontos diversos do planalto inúmeros depósitos de minerais que contêm urânio, tório, terras-raras, alumínio, zircônio e outros elementos, o que faz da região um verdadeiro laboratório natural para investigações relacionadas a depósitos radioativos de alto nível. Se for possível compreender os processos pelos quais estes elementos se concentraram em determinados minerais e não mais migraram, talvez se possa imitar a natureza na construção dos repositórios.

A partir de 1982, instituições encarregadas do gerenciamento de rejeitos da Suécia, da Suíça, da Grã-Bretanha e dos Estados Unidos, em associação com o CNPq, a Nuclebrás, a CNEN, e com o apoio de grupos universitários da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e da Universidade de São Paulo, sob a coordenação do Instituto de Biofísica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, iniciaram um amplo projeto de pesquisas em Poços de Caldas. O objetivo é o de levantar parâmetros físico-químicos que permitam validar os modelos matemáticos dos repositórios de rejeitos de alto nível em desenvolvimento naqueles países. Embora a necessidade desse tipo de depósito seja remota para o Brasil, esse projeto pode representar uma contribuição técnico-científica importante do nosso país.

Os trabalhos já realizados permitiram demonstrar que, no morro do Ferro, que é o maior depósito conhecido de tório e de terras-raras, esses elementos químicos estão fortemente retidos em óxidos de ferro e de manganês. Apesar de o minério se encontrar na superfície do morro, exposto à erosão e à lixiviação, a remoção de tório e terras-raras é extremamente lenta, de tal forma que a água do córrego que drena a região pode ser bebida sem risco. Se as atuais condições persistirem, será necessário o imenso período de dez milhões de anos para que todo o tório e as terras-raras sejam removidos.

Na mina de urânio da Nuclebrás, observou-se que, ao longo de milhões de anos, esse elemento foi dissolvido por águas termais subterrâneas no estado oxidado (valência +6). Ao atingir re-

giões profundas, com ambiente redutor, essas águas provocaram a passagem do urânio para a valência +4, com consequente insolubilização e fixação nas rochas. O urânio se mantém nesta condição há centenas de milhares de anos, com migração desprezível.

Muito mais sérias do que os problemas de planejamento, construção e gerenciamento dos depósitos de rejeitos são as implicações sócio-políticas do assunto. Há consenso a respeito da necessidade e mesmo da urgência da construção de repositórios seguros. Mas cada localidade, município ou estado hipoteticamente cogitado para sediar essas instalações rechaça veementemente a idéia.

Afinal, mesmo a aceitação das múltiplas utilizações pacíficas da energia nuclear ainda hoje está comprometida pela associação com as catástrofes de Hiroxima e Nagasaki, com o imenso arsenal de bombas atômicas das grandes potências e com a possibilidade de um holocausto total. Outra questão de grande impacto negativo sobre a opinião pública é o efeito deletério das radiações sobre o homem.

Além disso, é muito difícil para o público em geral raciocinar em termos de riscos, de estatísticas, e sobretudo compreender a grande faixa de valores de doses de radiação ou a radioatividade das diversas fontes com que se lida, e que abrangem várias dezenas de ordem de magnitude. A opinião pública é, ainda, influenciada por aquela parte da comunidade contrária a qualquer uso da energia nuclear no país.

Dentro desse quadro, é problemático implantar depósitos de "lixo atômico". No entanto, o risco de não ter esses depósitos é muito maior que o de tê-los. Atualmente, os hospitais que possuem unidades de medicina nuclear, os laboratórios de várias universidades e de indústrias lançam nos esgotos e nos vazadouros de lixo seus rejeitos radioativos líquidos e sólidos. A radioatividade assim descarregada é muito superior àquela liberada pela usina nuclear de Angra dos Reis, em operação normal, ou à existente no rejeito sólido dos hospitais que trataram os pacientes de Goiânia. Ela é imensamente maior do que a radioatividade que seria liberada por um repositório de rejeitos.

Se houver responsabilidade e gerenciamento correto, os depósitos de baixo e médio níveis, assim como os de alta radioatividade atualmente em estudos, oferecerão riscos insignificantes para as populações, fora das áreas restritas. □

OS DESCAMINHOS DAS RESPONSABILIDADES

Vilma Figueiredo, Moisés P.S. de Quadros, Eduardo Biavati Pereira

Departamento de Sociologia, Universidade de Brasília

Ao contrário do inquérito policial, que busca indiciar criminalmente um indivíduo, o inquérito sociológico procura reunir elementos que permitam à sociedade civil o indiciamento político de instituições estatais ou privadas. No caso do inquérito policial, o processo é remetido à justiça para julgamento dos réus. No inquérito sociológico, aquelas instituições são postas à disposição dos cidadãos, para que estes, com base num julgamento racional não influenciado pela política partidária, exijam delas uma nova postura, voltada para os interesses da sociedade.

A expansão do conhecimento científico a partir do Renascimento coincidiu com a formação de uma sociedade de classes. Por isso, a responsabilidade pública precisou ser assumida por um poder distinto do das classes, pelo menos teoricamente: o Estado, que seria a garantia coletiva do bem-estar da sociedade. Mas na prática o Estado

moderno não consegue mais que manter essa sociedade de classes precariamente unida, e isso às custas de políticas assistenciais ou repressivas, financiadas pelos próprios cidadãos.

Com o advento da era nuclear, verifica-se uma mudança substancial nas relações sociedade/Estado: nem a sociedade pode mais expressar-se através de interesses imediatos de classe, nem o Estado pode se limitar à tradicional manutenção da ordem pública. A desordem pública e privada desencadeada pelo *day after* goiano demonstra que, quando o uso da energia nuclear se generaliza, trazendo a elevação das taxas de risco, tanto os interesses imediatos de classe (no caso, os interesses materiais das várias frações do capital goiano) como a manutenção da ordem pública são essencialmente afetados.

O episódio mostrou que não só a solidariedade nacional de classe pode converter-se rapidamente em discriminação estadual de classe, como os índices que medem a taxa mensal de segurança pública podem assumir um significado qualitativamente distinto. Por exemplo: mesmo que os índices de criminalidade em Goiânia se tivessem multiplicado por dez, a desordem social seria comparável ao estrago decorrente de um único crime — o roubo da cápsula de césio e sua violação.

