

Eficiência do tratamento de água na descontaminação radioativa(*)

ATAULPHO DOS SANTOS COUTINHO
Engenheiro Civil

PALESTRA REALIZADA NA DTE DE ENGENHARIA SANITÁRIA DO CLUBE DE ENGENHARIA

I — OBJETIVO E NATUREZA DO PROBLEMA

Um dos problemas resultantes dos empregos sempre crescentes da energia nuclear é o da remoção de substâncias radioativas pelos processos e equipamentos usuais de tratamento de água. A possível contaminação da água de abastecimento público tem sido reconhecida, e conseqüentemente um trabalho conjunto vem sendo realizado para caracterizar os seguintes aspectos da questão: a probabilidade de ocorrência, as medidas adequadas a serem preconizadas, a proteção do público e do pessoal de operação e finalmente, os métodos ou providências de emergência cabíveis em cada caso.

O aspecto mais importante da radioatividade é a sua resistência à destruição ou neutralização. Neste respeito, difere dos demais agentes contaminadores da água, como por exemplo, bactérias e cianetos, ambos passíveis de destruição ou neutralização pela cloração sob condições especiais de controle. Assim sendo, quando nos referimos a tratamento e descontaminação de águas contendo radio-atividade, devemos entender que se visa a remoção, a separação ou a concentração, isto é, a transferência de um lugar para outro, termos estes que exprimem, na realidade, graus ou estados de concentração. O único tratamento permanente para materiais radioativos, é, pois, natural e não afetado pelo trabalho do homem. Este tratamento é o processo de desintegração radioativa ("radioactive decay"); se entendermos por "meia vida física" de um elemento, ao tempo necessário para ele perder 50% de sua radioatividade original, sabe-se, como regra prática resultante da expressão da desintegração, que após decorridas sete (7) meias vidas, restará menos de 1% da radioatividade original da substância considerada.

II — MÉTODOS DE DESTINO DOS RESÍDUOS RADIOATIVOS

As duas diretrizes básicas relacionadas com o destino final dos resíduos radioativos, ambas visando primordialmente a segurança do público, são as seguintes: 1.º) diluição e dispersão, e 2.º) concentração e confinamento. Cada uma destas diretrizes tem o seu campo próprio de aplicação.

Pratica-se a *diluição* quando o material radioativo a ser descarregado na coleção líquida receptora não provocar acréscimos apreciáveis na "background radiation", devendo-se ter presente se certos fatores de importância se mantêm constantes. É o caso, por exemplo, da concentração de certos isótopos radioativos, como radiofósforo, (P-32) que através às algas vão ter aos peixes, por sua vez, alimento para o homem. A concentração de radiofósforo (P-32) pelas algas atinge a valores bastante altos, verificando-se aparentemente a relação seguinte: 10 $\mu\text{c/ml}$ na água para 1.000 $\mu\text{c/ml}$ nas algas e assim progressivamente, aumentando o primeiro valor, cresce o segundo.

A *concentração* é o processo de separação de pequenas quantidades de substâncias ativas de grandes volumes de material diluente, reduzindo-se, assim, o montante dos primeiros. Após a concentração procede-se ao confinamento por períodos variáveis de tempo, que dependem principalmente da meia vida física das substâncias em jôgo, mas também do possível uso econômico que se lhe possa dar.

III — FONTES DE CONTAMINAÇÃO RADIOATIVA

As várias fontes de materiais radioativos que têm acesso à água de abastecimento, podem ser classificadas em quatro grandes grupos. Em ordem de importância, eles são:

(*) Este trabalho se baseia em notas e apostilas de um curso realizado no Robert Taft Sanitary Engineering Center, Cincinnati, Ohio, USA.

- 1.º) Reatores nucleares e suas instalações correlatas.
- 2.º) Uso de isótopos em hospitais, instituições de pesquisa, indústria, etc.
- 3.º) Explosões de bombas atômicas e de hidrogênio.
- 4.º) Minérios radioativos (ocorrência natural).

