



Ministério da Educação – Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas
Reg.: 120.2.095 – 2011 – UFVJM
ISSN: 2238-6424
QUALIS/CAPES – LATINDEX
Nº. 11 – Ano VI – 05/2017
<http://www.ufvjm.edu.br/vozes>

Acidente com céσιο-137 completa 30 anos

Prof^a. Dr^a. Flaviana Tavares Vieira Teixeira
Doutora em Química Inorgânica pela
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG/MG - Brasil
Docente do Instituto de Ciência e Tecnologia – Universidade Federal dos Vales do
Jequitinhonha e Mucuri – ICT/UFVJM - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4311164481574410>
E-mail: flaviana.tavares@ict.ufvjm.edu.br

Gabriel Augusto Teixeira da Silveira
Discente em Engenharia Química na Universidade Federal dos Vales do
Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6717513326839988>
E-mail: mgabrielsilveira@hotmail.com

Dilton Martins Pimentel
Mestre em Química
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM - Brasil
Técnico em Laboratório na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e
Mucuri - UFVJM - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4394245137752017>
E-mail: dilton.pimentel@ict.ufvjm.edu.br

Resumo: Este trabalho faz uma revisão bibliográfica sobre acidentes radioativos ocorridos com o céσιο-137, dando destaque ao ocorrido em Goiânia no estado de Goiás por estar completando 30 anos neste ano de 2017.

Palavras-chave: Céσιο. Acidentes. Radioatividade.

Introdução

O céσιο é um elemento químico de número atômico 55 pertencente à família dos metais alcalinos e caracterizado por ser um metal macio, dúctil e facilmente associável à cloretos na forma de pó cristalino (US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2016). Este metal foi eventualmente descoberto em 1860 por dois pesquisadores alemães, Robert Bunsen (1811-1899) e Gustav Kirchhoff (1824-1887). Após removerem sais de lítio, sódio, potássio, magnésio, cálcio e estrôncio de uma água mineral de Dürkheim, Alemanha, estes pesquisadores aspergiram o licor remanescente sobre uma chama de Bunsen e analisaram a luz gerada por espectroscopia atômica. O resultado mostrou dois espectros de linhas azuis brilhantes bastante próximas que foram atribuídas a identificação de um novo elemento químico (EMSLEY, 2011). Sendo assim, este raro metal de coloração branco prateada (RACHEL ROSS, 2016) foi nomeado céσιο. Termo originado da palavra latina *caesius*, cujo significado é “céu azul” (EMSLEY, 2011).

Além das propriedades químicas e físicas já citadas, o céσιο é considerado o elemento mais reativo entre os metais alcalinos. Com um raio de 0,265 nm, seu potencial ionizante é o menor em seu grupo, o que torna comum encontrá-lo na sua forma ionizável (Cs^+) na maioria de seus compostos. Dentre os metais alcalinos, é o elemento com maior pressão de vapor, a mais alta densidade e é altamente reativo e inflamável na presença de oxigênio, que resulta na formação de uma mistura de seus óxidos. A Tabela 1 mostra algumas das principais propriedades físico-químicas deste elemento e de alguns de seus compostos.

Tabela 1 – Propriedades físico-químicas do céσιο e seus alguns de seus compostos

Propriedade	Cs	CsCl	Cs ₂ O
Peso Molecular (g/mol)	132,91	168,36	281,81
Cor	Branco prateado	Branco	Amarelo ouro
Ponto de Fusão (°C)	29	646	490

Ponto de Ebulição (°C)	685	1290	-
Densidade* (g/cm ³)	1,93	3,99	4,65
Solubilidade em água (kg/L)	Reação intensa	1,87	Muito solúvel

* Dado para temperatura equivalente à 20°C.

Fonte: Agency of Toxic Substances & Disease Registry, 2011. Adaptado.