Outro aspecto da questão diz respeito às atividades que almejam novos conhecimentos (a ciência) e às que buscam o controle da natureza (a tecnologia). Ambas estabelecem parâmetros de avanços tecnológicos e se caracterizam pela pretensão à racionalidade. Mas na prática, sob a influência de interesses sociais concretos, ciência e tecnologia deixam de ser neutras. E, no limite, a não-neutralidade pode assumir a forma de intensa irracionalidade, como no episódio de Goiânia, que lança luzes sobre as condições de produção e absorção de ciência e tecnologia pela sociedade e pelo Estado, no Brasil.



Luis Trimano

O uso pacífico da energia nuclear não significa apenas compromisso do Estado em não a empregar para fins bélicos, mas — e sobretudo — compromisso de garantir a segurança da população. Quando isso não ocorre, como em Goiânia, o uso pacífico dessa tecnologia deixa de ser um avanço e torna-se um pesadelo para a sociedade. Como superar esse pesadelo? Em primeiro lugar, pela politização da questão nuclear. As condições para tal também foram liberadas pelo *day after* goiano. O ponto de partida dessa politização deve ser a compreensão das novas relações entre Estado e sociedade, suas novas responsabilidades, direito e deveres diante da energia nuclear (ver "O programa nuclear brasileiro: um balanço", em *Ciência Hoje* nº 26, p. 82).

Por que ainda estamos tão longe disso? Há pelo menos duas hipóteses: uma conjuntural, outra histórica. De um lado, a predisposição natural do povo a politizar-se vem sendo canalizada (deliberadamente ou não) de forma irracional. Essa irracionalidade se manifesta, de um lado, nas discriminações que atingiram Goiânia, sua gente e seus produtos, e do outro, na tentativa desesperada dos goianos de esquecer o problema. Entretanto, a atitude racional seria procurar compreender o fenômeno em toda a sua complexidade. Um caminho bem mais difícil do que o que desemboca em acusações fáceis e apelos oportunistas. Mas quem assumirá a condução desse processo?

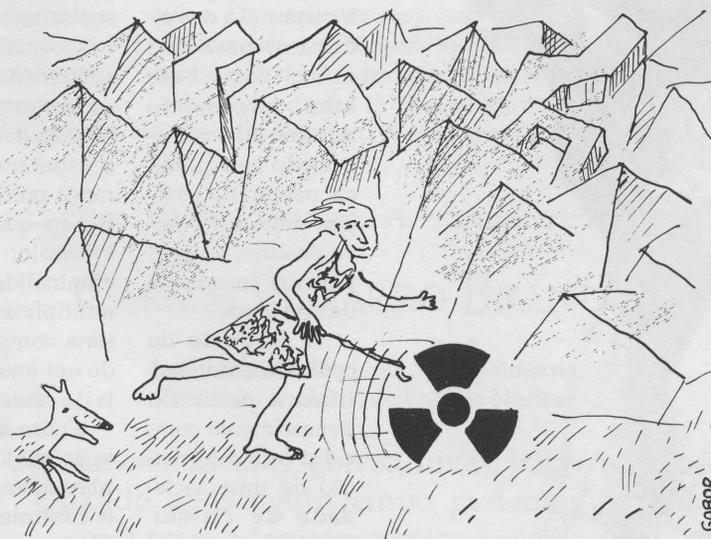
O outro entrave à politização da questão nuclear decorre de um fato histórico: no Brasil os processos de politização assumem caráter corporativista. Isso ocorre porque comumente busca-se politizar questões que não são de caráter geral, particularismos que, mesmo quando legítimos, são defendidos sob o manto do "interesse geral". E, contrariamente, as questões verdadeiramente de interesse geral não são politizadas.

Será que vamos passar impunemente pelo acidente de Goiânia?

A tragédia, em si, não garante a identificação responsável de seus componentes nem a ação consequente visando a controlá-los. Esse campo de exercício de competência e liberdade, tanto individuais como coletivas e institucionais,

é limitado pelas condições econômicas, sócio-culturais e políticas da sociedade e do Estado brasileiros. A questão que se coloca então é a natureza e a extensão do aprendizado com o acidente. Terá ele criado condições para ruptura com formas vigentes de cidadania e responsabilidade pública, ou ficará esse aprendizado nos limites de uma perplexidade geral e passageira? Quais as condições efetivas de politização da questão tecnológica a partir do acidente de Goiânia?

A oscilação entre regimes populistas e regimes autoritários na história política brasileira tem acarretado a irresponsabilidade cívica por parte do cidadão e a irresponsabilidade pública por parte do Estado. O cidadão delega direitos e deveres a uma autoridade que se impõe pela força ou pela sedução. Com isso, não tem responsabilidade e se exime de punição. O caso de Goiânia ilustra a situação limite em que o roubo de uma bomba de césio não pode ser tipificado como roubo, porque os dois cidadãos envolvidos ignoravam o que ela continha e, como foram vitimados pela radiação, o assunto vira tabu. De modo análogo, é a ignorância que absolve todos os outros personagens que expõem e espalham o césio. A clínica que abandonou o aparelho também é isenta de responsabilidades, porque a bomba esta-



tava obsoleta e o controle desse tipo de material cabe ao governo. Este é o grande alçôz, mas não o governo local, que não tem condições efetivas de fiscalização ou controle: a CNEN é a responsável. Mas também não o governo que a abriga: apenas a CNEN e alguns de seus representantes (ver "O monopólio da União sobre as atividades nucleares", em *Ciência Hoje* nº 5, p. 8).

Deixando de lado as críticas à CNEN, como instituição que centraliza não só a pesquisa e o desenvolvimento, mas também a fiscalização do setor nuclear, tê-la como responsável exclusiva pelo acidente acaba sendo a negação total de responsabilidades.

Uma das conseqüências mais palpáveis do acidente nuclear de Goiânia é, como vimos, a discriminação que a população, o comércio e a indústria dessa cidade e do estado de Goiás vêm sofrendo. Em termos gerais, essa discriminação expressa o desejo de particularizar o problema, circunscrevendo-o àquele estado, àquela cidade e, mesmo na cidade, ao nível das relações interindividuais. A discriminação esvazia então a natureza global da questão nuclear, reduzindo-a a um episódio particular, tanto mais restrito quanto mais diretamente afeto à vida de determinadas pessoas ou grupos sociais.