Vejamus rapidamente alguns aspectos de cada uma destas fontes:

1.º) Reatores nucleares

Os reatores nucleares produzem em fissão controlada, grandes quantidades de substâncias altamente radioativas, como por exemplo, se pode mostrar: a fissão completa de uma grama de urânio 235 libera 8.2×10^{17} ergs de energia, que são equivalentes a 2.3×10^4 kilowatt-hora. Como no processo de fissão de urânio, a máxima produção de qualquer isótopo é de 6.5%, na base do número de átomos fissionando-se (de todos os átomos em fissão, menos de 6.5% produzirá os elementos em maior quantidade, isto é, *Kr, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Tc e Ru*, no grupo dos mais leves, e *Sb, Te, I, Xe, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd e Pm*, do grupo dos mais pesados), uma (1) grama de urânio-235 em fissão, produzirá:

$$6.5\% \times \frac{90}{235} = 0.025 \text{ gr de uma substância}$$

com pêso atômico 90. Se êste é Sr^{90} , com uma meia vida física de 19.9 anos e 159 curies/gr de atividade, a radioatividade gerada por êste radioisótopo é $0.25 \text{ gr} \times 159 = 4$ curies, que representaria, portanto, a radioatividade de apenas um dos isótopos produzidos. É de interêsse salientar que para os elementos com meias vidas mais curtas, a radioatividade por grama é maior, como se vê a seguir:

Relação entre massa e atividade

Isótopo	Meia-vida	Gramas por curie	Curies por grama
<i>I</i> — 131	8,0 dias	8.05×10^{-6}	1.24×10^5
<i>Ba</i> — 140	12,0 dias	1.29×10^{-5}	7.77×10^4
<i>Cs</i> — 134	2.3 anos	8.02×10^{-4}	6.35×10^3
<i>Sr</i> — 90	25 anos	6.3×10^{-3}	1.59×10^2
<i>Ra</i> — 226	1.59×10^3 anos	1.0	1.0

Os elementos mencionados como sendo produzidos em maiores quantidades, são também os mais significativos do ponto de vista de saúde pública. Ao contrário dos materiais físeis que são α (alfa) emissores, os produtos de fissão são β (beta) e γ (gama) emissores, e responsáveis pelos altos níveis de radiação dos contaminadores provenientes de reatores nucleares ou explosões atômicas (área de precipitação).

Após adequado tratamento (em parte ou no todo) debaixo dos critérios estabelecidos para o seu destino que foge aos limites dêste trabalho descrever, os resíduos são levados aos cursos d'água mais próximos. Diversos trabalhos têm sido publicados sôbre extensas investigações levados a efeito em curso d'água à jusante dos pontos de lançamentos. É o caso, por exemplo, do rio Tennessee, abaixo das instalações de Oak Ridge, que revela condições ainda seguras e razoáveis de contaminação.

Os trabalhos intimamente associados com os reatores nucleares também produzem resíduos com atividade variável. Entre êles se podem citar: o processamento e a fabricação dos elementos combustíveis, processos de separação radio-química, lavagem de pisos e respectiva drenagem, pesquisas especiais e resíduos de certos processos de tratamento.

2.º) Uso de radioisótopos

Os aspectos mais importantes a considerar sôbre o enorme incremento verificado nestes últimos anos no uso de radioisótopos, são: o tipo de isótopo usado; a atividade total correspondente e os programas de utilização, que estão espalhados praticamente pelo mundo inteiro. Em ordem de remessas feitas pelos EE.UU., o I^{131} encabeça a lista seguido do P-32, porém em ordem de atividade, Co^{60} vem em primeiro lugar, seguido dos dois anteriores.

3.º) *Explosões nucleares*

As explosões nucleares que proporcionam fissão incontrolada, são de três tipos principais:

a) *Bomba atômica*, que utiliza, como se sabe, de urânio-235 ou plutônio-239, e uma vez detonada dá lugar à fissão, com liberação de energia, da ordem de 20.000 ton. de TNT. Área de influência: em tórno de 50 km². Detonação para máximo efeito, a cêrca de 600 m de altitude; destruição por êste motivo, causada mais por efeito da explosão e do calor produzido. (No Japão, apenas 8% das vítimas o foram das radiações).

b) *Bomba de hidrogênio* — que é uma bomba atômica envolvida por substâncias contendo hidrogênio (trítio). O calor produzido pela detonação da bomba atômica é suficiente para provocar a *fusão* dos átomos de hidrogênio (formando helio), com liberação de energia de natureza explosiva. Deu lugar à produção de uma bomba de maior potência.

c) *Super-bomba* — que é presumivelmente, uma bomba de hidrogênio com um envoltório de urânio natural. Em princípio, nada mais é que um engenho permitindo produzir-se fissão-fusão-fissão, em que a energia liberada é equivalente a 1.000 bombas atômicas ou sejam 20.000.000 de toneladas de TNT (Atoll de Bikini, 1.º de março de 1954). Por ocasião da explosão, milhares de toneladas de terra são levantados com a bola de fogo, e os produtos formados pelo processo de fissão, que é intensamente radioativo, são incorporados às partículas de terra em suspensão. Dentro de poucas horas, grande parte dêste material radioativo volta a assentar sôbre o terreno na área denominada de *precipitação*. ("Fall-out area").