No que se refere ao núcleo, o elemento césio apresenta naturalmente apenas um nuclídeo estável de massa atômica 132,9054 u.m.a.. Sua representação é feita pelo símbolo $^{133}_{55}\text{Cs}$ que descreve um núcleo composto por 55 prótons e 78 nêutrons. Os demais nuclídeos deste metal são instáveis ou radioativos e se desintegram por meio de emissões de partículas beta (COLLINS; JARDIM; COLLINS, 1988).

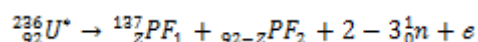
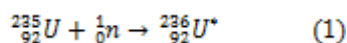
A tendência que um radionuclídeo apresenta à desintegração é convencionalmente medida pela meia vida do isótopo. De acordo com a Comissão Nacional de Energia Nuclear (2015), esta unidade representa o tempo requerido para que uma quantidade de radionuclídeo reduza, por meio de decaimento radioativo, à metade do seu valor inicial. Dentre os 11 radionuclídeos conhecidos para o átomo de césio, apenas três apresentam meias vidas relativamente longas, como mostrado na Tabela 2 (ARGONNE NATIONAL LABORATORY, 2001). Apesar do césio-135 deter a mais longa meia vida entre os radioisótopos de césio, sua baixa atividade específica reduz significativamente o nível de perigo deste material. Dentre estes três radionuclídeos, o césio-137 é o material de maior preocupação devido aos seus potenciais efeitos ao meio ambiente e à saúde humana (UNTERWEGER; HOPPES; SCHIMA, 1992).

Tabela 2 – Propriedades radioativas dos principais radionuclídeos do césio

Isótopo	Meia Vida (anos)	Atividade Específica (Ci/g)
Cs-134	2,1	1.300
Cs-135	2.300.000	0,0012
Cs-137	30	88

Fonte: Argonne National Laboratory, 2001. Adaptado.

Em termos de produção, a maneira mais usual de se obter o céσιο-137 consiste na fissão espontânea ou induzida de radionuclídeos pesados como plutônio-239 e urânio-235. Uma barreira energética da ordem de 5,5 MeV deve ser superada para que uma reação nuclear de alto rendimento ocorra. Na prática, o processo de indução consiste em aproveitar a energia de um nêutron, 7,6 MeV, a partir da sua absorção aos elementos físséis para cindir assimetricamente o átomo em duas partes, geralmente bário e criptônio. Esse procedimento também gera dois a três neutros de alta velocidade e muita energia radiante (DE MENEZES, 2005), como mostrado na equação (1), onde ${}^{236}_{92}U^*$ representa o nuclídeo excitado, PF_1 e PF_2 são os produtos iniciais de fissão, 1_0n simboliza nêutron e ϵ a energia liberada (COLLINS; JARDIM; COLLINS, 1988).



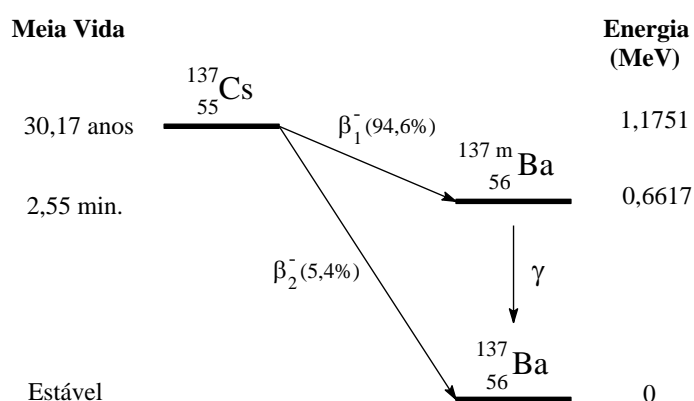
A divisão do átomo de urânio pode resultar em diferentes produtos de fissão. Se o fracionamento resultar em um produto de massa 137, pode-se obter o elemento céσιο-137 tanto diretamente, quando Z for igual a 55, quanto indiretamente por decaimentos radioativos. Nesta última condição, há a possibilidade de dois casos: produto PF_1 com número atômico maior ou menor que 55. Quando Z é maior que 55, o produto formado pode ser estável, como ${}^{137}_{56}Ba$, ou ser um material radioativo, decaindo para um nuclídeo estável pela emissão de partículas β^+ ou por captura de elétrons. Por outro lado, quando Z é menor que 55, o produto radioativo formado geralmente tem meias vidas curtas e resultam na produção de céσιο-137 a partir da emissão de partículas β^- (COLLINS; JARDIM; COLLINS, 1988).