A particularização do acidente de Goiânia conduz assim a pelo menos dois tipos de comportamento político: de um lado, ao nível dos indivíduos, significa uma delegação da responsabilidade cívica ao Estado, que passa a ser o grande tutor; do outro, ao nível das instituições, reforça a prática histórica de uma apropriação corporativista de temas, restringindo fortemente a capacidade dessas instituições de extrapolar o imediatismo do problema. Ela exprime, pois, mais que uma reação à falta de informações confiáveis acerca da extensão do acidente e suas conseqüências, pois reafirma um estado de irresponsabilidade cívica e concorre para a não-politização do fato.

É claro que, se a irresponsabilidade política do cidadão decorre do caráter historicamente refratário do Estado brasileiro, a omissão das instituições representativas da sociedade civil não pode se justificar pelo mesmo motivo. Até porque a refratariedade do Estado é função, em última instância, do poder de organização, mobilização e pressão política dessas mesmas instituições. De qualquer forma, ao cidadão comum importa definir o responsável pelo controle da situação que lhe impõe a condição de vítima. Mas que responsável?

Em primeira instância, o culpado é o governo federal, porque são as ações

deste que são percebidas como incompetentes no trato da descontaminação das áreas isoladas. Os depoimentos dos moradores vizinhos a essas áreas deixam bem claro o descrédito que a CNEN inspira. Nessa medida, a denúncia policial de cinco pessoas pela polícia federal pode ser superestimada pela população. Se o fato tem importância em razão da impunidade generalizada que prevalece no país, também possui limites evidentes. A defesa dos acusados já declarou por exemplo que a tipificação dada pela polícia será fácil de derrubar nos tribunais. Certamente a criminalização ou a descriminalização jurídica do acidente segue lógica distinta do processo de politização. Na primeira existem limitações legais que a legitimidade inerente ao segundo desconhece.

Não podemos também esquecer o papel dos meios de comunicação na identificação do "grande culpado". A leitura que a mídia fez do acidente conduziu, em boa medida, a apontamento de algum responsável. Contribuiu ainda decisivamente para a estigmatização de que estavam sendo vítimas a população e a economia do estado de Goiás. O resultado só poderia ser a isenção do estado de Goiás de qualquer responsabilidade, e a transferência desta para o nível federal. Uma das resultantes desse comportamento da mídia é aparentemente paradoxal: ao mesmo tempo em que o governador passou a personificar a luta de cada cidadão goiano contra a discriminação, ele se transformou no grande beneficiário político do acidente, ao invés de sua vítima maior.

Com efeito, diante da questão que formulamos sobre as providências tomadas para controlar os efeitos do acidente, os entrevistados procuravam isentar a pessoa do governador de qualquer responsabilidade pelo despreparo técnico com que se atacava o problema. Os depoimentos descreviam o governador como homem público exemplar, lutando contra a estrutura federal incompetente e, por isso, culposa. Desta forma, a falta de competência dos técnicos, dos políticos "em Brasília" e mesmo a pressão da imprensa superdimensionaram o papel do governador, viabilizando a transferência a ele da responsa-

bilidade de cada um, enquanto cidadão, de politizar o problema.

Uma das nossas perguntas questionava o que eles — moradores — fariam se tivessem poder para administrar os efeitos do acidente. Todas as respostas convergiram para uma legitimação das ações que o governador tem desempenhado. Esse comportamento, é claro,



termina por confirmar a condição de vítima dessa população e consolidar a delegação de sua cidadania a outrem com poderes formais para "libertá-la" do problema. Desta forma, a não-politização do acidente de Goiânia por parte da população tem como efeito a repetição de um padrão populista de governo, que obstaculiza as possibilidades de que se discuta o caráter essencialmente geral desse acidente. O que temos então é uma minimização e mesmo uma naturalização do acidente.

Analisando, por outro lado, o comportamento das instituições civis — como os sindicatos, a Igreja, o movimento estudantil — com relação a uma tomada de posição que politizasse o problema em pauta, o quadro constatado não é nada positivo. Excetuando-se iniciativas do núcleo de acompanhamento do acidente (criado pela Universidade Federal de Goiás e pela regional da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência — SBPC), apenas a Federação das Indústrias do Estado de Goiás (FIEG) emitiu nota de esclarecimento a respeito do ocorrido. Nem a Federação dos Agricultores, nem a dos Trabalhadores na Agricultura ou a dos Trabalhadores na Indústria se posicionaram oficialmente.

A nota da FIEG deixava claro o caráter eminentemente classista da sua visão sobre as conseqüências do acidente, res-

tringindo qualquer possibilidade de politização que ultrapasse os limites de seus interesses mais imediatos. A nota cita exemplos de compradores tradicionais de produtos goianos que "suspendiam as aquisições e mais tarde se propunham a efetuar-las, desde que fosse pela metade do preço". O ponto central da nota coloca a FIEG como vítima de um acidente que se espera seja resolvido o mais rapidamente, pelo menos naquilo que lhe diz respeito.

O comportamento das instituições civis é tanto mais grave quanto maior poderia ter sido o espaço político a ser preenchido por sindicatos e movimentos sociais mais intimamente envolvidos com os efeitos do acidente. É o caso do Centro de Professorado Goiano (CPG) e mesmo do movimento estudantil. Por ocasião de entrevista com a diretora de uma escola pública próxima ao local — e também moradora das imediações

da rua 57 —, constatamos que nenhum membro da direção do CPG havia sequer ido a essa escola obter informações que possibilitassem uma ação mais engajada de apoio ao estabelecimento. Até onde pudemos averiguar, o CPG não coordenou nenhuma iniciativa com vistas a esclarecer pais e alunos ou a atenuar a discriminação da população da cidade para com os moradores das áreas vizinhas às interditadas.

No que se refere à atuação da Igreja, a entrevista realizada na paróquia que inclui as áreas contaminadas revelou que a idéia inicial do arcebispo de Goiânia era organizar uma grande campanha de solidariedade às famílias atingidas diretamente pela radiação. De acordo com informação prestada pelo padre entrevistado, a iniciativa foi desaconselhada pela CNEN. Prevaleceu a proposta da comissão interinstitucional criada pelo governo estadual, de utilização da igreja para palestras proferidas por técnicos da CNEN, com intuito de tranquilizar a população.