Verifica-se:

I) Completa destruição até 10 km do ponto de detonação, ou sôbre uma área de 250 km², aproximadamente.

II) Danos pesados ou moderados provocados pela explosão e pelo calor desenvolvido até uma distância de 30 km, ou sôbre uma área adicional de 2.500 km².

III) Uma área de precipitação de cêrca de 250 km na direção dos ventos, por 60 km de largura, ou aproximadamente 15.000 km²; pessoas não protegidas, situadas nesta área receberão uma carga letal de radiação de 24 a 48 horas.

Como consequência à primeira super-bomba produzida, são possíveis bombas de 50 e 100 megatons. De acôrdo, pois, com o seu tamanho e com as condições metereológicas, pode-se chegar a ter áreas de precipitação letal da ordem de 250.000 km².

Estas armas podem afetar os abastecimentos d'água de diversos modos:

I) Por explosões periódicas de prova de armas nucleares.

Extensas investigações têm esclarecido que as águas de abastecimento não têm sido afetadas até o momento, por níveis prejudiciais de contaminação como consequência destas provas. O mesmo não ocorre, todavia, com águas destinadas a uso industrial, como na manufatura de filmes. (Caso da Kodak, em Rochester, N.Y.).

II) Por explosões superficiais ou de profundidade, que são consideradas pouco prováveis, porquanto as detonações aéreas conduzem à máxima destruição.

III) Por explosões em estados de emergência ou de guerra, quando se devem ter presentes, então, as condições extremas já mencionadas relativas à super-bomba.

IV) Ocorrência natural de minerais radioativos.

O abastecimento de água pode ser afetado, neste caso, de duas maneiras:

a) Na mineração e processamento de minérios radioativos em que se obtêm resíduos de baixa concentração e onde o problema pode ser reduzido ou eliminado por métodos apropriados de destino.

b) Radioatividade natural que se constitui em parte de "back ground" e que, como tal, deve estar incluída nos valores de máxima concentração permissível (MPC). Há águas provenientes de fontes radioativas que não poderiam servir como diluidoras de resíduos radioativos.

IV — *AGENTES CONTAMINADOS INTERNOS E EXTERNOS*

1 — Como se sabe, substâncias radioativas emitem partículas α e β ou radiações γ , cuja penetração no ar ou nos tecidos é a seguinte:

	Penetração	
	Ar	Tecidos
Partículas α (alfa)	2 a 5 cm	0.01 cm
Partículas β (beta)	2.5 a 3.0 m	0.25 cm
Radiações γ (gama)	+ 100 m	+ 2.5 cm

Por causa destas diferenças de penetração, partículas alfa e beta são consideradas perigos internos, isto é, uma fonte radioativa que as emita, situada externamente, ionizará

somente os tecidos da pele, produzindo pequeno efeito deletério, enquanto se elas estiverem dentro do corpo poderão atingir maléficamente os órgãos vitais.

Por sua vez, as radiações γ (gama) são consideradas, principalmente, perigo externo, porque podem penetrar até os órgãos vitais, a partir de uma fonte externa de radiação.

Partículas alfa e beta e radiações gama estão associadas à materiais de precipitação e, se por um lado é difícil a proteção às últimas, os danos concernentes às primeiras se podem evitar simplesmente deixando de ingerir água ou alimentos contaminados.