Segundo dados da Agência Internacional de Energia Atômica (2007), a produção de céσιο-137 via fissão induzida de urânio-235 e plutônio-239 possui um rendimento total de aproximadamente 6,3% e 6,7%, respectivamente. Após irradiado com nêutrons, a barra de combustível contendo urânio precisa ser submetida a vários procedimentos químicos para remover os diversos contaminantes originados pela fissão nos reatores. A recuperação do céσιο-137 inclui etapas como digestão

com ácido nítrico, tratamento com agentes redutores, extração por solvente, para a remoção de urânio e plutônio remanescente, e precipitação por saturação de alumínio ($\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2$) (COLLINS; JARDIM; COLLINS, 1988).

Com relação à sua atividade radioativa, o decaimento do césio-137 é acompanhado tanto pela emissão de partículas β quanto por radiação γ . Cerca de 94,6% das desintegrações estão associadas à emissão de partículas β_1^- com energia aproximada de 513 keV. Após a liberação desta energia, o átomo assume o estado de um isótopo metaestável de bário, $^{137m}_{56}\text{Ba}$, que transita para o seu estado fundamental pela emissão de raios γ (90%) com 661 keV de energia e por processos de conversão de elétrons (10%) (COLLINS; JARDIM; COLLINS, 1988). Como pode ser visto pela Figura 1, uma menor parcela (5,4%) das desintegrações do césio-137 ocorre de forma direta pela emissão de 1,1751 MeV de partículas β_2^- (GAMMADATA INSTRUMENT, 2012).

Figura 1 – Esquema do decaimento do césio-137



Fonte: COLLINS; JARDIM; COLLINS, 1988. Adaptado.

Comportamento no Ambiente

A abundância do céσιο na crosta da Terra tem sido estimada em aproximadamente 3 ppm (BUTTERMAN; BROOKS; REESE JUNIOR, 2005). A presença natural do céσιο no ambiente se deve, principalmente, à processos erosivos e intemperismos de rochas e minerais. Atividades humanas associadas à mineração, como a moagem de minérios, também são responsáveis pela liberação deste elemento no ambiente (LENNTECH, 2016).

No que se refere aos radioisótopos de céσιο, a contaminação natural ou artificial causada pelos seus radionuclídeos ao meio ambiente é uma preocupação universal (JIMÉNEZ-REYES; SOLACHE-RÍOS, 2016). A responsabilidade com a segurança durante o uso e o descarte do céσιο-137 advém do conhecimento de que uma grande parte da dose de radiação recebida pelo ser humano a longo prazo se deve, principalmente, a este elemento.

Segundos registros, o céσιο-137 foi introduzido ao meio ambiente através de testes de armas nucleares ao ar livre e, recentemente, também como resultado de acidentes em plantas energéticas nucleares, como ocorreu em Chernobil em 1986. (IAEA, 2011).

Após sua liberação no ecossistema, os radionuclídeos, em geral, são dispersados na forma de material suspenso ou dissolvido em meios fluídicos. Uma vez difundido, os radioisótopos de céσιο são capazes de percorrerem longas distâncias antes de se sedimentarem (ANSPAUGH, 2005). Durante o transporte realizado por ventos ou em meio aquoso, as partículas radioativas ficam sujeitas ao processo de deposição que pode ocorrer por diversas vias: sedimentação gravitacional, principalmente para partículas com diâmetro superior à 20 µm; arraste pluviométrico; impactação a objetos sólidos; e adsorção ou troca química (MAZZILLI, 2011). A extensão e a velocidade de dispersão no meio ambiente, em geral, dependem de fatores como: o tamanho das partículas, o parâmetro de dispersão do radionuclídeo, a ocorrência de chuvas e o grau de turbulência do veículo dispersante (MAZZILLI, 2011) (NUCLEAR ENERGY AGENCY, 2002).