Quanto ao comportamento do sindicato médico e do Conselho Regional de Medicina, faz-se necessário ressaltar o caráter anticientífico que presidiu os primeiros socorros à população. Embora compreensível, o engano cometido — tratar os efeitos radioativos como mera dermatose — só seria justificável numa

sociedade onde a taxa de negligência com que os médicos tratam normalmente a população não fosse tão alta quanto no Brasil. Essa negligência generalizada, manifesta também no abandono da cápsula de césio pelo IGR, deve ser discutida não só pela população, como também pelos sindicatos de outras categorias, e não acobertada pelo manto do corporativismo.

A questão nuclear é uma questão geral, na medida em que, potencialmente, atinge toda a humanidade, independentemente de categorias sociais ou nacionais. O processo de atualização dessa virtualidade consiste na assunção de responsabilidades diferenciadas por diversos segmentos populacionais e instituições representativas. O acidente de Goiânia criou condições objetivas para ampliação da informação, reflexão e identificação das possibilidades de atua-

ção de cada um, isto é, de politização. Até o momento, porém, essas possibilidades se manifestaram em termos particularistas, pela discriminação e delegação de responsabilidades. Os interesses econômicos empenham-se em defender seus produtos sem questionar a política nuclear, que também lhes diz respeito. Não se verificou qualquer mobilização institucional além de um horizonte profissional. O sentimento generalizado é o da vítima, dentro de um acidente sobre o qual não tem responsabilidade. Fora de Goiás transparece o esforço para circunscrever o acidente aos limites do estado, ou da cidade de Goiânia. Ao silêncio e à discriminação acrescenta-se apenas a rejeição ao lixo atômico.

É evidente que qualquer tecnologia comporta uma dimensão construtiva e outra destrutiva, em relação aos impac-

tos que necessariamente provoca nas condições de vida e de trabalho. O avanço da tecnologia nuclear tem trazido benefícios incontestes para a humanidade, especialmente no campo de controle e tratamento de doenças, para exemplificar no nível dos elementos do acidente de Goiânia. Não cabe, portanto, nenhuma execração da tecnologia nuclear, a não ser por forças sociais obscurantistas. Mas sua aceitação passiva e não-vigilante revela irresponsabilidade política, por parte das instituições governamentais, das instituições civis ou do cidadão. É necessário redefinir as metas nas organizações da sociedade civil e reordenar as competências nas instituições governamentais, como, por exemplo, reestruturar a CNEN, de modo que toda a área de pesquisa e desenvolvimento nuclear fique subordinada ao Ministério de Ciência e Tecnologia. □

DIREITO À INFORMAÇÃO

José Paulo Cavalcanti Filho
Advogado

Goiânia carregará seu drama ainda por muito tempo, como um estigma, como um farol. Aprenderá a conviver com a discriminação, que não se limita aos poucos que tiveram contato direto com a radiação. Ao contrário, atinge todos os seus habitantes, os que lá estiveram à época do acidente e os que estão nascendo agora. O medo do presente é o medo do futuro, das incertezas do futuro, do desconhecido. Meses após o acidente, as pessoas mais simples continuaram buscando "atestados de limpeza radiológica", emitidos pelo governo em quatro idiomas, como quem busca uma certidão negativa na polícia para encontrar trabalho. Os mortos da radiação, enterrados em caixões de concreto, permanecerão segregados por 400, 500 anos de solidão. Mas Goiânia não poderá ter sido em vão.

Em muitos sentidos, Goiânia foi e continua sendo produto da falta de informação. Até hoje não se conhece com certeza a fração de césio efetivamente

recuperada. As rotas de dispersão do material radioativo, o nível de contaminação da vegetação e outras informações importantes não foram liberadas à comunidade científica.

Acidentes nucleares ocorrem em todo o mundo, com demasiada frequência. Até o ano passado, a literatura sobre o assunto listava ao menos 39 ocorrên-

"Ela era feia. Mas quando apaguei as luzes do ferro-velho e notei que ela brilhava, me apaixonei. Nunca pensei que aquela pedra maravilhosa fosse fazer isso comigo."

Devair Alves Ferreira, dono do ferro-velho em Goiânia

cias de grande importância, sobretudo nos Estados Unidos, União Soviética e Europa. Mas apenas com o acidente de Three Mile Island (TMI-2), em 1979, pudemos compreender inteiramente a dimensão da tragédia. Em 1974, foi publicado o documento *Primeira Avalia-*

ção Sistemática dos Riscos Ligados a um Programa Nuclear, denominado *Wash 1.400*. Em 1980, a Agência para a Energia Nuclear (AEN), da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Europeu (OCDE), constituiu um grupo de especialistas encarregados de elaborar um estudo sobre as hipóteses de acidentes graves em instalações nucleares.

Produzido com autonomia por especialistas de diferentes países, esse trabalho pode ser encontrado em qualquer livreria europeia.

Adotam-se, de modo geral em todo o mundo, certos padrões relativos a política nuclear. Nos Estados Unidos, essa política é coordenada, desde 1975, pela Nuclear Regulatory Commission (NRC), cujos cinco comissários, depois de aprovados pelo Congresso, são nomeados pelo presidente da república. Com enorme independência em relação às posições governamentais, funciona também no país o Advisory Committee on Reactor Safeguards (ACRS), composto por espe-

cialistas e representantes de entidades de pesquisa nomeadas pelo NRC. Nesse campo as mudanças foram muito consistentes desde a edição, em 1946, do Atomic Energy Act.

Na Alemanha, os órgãos nacionais não cuidam dessa matéria. A utilização pacífica da energia nuclear é um direito de cada um dos 11 estados (Länder), que aplicam leis e decretos editados pelo governo federal. O programa energético, no entanto, determina que os resíduos radioativos das usinas nucleares tenham sempre o mesmo destino — uma mina de sal ao norte do país. A partir do surgimento das chamadas “iniciativas populares” (*bürgerinitiativen*), a participação do povo alemão na definição da política nuclear vem se operando com eficácia. Sem grandes pretensões de organização, essa nova forma de associação busca encontrar respostas para problemas específicos, já tendo conseguido impedir a construção de novas usinas nucleares.