2 — Concentração máxima permissível

a) Para fixar-se os perigos à saúde emanados de radiações (gama) γ , mede-se a ionização produzida no ar e relaciona-se esta ionização com os efeitos biológicos observados. A medida de ionização de ar comumente usada é o roentgen (r), que é igual a 2.000.000.000 (2×10^9) ionizações por cm^3 de ar (ou 83.8 ergs absorvidos por gr. de ar). Em condições normais de trabalho a exposição máxima permitida a radiações γ ou X, para um indivíduo é de

0.3 r/semana ou 300 mr/semana

O efeito provável de doses agudas de radiação para exposição de todo o corpo (em períodos curtos de 1 a 4 semanas), resumiam-se como segue:

<i>Dose aguda</i>	<i>Efeito provável</i>
0 — 25 r	Nenhum mal
25 — 50 r	Possíveis alterações sanguíneas, porém nenhum mal sério.
50 — 100 r	Alterações nas células sanguíneas, algum mal, nenhuma incapacitação.
100 — 200 r	Mal, possível incapacitação.
200 — 400 r	Mal e incapacitação certa, morte possível.
400 r	Fatal a 50%.
600 ou mais	Fatal (após a 2. ^a semana de exposição).

b) Os limites de emissão de beta-emissores em água e em alimentos difere do caso de gama-emissores, pois, enquanto para este último considera-se a radiação gama total, para os primeiros, torna-se indispensável caracterizar o radioisótopo em questão. Para se ter idéia desta questão, basta lembrar o seguinte: Sr-90 presente na área de precipitação é muito mais sério do que I-131, porquanto o primeiro é absorvido no tecido osseo, ao passo que o segundo, o é particularmente, na tiroide, que é muito menos susceptível aos seus possíveis efeitos deletérios.

Assim sendo, concentrações máximas permissíveis (MPC) têm sido estabelecidas para cada radioisótopo, em água. Os valores são dados em unidade de concentração, isto é, a taxa de desintegração radioativa (número de partículas beta emitidas por segundo) verificando-se em uma unidade de volume de água ou alimento.

Comumente, a unidade usada é o curie/ml (c/ml) ou o microcurie/ml ($\mu\text{c/ml}$), que é definido como a quantidade de material radioativo capaz de permitir 37.000 desintegrações por segundo. O máximo nível permitido para radioisótopos desconhecidos é de 10^{-7} $\mu\text{c/ml}$.

Em caso de emergência os níveis estabelecidos para água e alimentos contaminados pela precipitação radioativa, são os seguintes:

1.º) Medidas feitas nos primeiros 30 dias após a detonação devem indicar menos de 9×10^{-2} $\mu\text{c/ml}$ para 10 dias de consumo e menos de 3×10^{-2} $\mu\text{c/ml}$ para 30 dias de consumo.

2.º) Acima de 30 dias devem ser pesquisados níveis de radioisótopos específicos.

c) Na área de precipitação ocorrem riscos internos e externos simultaneamente, porém a fixação de limites de exposição é feita, considerando-se apenas os últimos, por serem os mais críticos. Não obstante, a análise do assunto, feita de acordo com a prova do Atoll de Bikini, admite que os materiais radioativos se tornam homoganeamente misturados em águas de abastecimento e que a bebida desta água constitui o principal risco interno.

Os riscos decrescem, todavia, de acordo com a desintegração radioativa, que existe, especificamente, para cada radioisótopo, bem como para os materiais de precipitação que compreende produtos mistos. Neste último caso, a desintegração é representada pela soma

total de tôdas as curvas individuais de desintegração. A curva correspondente é definida pela expressão:

$$I = K t^{-1.2}$$

em que I é a intensidade de radiação (roentgen por hora) t o tempo após a detonação, expresso em horas ou dias e K uma constante. Exemplificando, com valores aproximados: se a intensidade dois dias após a detonação é 10 r/hora, em quatorze (14) dias, isto é, sete (7) vêzes o período inicial, a intensidade é 1 r/hr, ou 1/10 da primitiva.

Depois de algumas semanas, os riscos internos decrescem de modo lento em virtude de serem os radioisótopos respectivos de longa meia-vida física; considera-se usualmente, que os problemas relacionados com os riscos internos sòmente se manifestam dois anos após a detonação, enquanto os que dizem respeito às radiações gama podem variar, conforme o grau de intensidade.

3— Instrumentação

Para determinar a quantidade de contaminação radioativa presente na água e nos alimentos, é necessário medir a radioatividade de beta-emissores. Empregam-se para isto medidores que, baseados no princípio da ionização de gases, na faixa de intensidade desejada. Estas faixas se podem resumir, considerando os quatro tipos de medidores mais importantes do mercado:

Cutie pie (câmara de ionização)	5 r/hr	300 volts
Geiger-Mueller	20 mr/hr	900 — 1100 volts
Contador proporcional	c/min.	1500 — 2000 volts
Sintilador	baixa ou alta concentração com o tipo certo de cristal	900 — 1200 volts

O Geiger-Mueller é o aparelho usado quando se desejam concentrações baixas de β missores, existindo uma modalidade conhecida como o "Flounder", empregado nos levantamentos de contaminação em cursos d'água e lagos. Em laboratório, para conseguir-se medida de níveis muito baixos (background radiation) de atividade da ordem de 10^{-8} μ c/ml, recorre-se à evaporação e ao emprêgo de Contadores Proporcionais Internos (Internal Proportional Counters).