Como membro do grupo dos metais alcalinos, o céσιο é bastante eletropositivo e se oxida com facilidade ao estado solúvel Cs^+ em meio aquoso

(WIBERG, 2001). A alta solubilidade em água permite que grande parte da precipitação radioativa seja facilmente arrastada e dispersa no meio ambiente pela ação das chuvas, contaminando solos e águas superficiais, tais como rios, lagos e oceanos (COLLINS; JARDIM; COLLINS, 1988).

As contaminações de solos pelo cézio-137 ocorrem, predominantemente, em suas camadas superiores devido à forte ligação que este radionuclídeo apresenta com partículas de solo, especialmente argila. Aparentemente, este processo de adsorção ocorre via troca iônica e dificulta consideravelmente o processo de lixiviação e a absorção deste elemento pelas raízes de plantas. (LENNTECH, 2016) (COLLINS; JARDIM; COLLINS, 1988).

Alguns estudos de simulação realizados sobre o maior acidente radiológico brasileiro, em Goiânia, preveem essa restrita difusão do cézio-137 ao longo do solo. Estas previsões foram confirmadas em análises de monitoração ambiental realizadas na região. Removendo-se camadas superficiais do solo e tomando medidas, diagnosticou-se uma contaminação nos primeiros 50 cm de solo na quase totalidade da área avaliada (ALVES, 1988).

Segundo Asker Aarkrog (1983), diversos fatores determinam a forma de transporte, distribuição e comportamento de radionuclídeos em ambientes aquáticos. Dentre eles, pode-se citar os processos e as condições de natureza física, química, biológica e geológica (ASKER AARKROG, 1983).

Observações feitas no acidente de Chernobyl revelaram que, durante as primeiras semanas após o desastre, houve uma elevação da atividade de radionuclídeos em corpos hídricos seguida de um rápido declínio ao longo do tempo. Esta redução progressiva é justificada por efeitos adversos, dos quais se destacam o processo de diluição, o decaimento radioativo e o fenômeno de absorção por partículas minerais suspensas (*International Atomic Energy Agency*, 2006). Cada um destes fatores desempenham uma importância diferente ao longo do tempo e do espaço estudado. Em alguns ambientes, a se citar o sistema marinho, o expressivo efeito de dispersão, por exemplo, torna a concentração destas partículas muito reduzida e de difícil quantificação (COLLINS; JARDIM; COLLINS, 1988).

A contaminação de corpos hídricos por estes materiais radioativos desencadeia inevitavelmente a bioacumulação destes poluentes no ecossistema aquático. Estudos observaram expressivas concentrações de radiocésio em peixes

em regiões afetadas pelo acidente em Chernobyl e um consequente efeito cascata na cadeia alimentar aquática (*International Atomic Energy Agency, 2006*).

Em ambientes urbanos, a concentração do agente contaminante, céσιο-137, varia espacialmente em decorrência da situação climática. Sob condição seca, a deposição do radionuclídeo torna árvores, arbustos e telhados mais contaminados, ao passo que, em condições úmidas, é diagnosticado maiores concentrações em superfícies planas, como solos e gramados. Isto evidencia o papel da chuva no transporte deste contaminante. Além da chuva, a ação dos ventos e a atuação de atividades humanas em regiões urbanas são responsáveis por reduzir significativamente a contaminação superficial e a transportar radionuclídeos para sistemas de esgoto e áreas de armazenamento de lama (*International Atomic Energy Agency, 2006*).