Na França há hoje 145 usinas nucleares em funcionamento ou em construção. Em 1973, foi criado o Conselho Superior de Segurança Nuclear, de composição diversificada, hoje com 40 membros, oriundos da Academia de Ciências, do magistério, da câmara dos deputados e do senado, de entidades científicas, da Central Geral de Trabalhadores (CGT), de sindicatos, entidades de proteção da natureza, e, em franca minoria, de membros das agências do governo. Este conselho deve fazer recomendações sobre segurança nuclear ao ministro da Indústria — um ministro civil, portanto. Mas, além dessa, o conselho tem inúmeras outras atribuições, como, por exemplo, a de constituir grupos de trabalho para estudar questões técnicas específicas. Cabe-lhe ainda propor e organizar a informação do público sobre os problemas relacionados à segurança nuclear, conforme prevê o artigo 5 do decreto 72.278/73. Considere-se também que o poder do estado é ainda limitado pela lei de 17.07.1978, que garante livre acesso aos documentos do governo, marcando o fim dos segredos administrativos. Esse texto é ainda complementado pela lei da motivação dos atos administrativos, de 17.07.1978, alterada em 11.07.1979. Mas apesar de todo esse amparo legal, os interesses econômicos em jogo não deixam de estar presentes. O novo depósito de rejeitos atômicos de Aube, próximo a

Ville-aux-Bois, que substituirá o centro de estocagem de detritos de La Hague, no canal da Mancha, não foi aprovado em nenhum dos 18 referendos realizados nas comunidades próximas ao sítio (para o que contribuiu o acidente de La Hague com a poluição do rio local por trítio). Mas esse novo depósito corre o risco de ser instalado porque representa empregos, subvenções, progresso. Uma atração irresistível quando se instala, em um espaço econômico determinado, a “psicose do declínio”.

No final de 1987, a Comunidade Econômica Européia (CEE) conseguiu produzir uma classificação única para os radionuclídeos, válida para todos os países: os de meia-vida curta (como o ¹³¹I, que leva apenas oito dias para ter sua atividade reduzida à metade); os de meia-vida superior a 10 anos (em que se inclui o ¹³⁷Cs, com meia-vida de 30

“Eu nem sabia que existia essa tal de radiação. Eu queria que alguém me explicasse como é que um médico, uma pessoa estudada, um fiscal sério, deixa uma peça tão perigosa numa casa completamente abandonada.”

Maria Abadia Motta, mãe de Devair

anos); e os de meia-vida longa (como o plutônio, cuja meia-vida é de 25 mil anos). Agora a CEE busca consenso em torno dos níveis de radiação permitidos para cada um desses grupos de radionuclídeos. Sem segredos.

Na verdade, a questão nuclear não é isolada. Ela se liga aos demais casos de descontaminação química, de substâncias tóxicas nos alimentos, de violência contra o meio ambiente. Liga-se também às indústrias de alto risco que não podem se submeter apenas a um controle através da Vigilância Sanitária. A experiência internacional indica, claramente, que o tratamento democrático da questão nuclear, em todos os lugares, baseia-se em dois princípios fundamentais: participação e informação.

Pensar a participação popular é pensar os limites ao poder da administração pública. Um primeiro controle, nos países democráticos, funciona com as eleições. No entanto, esse controle é insuficiente porque ocorre em intervalos longos e não se opera antes mas depois do evento, além de não avaliar a política de um setor determinado. Um segundo

controle se opera a partir do poder judiciário, que confere legalidade do ato e coíbe o abuso de poder. Mas esse controle será sempre frágil, porque não discute a legitimidade das medidas nem a motivação do ato. O controle do judiciário, de relevante importância, deve ser mais abrangente, admitindo legitimação ativa às organizações sociais em temas de interesse de seus membros e alargando o uso dos instrumentos processuais, especialmente a ação popular e o *habeas data* — instrumento que dá aos cidadãos direito de conhecer as informações que as instituições têm a seu respeito e de corrigi-las —, agora incorporado à nova constituição.

Devemos exigir do Congresso instrumentos que permitam o controle das situações que poderiam produzir grandes danos. Tal ação terá como regra o acesso amplo às informações produzidas ou processadas pelo governo e como limites apenas o dever de reserva — quando o interesse público assim o determine — e o direito de privacidade do cidadão.

Esse direito à informação requer ainda efetividade e, em alguns casos, devemos mesmo admitir que se procedam pesquisas independentes, requeridas pela comunidade científica, determinadas pelo poder judiciário e custeadas pelo governo. A participação da comunidade no processo pode se operar em várias linhas. Como instrumento de controle, por exemplo, através do Congresso Nacional. Quem define orçamentos? Quem libera verbas? Como o Congresso pode exercer esse controle? Estas são questões que ainda estão por ser respondidas. A falta desse controle acaba por diluir responsabilidades.

A presença de substâncias tóxicas nos alimentos não é aferida por nenhuma agência. A carne de Tchernobyl, apesar de irradiada, sai dos frigoríficos para o consumo. A reação não é do governo, é do povo. Assim, se a sociedade civil não pode ela mesma ser o fiscal, ela deve fiscalizar os fiscais. Mas nenhuma medida será tão eficiente como transferir a responsabilidade de definir a política nuclear brasileira para um novo órgão, a ser criado com participação majoritária da sociedade civil — uma utopia possível. Parece já ter chegado a hora de exigir nossa parcela de responsabilidade, num país já maduro para conviver com uma política nuclear transparente. Para evitar a nossa próxima Goiânia. □

PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

Anselmo S. Paschoa

Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Em que pesem meu respeito e admiração pelo comportamento meritório e até heróico dos cientistas e técnicos que acompanharam os trabalhos posteriores ao episódio de Goiânia, manifestarei aqui algumas opiniões que poderão provocar a discordância de alguns colegas. De qualquer forma, espero que possam ter algum efeito no sentido de ajudar a melhorar a proteção radiológica e a segurança nuclear no Brasil.

Mesmo sem configurar um acidente nuclear, e sim um incidente resultante da incúria e ignorância, agravadas pela omissão contínua e pelo otimismo irresponsável, esse episódio revestiu-se de grande dramaticidade por vários fatores: a inconsciência inicial em relação às dimensões do problema; o tempo decorrido entre a abertura da cápsula e a descoberta da primeira pessoa contaminada; a precariedade dos recursos materiais e humanos inicialmente mobilizados. Tal dramaticidade serviu para nos alertar sobre o nosso despreparo para enfrentar situações de emergências nucleares, fato que leva a comunidade científica a uma atitude de preocupação com os programas nucleares oficiais.