Uma completa discussão sòbre os aparelhos de medida poderia ocupar, por si só, diversas preleções, tal a sua magnitude e importância.

V — DESCONTAMINAÇÃO DA ÁGUA

1 — Definições

% de remoção — Comumente usado, mas tem pouco significado do ponto de vista de saúde pública, salvo se são mencionados: 1.º) níveis de atividade; 2.º) natureza específica da atividade; 3.º) valor da MPC.

Fator de descontaminação — Reação da atividade inicial para a final. Também neste caso, embora a eficiência do processo seja dada, é indispensável conhecer-se a MPC e a atividade final. O efluente deve ser sempre comparado com a MPC para caracterizar a sua segurança.

2 — Pontos essenciais

- A atividade inicial deve ser conhecida.
- A composição básica do material ativo deve ser conhecida por análise radioquímica.
- A MPC deve ser conhecida ou calculada.
- A atividade do efluente deve ser determinada para caracterizar-se a eficiência do tratamento de acòrdo com os valores da MPC.

3 — Tratamentos diversos

A) Tratamento com argila

Remoção de alguns radioisótopos em mistura ou passando através leitões de argila. (Por adsorção, permuta iônica, ou ambos).

Depende:

- O radioisótopo em questão e sua concentração.
- A concentração e tipo de argila presente.
- A composição da solução básica, inclusive presença de transportadores ("carriers") e outros sais.

- d) O pH da solução.
- e) A taxa de mistura ou o tempo de contato.

Os resultados devem, pois, ser interpretados com o maior cuidado.

A adição de 100 a 500 ppm de argila acarreta grande volume de material com que se deve lidar numa estação de tratamento. Dificil problema operacional.

Método particularmente vantajoso para resíduos contendo radiocésio (Cs^{137}). Outros tratamentos, exceto permuta iônica, têm revelado remoção insignificante deste elemento, enquanto remoção de 90 a 98% pode ser obtida com 1.000 a 5.000 ppm de argila.

B) Coagulação e sedimentação

Estudos de laboratório, usando vários coagulantes:

$Fe SO_4$, $Fe Cl_3$, $Al_2 (SO_4)_3$, cal e silicato de sódio em dosagens de 20, 30 e 100 ppm em níveis de atividade aproximados de 200, 20.000 c/m/ml. (erro de contagem: 10%).

Os resultados se podem resumir como seguem:

- a) Maiores remoções são obtidas com turbidez inicialmente presente.
- b) Remoções aumentam com aumento de dosagem de coagulante, notando-se, todavia, que o acréscimo unitário de remoção por um certo coagulante diminui rapidamente com o aumento de dosagem.
- c) Em geral, remoções $Fe SO_4$ se mostraram melhores do que os obtidos com $Al_2 (SO_4)_3$ ou $Fe Cl_3$. Resultados com $Fe Cl_3$, inferiores aos com sulfato de alumínio.
- d) O uso de carbonato de sódio, cal ou hidróxido de sódio como alcalinizante deram resultado desprezível para a eficiência de remoção, à parte as diferenças relativas à variação em pH. O pH final é de maior importância do que o tipo de alcalizante utilizado.
- e) De um modo geral, as variações em níveis de atividade de 200 c/m/ml a 20.000 c/m/ml não influenciaram nas percentagens de remoção dos isótopos estudados.

Algumas observações relativas à remoção de alguns radioisótopos se podem resumir como segue:

- a) Nas condições do trabalho, a coagulação química afetou apenas ligeiramente a remoção de:



A remoção de I^{131} pode ser intensificada pela adição de $AgNO_3$ ou carvão ativado (por exemplo: 75% redução com 4 ppm de $AgNO_3$ ou 5 a 15 ppm de carvão ativado).

b) Com os métodos de coagulação utilizados, as remoções máximas obtidas de resíduos provenientes de produtos mixtos de fissão, são da ordem de 40 a 70% e a adição de 100 ppm de turbidez aumentou a remoção para 50 a 80%.

c) Estudos feitos com Ba^{140} e La^{140} usando coagulação gradativa ("step coagulation") e retornos de lodo mostraram efeitos desprezíveis na eficiência da remoção.