Do ponto de vista agrícola, a deposição direta de radionuclídeos sobre a vegetação, durante a fase inicial de contaminação, também compromete a base primária da cadeia alimentar. Consequentemente, isto se desdobra entre os animais até atingir o ser humano, seja pela ingestão direta da carne ou de derivados, como o leite (*International Atomic Energy Agency, 2006*). Após esta fase inicial, a absorção de radionuclídeos pelas raízes das plantas torna-se progressivamente mais importante. De acordo com algumas pesquisas, a presença do céσιο no solo gera uma competição com o elemento potássio ou ainda pode substituí-lo, na sua ausência (CARVALHO, 2005). Esta absorção foi diagnosticada em folhas e frutos de mangueiras após decorrido algumas semanas do acidente em Goiânia e é classificado como um dos principais mecanismos de disseminação de céσιο na região (FERRAZ, 1988). Para o *International Atomic Energy Agency* (2006), os radioisótopos de céσιο foram os contaminantes que geraram os maiores problemas neste sentido após o acidente em Chernobyl.

Em síntese, diversos estudos têm sido realizados na intenção de investigar a radioatividade, o transporte e a biodisponibilidade destes radionuclídeos através de modelos. No entanto, estas ferramentas dificilmente se adequam de forma precisa ao sistema real, o que promove medições falsas ou irregulares. Sendo assim, a ausência de um suporte científico muito bem estruturado no assunto torna desconhecido os reais riscos à saúde humana e os efeitos à longo prazo ao meio ambiente (IAEA, 2011).

Aplicações

Durante meados da década de 1950, grandes avanços tecnológicos impulsionaram a indústria de processamento de radiação. O desenvolvimento de reatores capazes de produzir radioisótopos em quantidades substanciais estimulou a aplicação do césio-137 em diversos campos. Em 1958, este radioisótopo já era comercialmente empregado para esterilização médica e como agente indutor de reticulação polimérica e hoje seu uso comercial está generalizado em todo o mundo, a se citar em centros de pesquisas, na medicina e na indústria. (WOODS; PIKAEV, 1994) (COLLINS; JARDIM; COLLINS, 1988) (MOORE; POMPER, 2015).

Dentre suas aplicações, o césio-137 é utilizado como traçador universal em estudos sobre erosão e sedimentação de solos (ZAPATA, 2002) (OWENS; COLLINS, 2006). Por combinar-se com partículas finas, como a argila, e material orgânico susceptíveis à erosão, uma concentração de césio-137 na superfície do solo pode representar facilidade de movimento por agentes físicos, como erosão e deflúvio (ROGOWSKI; TAMURA, 1965) (RITCHIE; SPRABERRY; MCHENRY, 1974). Esta técnica de monitoramento tem se destacado frente às demais em razão da capacidade de providenciar informações a longos prazos no decurso de extensas áreas (WALLING; QUINE, 1992).

O césio-137 também é utilizado na irradiação de alimentos visando a conservação. Sua utilização elimina a necessidade de instalação mecânicas complicadas e, dependendo da dosagem utilizada, é aplicado para pasteurização, esterilização ou para a melhoria na qualidade de alimentos (VARZAKAS; TZIA, 2014).

Ainda no campo industrial, este radionuclídeo pode ser encontrado em alguns medidores de umidade, densidade, fluxo, espessura, entre outros sensores. A principal vantagem do uso destes dispositivos está relacionada à possibilidade de obter dados em tempo real e ao reduzido desgaste e manutenção destes instrumentos, visto que seu sistema de medição não requer contato com o processo (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2005).

A radioterapia também faz uso do céσιο-137 em tratamentos com radiação gama para inativação de células cancerosas humanas (MOORE; POMPER, 2015). Apesar de não ser uma tecnologia nova no ramo da medicina, a radioterapia tornou-se mais viável com a produção em larga escala de radioisótopos pelos reatores nucleares (*Internacional Atomic Energy Agency*, 2014).

Diante destas e inúmeras outras aplicações dos radioisótopos, pode-se notar o potencial que estes materiais oferecem para o benefício humano. Entretanto, o seu uso deve vir acompanhado com avanços na radioproteção e cuidados operacionais.

Acidentes

Embora sejam acontecimentos raros, algumas catástrofes envolvendo liberação acidental de radionuclídeos já causaram diversos prejuízos ao meio ambiente. Segundo relatório da *National Council on Radiation Protection and Measurements*, expedido por Miller (2007), desde o advento dos reatores nucleares, são contabilizados quinze (15) nocivos acidentes com liberação de radioatividade. A Tabela 3 exemplifica alguns dos mais significativos acidentes envolvendo liberação de céσιο-137 já registrados.