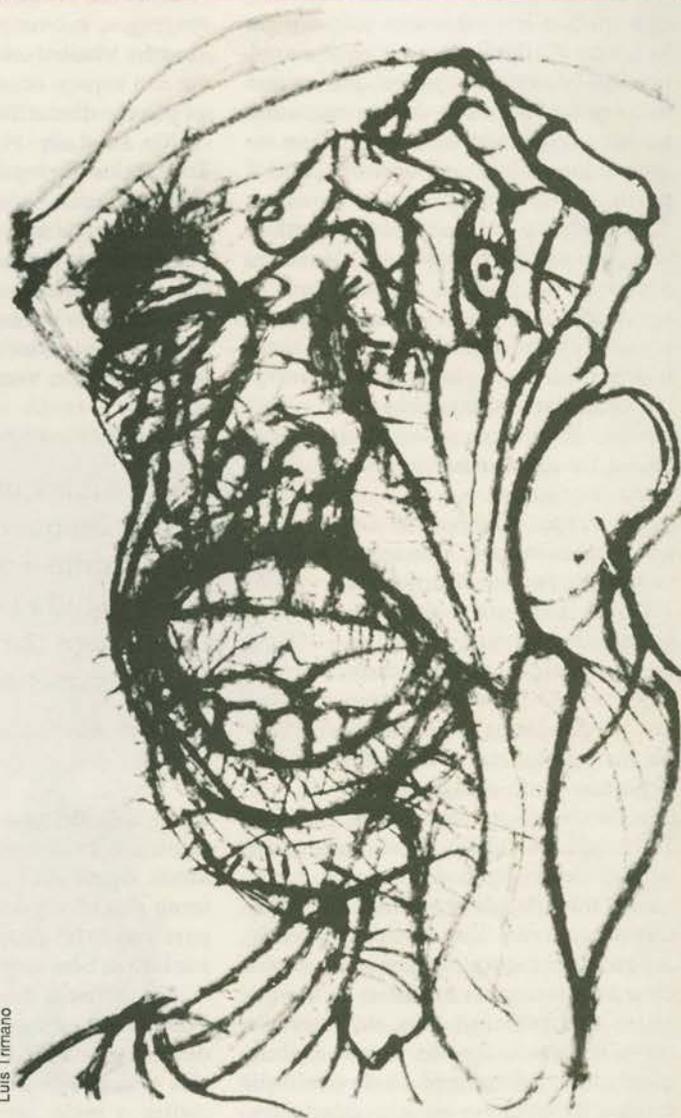
Instalações específicas para descontaminação e tratamento de pacientes contaminados e/ou irradiados externamente existem desde a década de 1950 pelo menos nos EUA e na URSS. No primeiro, o Conselho Nacional de Medidas e Proteção Radiológica (NCRP) estabelece as seguintes características para uma unidade de descontaminação: existência de equipamento adequado para lavar os pacientes e os ambulatórios onde são atendidos; disponibilidade de blindagem portátil ou permanente para tratar pessoas com altos níveis de atividade beta-gama; planificação do espaço, de forma a minimizar tanto quanto possível o risco de intercontaminação de áreas. O NCRP sugere também uma lista de 31 itens que devem estar disponíveis nas salas de descontaminação, bem como a cobertura da instalação com material descartável, para evitar sua contaminação [1].

A existência de ^{137}Cs no meio ambiente e em seres humanos já é conhecida

e estudada há décadas, desde a ampla contaminação provocada pelos testes nucleares na atmosfera, realizados nos anos 50 e 60. Já foram registrados vários casos de contaminação interna com esse radio-nuclídeo, entre os quais os de lapões do norte da Finlândia e esquimós do Canadá e do Alasca, em níveis bem superiores ao observado em outras populações afetadas no hemisfério Norte, durante aqueles testes. Muito do que hoje se conhece sobre o metabolismo do céσιο e os mecanismos de eliminação forçada através do cianoferrato férrico (II) — o azul-da-prússia — deve-se a experiências de laboratório realizadas com animais e ao estudo desses casos.

No entanto, apenas um deles excedeu a carga máxima corporal admissível (MPBB, da expressão inglesa *maximal permissible body burden*) de $30 \mu\text{Ci}$; os outros não ultrapassaram alguns microcuries. Todos os níveis constatados foram muito inferiores aos encontrados nas pessoas mais contaminadas em Goiânia, principalmente na menina Leide das Neves Ferreira, cuja contaminação foi estimada em $1 \times 10^9 \text{ Bq}$, isto é, 27 mCi , a maior já registrada até hoje [2].

Por ocasião do acidente de Tchernobyl, os governos dos países mais expos-



Luis Trimano

tos puderam tomar medidas acautelatórias para evitar a contaminação interna das populações por alimentos que contivessem ^{137}Cs . No caso goiano, essas medidas não foram possíveis de início, pois as contaminações, em sua maioria, já haviam ocorrido quando o episódio foi descoberto. Restou apenas o recurso de adotar, *a posteriori*, medidas remediadoras e acautelatórias, a fim de minimizar os efeitos deletérios.

As primeiras são, em grande parte, de conhecimento público. Algumas foram efetivas, outras nem tanto, tendo em vista o fato de que quatro pessoas faleceram. Resta saber, porém, se as que

foram tomadas em relação às pessoas mais contaminadas e/ou irradiadas surtiram algum efeito favorável. Tudo indica que sim, mas só quando os relatórios médicos vierem a público será possível uma avaliação crítica abalizada.

De qualquer forma, tornou-se inegável que não estamos preparados para emergências nucleares. Embora haja um esforço no sentido de melhorar a situação atual — e a existência de uma ala apropriada no Hospital Marçílio Dias, no Rio, é um ponto positivo —, a extrema exigüidade do pessoal habilitado para lidar com a proteção radiológica é fato que preocupa, e que não se pode mais esconder, quando a comunidade científica e a opinião pública, nacional e estrangeira, já sabem do nosso despreparo para enfrentar situações de emergência.

A elaboração pura e simples de planos de contingência nucleares, inclusive os de evacuação, é insuficiente. É preciso implantar imediatamente no Brasil um grupo, ou grupos, de pessoas altamente treinadas e capacitadas, mantidas em adestramento permanente, para intervir com eficiência e rapidez. A existência desses grupos não resolve, é claro, o problema da ocorrência de acidentes nucleares, mas pode ajudar a minorar seus efeitos de curto e médio prazos.