Em resumo:

A coagulação com sulfato de alumínio ou sais de ferro seria o meio pelo qual, na maioria das estações de tratamento, poder-se-ia tentar a descontaminação da água. Com uma turbidez de 100 ppm e uma possível aplicação para os dosadores em uso, de 100 ppm de coagulante, a remoção de produtos mixtos de fissão pode situar-se entre 25 e 75%.

A adição de argila até um limite prático de 500 ppm, a adição de alcalizante para levantar o pH ou a adição de maior quantidade de coagulante poderia intensificar a remoção e radioisótopos, porém nunca além de 90% de remoção de produtos mixtos de fissão. Considerando o nível de emergência, isto é, MPC, 10 dias, $9 \times 10^{-2} \mu c/ml$, a água bruta não poderia conter mais do que $1 \mu c/ml$, para obter-se resultados satisfatórios com modificações dos processos normais de tratamento.

C) Filtração

Estudos foram realizados em laboratórios com filtros rápidos em modelo reduzido, obedecendo-se a granulometria e a taxa de filtração usuais.

Remoções da ordem de 90% foram obtidas para yttrio, scandio e zirconio-niobio, que julgou-se em estado coloidal, procedendo-se a remoção por filtração verdadeira. Com outros radioisótopos, as remoções foram reduzidas.

Em se tratando de uma estação com linha convencional de tratamento, a filtração, antecedida de coagulação, pode remover alguma contaminação radioativa, porém o mecanismo de remoção deve ser atribuído à filtração de flocos não sedimentados, que retinham os contaminadores.

D) Amolecimento pela cal-soda

Trabalhos experimentais com águas requerendo 100 ppm de $Ca (OH)_2$ e 20 ppm de $Na_2 CO_3$ sumariam-se como se segue:

1.º) *Bário, Estrôncio e Cádmi* (elementos do grupo II)

- a) Cádmi é removido com facilidade, seguindo-se o bariolantânio.
 b) Estrôncio requer dosagem mais elevada de cal e carbonato de sódio para apresentar análogas remoções. Sobre o estrôncio, que apresenta especial interesse pelos seus efeitos deletérios à saúde, há que acrescentar o seguinte:

I) Resultado da ordem de 95-99% da remoção requereram dosagem da ordem de 350 ppm de cal e carbonato.

II) Outras modificações no processo de tratamento pela cal-soda não se mostraram tão eficazes como no indicado, de excesso de cal-carbonato ("excess treatment").

III) O efeito de um transportador foi examinado da seguinte forma: adicionando-se Sr_{89} e 100 ppm de $Sr(NO_3)_2$ em água destilada com pH 12, provocado por $NaOH$. A agitação da solução deu lugar à precipitação de $SrCO_3$, e 99.8% de redução de atividade.

Este tratamento, pelo seu custo, é considerado impraticável.

2.º) *Ytrio e Scândio* (elemento do grupo III)

Estes elementos são removidos somente com adição de cal, o que faz indicar que a elevação de pH auxilia a precipitação de Zr e Nb em estado coloidal.

4.º) *Cesio* (grupo I) e *Tungstenio* (grupo VI)3.º) *Zircomoníbio* (elementos dos grupos IV e V)

Estes elementos são de fácil remoção atingindo-se resultados superiores a 90% com dosagens reduzidas.

Nenhuma remoção foi conseguida nestes elementos com dosagens de agentes amolecadores da ordem de 800 ppm.

Sumariando:

- a) O processo de amolecimento pela cal-soda é bastante eficaz na remoção de certos rádio elementos, principalmente com dosagens altas dos agentes alcalinizadores.
 b) É preciso ter presente, no caso de tratamento de emergência, qual o alcance da medida em função do número de estações de amolecimento existente na região, bem como das altas dosagens que são necessárias para remoção de produtos mixtos de fissão nuclear.

E) *Permuta iônica*

As inúmeras modificações levadas a efeito com materiais de permuta aniônica ou catiônica para remoção de elementos radioativos, revelam que o processo é dos mais promissores, devendo-se lembrar que o custo das resinas possa talvez retardar o seu emprêgo generalizado, a não ser que sejam desenvolvidos métodos especiais de regeneração.