Tais grupos devem manter intercâmbio de técnicas e informações com aqueles já existentes em outros países, como os Estados Unidos e a França, alguns com alto nível de especialização. O norte-americano, por exemplo, conta com especialistas em autópsia de cadáveres suspeitos de contaminação, com técnicos que intervêm em acidentes aeronáuticos com suspeita de carga radioativa e assim por diante. O francês atuou no rescaldo do incêndio de uma casa na Tunísia, onde estavam guardados detectores de fumaça que continham amerício-241 (isótopo radioativo usado também em pára-raios), e coordenou o trabalho de remoção de tambores que continham urânio dos porões do

navio *Saint Louis*, que virou em frente à costa da Bélgica.

Outro aspecto que deve chamar nossa atenção é o estabelecimento de níveis de referência para a descontaminação do solo na área afetada de Goiânia, a qual deveria seguir os mesmos critérios já adotados em diversos países para a limitação de exposição à radiação natural. Segundo a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), o conceito chave para essa limitação é a controlabilidade.

Considerada uma situação de exposição, deve-se decidir sobre seu status e agir a partir daí (figura 1). Procedimentos de controle para exposições existentes e futuras são sugeridos, por Bouville e outros [3], no caso de radônio e derivados no interior de casas (figura 2).

As estimativas da ICRP para dose efetiva equivalente anual média decorrente da inalação de radônio e torônio são de 0,94 mSv; e, para a exposição a todas as fontes de radioatividade natural, de cerca de 2,0 mSv. Assim, o limite superior para a dose resultante da exposição a radônio no interior de casas, sugerido por Bouville, corresponde a aproximadamente onze vezes a dose média anual oriunda da inalação de radônio e a cinco vezes a dose média anual devida a todas as fontes naturais.

Na Holanda, onde a filosofia de proteção radiológica introduzida pela ICRP em 1977 vem sendo implantada com sucesso, estão sendo considerados níveis de referência, tais como os de ação e investigação já mencionados [4]. No caso de níveis ocupacionais, o Instituto Nacional de Saúde Pública e Higiene Ambiental da Holanda segue estritamente as recomendações da ICRP [5]. No caso de exposições não ocupacionais, como é o de Goiânia, no que diz respeito à des-

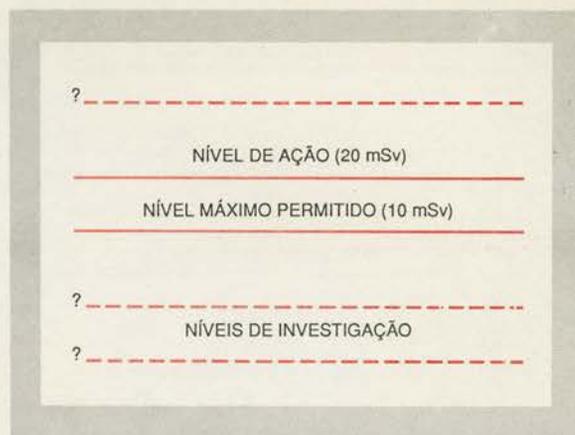


Fig. 2. Procedimentos de controle de derivados de radônio no interior de casas.

Adaptado de Bouville et alii, 1985.

contaminação de áreas, a ICRP é omissa quanto aos aspectos quantitativos dos níveis de referência, tanto em termos absolutos como em relação a outros níveis. Dada a omissão, as autoridades holandesas adotaram os limites relativos que apresentamos abaixo.

Níveis básicos

- limite anual de exposição
- nível de investigação (0,3 do limite)
- nível de registro (0,1 do limite)
- radiação de fundo e suas variações

Outros níveis

- nível máximo permitido (resultado da otimização da proteção radiológica, devendo ser sempre menor que o limite anual)
- nível de ação (para cada caso, deve ser determinado o nível máximo permitido, ou ligeiramente superior)

Adaptado de Leenhouts e Stoutjesdijk, 1985.

A radiação de fundo deve ser tratada com extremo cuidado, porque em geral não pode ser controlada. Em alguns casos, como Guarapari, ela pode ser tão alta (aproximadamente 750 mR/ano, isto é, cerca de 7,5 mSv/ano, em média) que o excesso de radiação originado de outras exposições pode ser insignificante. Também é importante considerar que as variações das exposições causadas por fontes naturais podem afetar a detecção do excesso de exposição.

Considerando-se os níveis de referência relativos adotados na Holanda, juntamente com os limites anuais de 50 mSv para trabalhadores e de 5 mSv para o público, recomendados pela ICRP [6], é possível admitir os esquemas dos níveis de referência para esses grupos, ilustrados respectivamente nas figuras 3 e 4. Levando-se em conta, por exemplo,

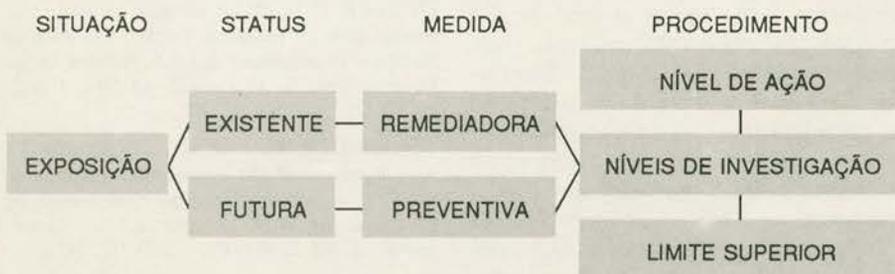


Fig. 1. Esquema para a limitação de exposições controláveis.

Adaptado de Bouville et alii, 1985.

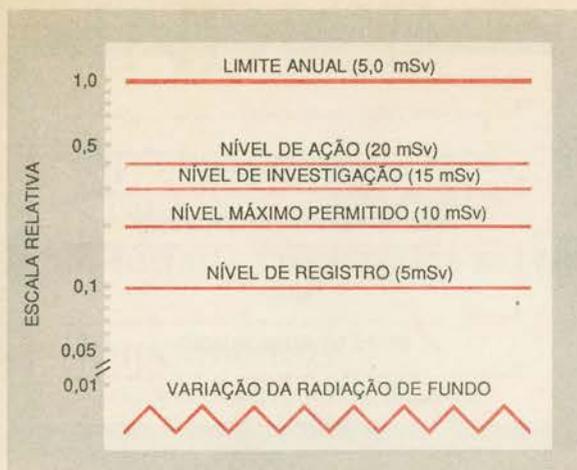


Fig. 3. Níveis de referência para trabalhadores.

Adaptado de Leenhouts e Stoutjesdijk, 1985.

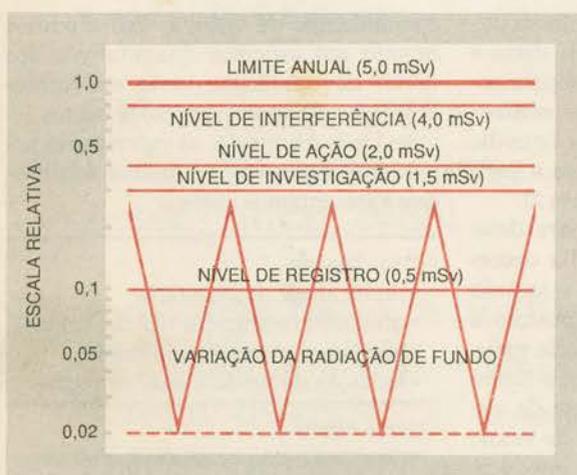


Fig. 4. Níveis de referência propostos para Goiânia.

o fluxo de radiação gama do ^{137}Cs a um metro do solo, decorrente da emissão de raios gama de 662 keV, pode-se estimar uma taxa de exposição de 0,5 $\mu\text{R}/\text{h}$, o que resulta numa taxa de dose equivalente efetiva de 4,4 mR/ano ou 0,044 mSv/ano [7]. Esse fluxo gama corresponde a uma deposição de 120 mCi/km² de ^{137}Cs [8]. Por outro lado, o consumo de alimento contaminado uma única vez com 0,03 μCi de ^{137}Cs corresponderia a uma dose de radiação de 1,9 mrem (0,019 mSv) no primeiro ano e de 2,1 mrem (0,021 mSv) durante 50 anos [9].

Para o caso de Goiânia, poder-se-ia estabelecer um esquema de níveis de referência análogo ao apresentado na figura 4, aplicável a cada caso particular que venha a ser identificado. Deve-se, entretanto, lembrar que a filosofia de proteção sugerida pela ICRP implica um processo de decisão que envolve otimização, baseada numa análise de custo/benefício. Ao estabelecer-se o nível de ação, é preciso levar em conta não só os

riscos e custos sociais envolvidos, como justificar tal medida pela redução de risco que dela resultar. O alcance das ações remediadoras deve considerar necessariamente seus custos humanos e materiais, de modo análogo à otimização de proteção. Ou seja, convém estabelecer um nível de dose coletiva que corresponda a um máximo aceitável de dose — necessariamente inferior ao limite anual — por meio de custo mínimo de recursos humanos e materiais.

O processo de otimização, conforme sugere a ICRP, deve ter vínculos que o restrinjam de tal forma que os custos totais de todos os detrimientos para o indivíduo nunca excedam o nível que vier a corresponder à sua exposição, na ausência de medidas remediadoras. Estes vínculos poderiam ser reconsiderados, no caso em que níveis de riscos individuais — na ausência de medidas remediadoras — sejam tão elevados que a sociedade não esteja preparada para permiti-los, ainda que o indivíduo con-

siderasse tais riscos aceitáveis. Este parece ter sido o caso de alguns tratamentos de vítimas do episódio de Goiânia, em que os custos financeiros, sociais e políticos situaram-se muito acima das reduções de risco.

De qualquer forma, esse episódio, que jamais deveria ter ocorrido se tivéssemos preparados para evitá-lo, veio demonstrar cabalmente que não é possível retardar a criação de pelo menos um grupo bem preparado, adequadamente treinado e em regime de adestramento permanente para agir em emergências nucleares. Basta seguir o modelo dos grupos de intervenção existentes nas Forças Armadas e no Corpo de Bombeiros. Essa medida é ainda mais urgente se considerarmos que o país conta atualmente com pelo menos dois programas nucleares oficiais em andamento. Mesmo assim, até hoje o governo federal não deu prosseguimento à recomendação da comissão que avaliou o programa nuclear brasileiro, convocada pelo próprio presidente da República.

Esta recomendação foi a de implantar-se uma Comissão de Proteção Radiológica e Segurança Nuclear (CPRSN), que poderia até anteceder a criação de um grupo para atender acidentes e emergências nucleares. Entretanto, se o presidente continuar a retardar a decisão de criar a CPRSN, até que o episódio de Goiânia comece a cair no esquecimento e um acidente nuclear mais grave o force a uma tomada de posição, cumpre que se forme, sem mais delongas, o grupo de intervenção em acidentes e emergências nucleares.

De tudo isso, resta uma certeza indubitável: as tragédias pessoais e familiares que resultaram do episódio de Goiânia deveriam servir como fonte de inspiração para as autoridades responsáveis pelos programas nucleares brasileiros, e pelo governo da nação, no sentido de que tais fatos jamais voltem a ocorrer. □

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] National Council on Radiation Protection and Measurements, *NCRP Report n° 65: Management of persons accidentally contaminated with radionuclides*, 1980.
- [2] BERTELLI NETO L., comunicação privada, 1987.
- [3] BOUVILLE *et alii*, "Principles of protection against natural radiation", *The Science of the Total Environment*, vol. 45, p. 565-577, 1984.
- [4] LEENHOUTS H.P. e STOUTJESDIJK J.F., "The use of reference levels in the dose limitation procedure", *The Science of the Total Environment*, vol. 45, p. 585-591, 1984.
- [5] International Commission on Radiological Protection, "ICRP Publication 26: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection", *Annals of the ICRP*, vol. 1, n° 3. Oxford, Pergamon Press, 1977.
- [6] International Commission on Radiological Protection, "ICRP Publication 39: Principles for limiting exposure of the public to the natural sources of radiation", *Annals of the ICRP*, vol. 14, n° 1. Oxford, Pergamon Press, 1984.
- [7] BECK H.L., "The physics of environmental gamma radiation fields", *The Natural Radiation Environment II*, J.A.S. Adams, W.M. Lowder and T. F. Gesell, editors, Conf. 720805-P1, p. 101-133, 1972.
- [8] LOWDER W.M. *et alii*, "Experimental investigations of the environment radiation field", *The Natural Radiation Environment II*, J.A.S. Adams, W.M. Lowder and T.F. Gesell, editors, Conf. 720805-P1, p. 255-277, 1972.
- [9] CALDWELL L.L. *et alii*, *Low-level radioactive waste management*, J.E. Watson Jr., editor, EPA 520/3-79-002, p. 485-491, 1979.