Em alguns casos, pela escolha apropriada do regenerador, é possível retirar os ions estáveis da resina, retendo o material radioativo. Normalmente, a regeneração lava a resina completamente, sendo necessário técnicas especiais para reduzir ao mínimo o volume do regenerador. Trabalhos estão em curso para conseguir-se a regeneração contínua.

Sumariando: quando radioisótopos estão em forma ionizada, é possível obter fatores de descontaminação da ordem de 10^2 , pelo uso de resinas adequadas e no ciclo apropriado. Em estados de emergência, materiais de permuta iônica podem ser utilizados conjuntamente com os processos usuais de tratamento de água para fins domésticos, desde que se tenham disponíveis, quantidades suficientes de resinas.

Exemplificado, colocando-se materiais de permuta iônica sobre o leito filtrante dos filtros rápidos, estima-se que um fator de descontaminação da ordem de 10^3 possa ser conseguido.

Assim, lembrando que a tolerância de emergência de 10 dias é de aproximadamente 10^{-1} ($\approx 9 \times 10^{-2}$) $\mu c/ml$, poder-se-ia tratar uma água contendo 100 $\mu c/ml$.

F) *Coagulação com fosfatos*

Em virtude dos coagulantes normalmente usados em tratamento de água — sulfato de alumínio e sais de ferro — não se mostrarem muito satisfatórios na remoção de isótopos radioativos, têm sido feitas investigações com coagulação por fosfatos. Em síntese, obtêm-se a formação de compostos fosfatados insolúveis e o floco de fosfato se forma em solução de pH alto, que favorece a remoção de vários radioisótopos.

Por exemplo: radioisótopos de scândio, estrôncio, tungstenio e ytrio foram diluídos com água, 100 ppm de argila e o pH ajustado com $NaOH$, para 11,5. Fixou-se em 50 ppm a dosagem de cal e variou-se a dosagem de Na_3PO_4 até 2.500 ppm. As remoções máximas foram:

Sr^{89}	95,5%
W^{185}	11 %
Y^{91}	99,5%
Sc^{46}	99,6%

Em suma, a coagulação com fosfatos para remoção de certos radioelementos, atingiu até 99,9%, mas tais resultados só se obtêm debaixo de condições cuidadosamente controladas.

VI — DESCONTAMINAÇÃO EM CASO DE EMERGÊNCIA

Pode-se dizer de um modo geral, que a descontaminação de água em caso de emergência implica sempre em recorrer-se à serviço ou instalações complementares ou independentes dos utilizados normalmente para tratamento.

Uma estação convencional de tratamento poderá assegurar um efluente dentro da MPC de 10 dias (emergência) quando se encontrar em boas condições de manutenção e operação e desde que o influente não exceda $1 \mu\text{c/ml}$, de atividade. Em caso contrário, é preciso recorrer-se às seguintes medidas consideradas úteis:

- a) adição de turbidez;
- b) dosagem em excesso de coagulantes;
- c) introdução de substâncias químicas especiais;
- d) introdução de ingredientes metálicos;
- e) introdução de resinas de permuta iônica.

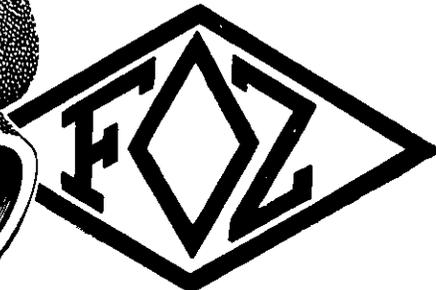
As medidas que se podem adotar em caso de destruição parcial das instalações de tratamento se resumem praticamente no recurso aos descontaminadores individuais, constituídos de compactos leitos de contato, a exemplo dos filtros domiciliários. As substâncias que já se revelaram benéficas nestas unidades, são:

- a) materiais metálicos, como aço ou alumínio.
- b) carvão (vegetal) ativado.
- c) sílica "gel".
- d) resinas de permuta iônica.

Além destas medidas, pode-se recorrer com muita eficiência à evaporação ou destilação. As reservas domésticas de água podem também mostrar-se de grande utilidade no período crítico de dez dias após explosões nucleares.

CONEXÕES

- Maior resistência
- Esquadro perfeito
- Zincagem a fogo



PREFERIDAS PELOS TÉCNICOS