Os estudos sobre os efeitos da dispersão do céσιο-137 no ambiente recorrem à avaliação dos impactos causados por três acidentes, no qual pode se citar os ocorridos em Chernobil (Ucrânia), Decatur (Estados Unidos), e em Goiânia (Brasil) (USE, 2008).

Dentre estes desastres, o acidente nuclear em Chernobyl, em 1986, foi o maior e o mais danoso já registrado no mundo. Esta falha operacional humana, responsável por danificar um dos reatores da Planta de Energia Nuclear de Chernobyl (CNPP), acarretou na liberação de quantidades excepcionais de céσιο-137 para o ambiente, que ultrapassam em muito a quantia combinada de todos os demais acidentes conhecidos (MILLER, 2007) (UNITED NATIONS, 2008).

No momento do incidente, uma quantia aproximada de 190.000 kg de urânio combustível alimentava o reator, que correspondia a uma capacidade aproximada de 10^{20} Bq. A princípio, esta enorme quantidade de radiação era produzida

principalmente por radionuclídeos de meia vida curta e apenas uma pequena parcela era resultado da radiatividade do céσιο-137 (MILLER, 2007).

A investigação sobre a catástrofe oficializou o não cumprimento das normas de segurança da usina como o principal motivo para a explosão do reator. De maneira propositada, os operadores da usina desligaram o sistema de refrigeração emergencial de um dos reatores para realizar um teste no sistema de controle elétrico. Esta ação inconsequente comprometeu a estabilidade do reator e desencadeou vários problemas fora do controle operacional da usina (MILLER, 2007) (UNITED NATIONS, 2008).

Após a explosão do reator, uma intensa queima de grafite perdurou por dez dias no local do acidente, liberando radionuclídeos voláteis e condensados assim como partículas de combustível radioativo. Este período de incêndio, que perdurou por 10 dias, foi marcado por mudanças climáticas, como precipitações e mudanças na orientação do vento, que facilitaram a contaminação por várias regiões da Europa (MILLER, 2007).

Tabela 3 – Registros dos principais acidentes envolvendo liberação de Cs-137

Localização:	Reino Unido	Idaho (EUA)	Canada	Pensilvânia (EUA)	Ucrânia (antiga URSS)
Ano	1957	1961	1978	1979	1986
Nome do Reator	Windscale	SL-1	Cosmos 954	TMI-II	Chernobyl-4
Tipo	Produção militar	Experimento militar	Satélite de Propulsão Nuclear	Energia Nuclear	Produção Militar
Estimativa da liberação de Cs-137 (GBq)	$4,6 \times 10^4$	Nenhuma liberação externa	$3,2 \times 10^3$	Quantidades traço	$7,0 \times 10^7$

Fonte: MILLER, 2007. Adaptado.

No dia 26 de abril de 1986, dia do acidente, a usina operava com um quadro de 600 trabalhadores em serviço. O acidente expos em torno de 134 destes funcionários a altas doses de radiação conduzindo 30 destes à condição de fatalidade. Os demais foram progressivamente sendo diagnosticados com doenças desenvolvidas pela radiação (UNITED NATIONS, 2008).

As ações emergenciais e de recuperação contaram com o apoio de centenas de milhares de trabalhadores, oficialmente registrados em mais de 700 mil. Dentre eles, uma minoria foi fatalmente exposta a altas dosagens de radiação e desenvolveram complicações que resultaram em óbito (*International Atomic Energy Agency*, 2005).

Inicialmente os colaboradores atuaram na remoção de 160 mil pessoas situadas dentro de um raio de 30 km do reator danificado e, posteriormente, mais 220 mil foram evacuadas (MILLER, 2007).

As regiões mais afetadas com esta catástrofe foram os territórios dos países atualmente reconhecidos por Belarus, Ucrânia e Rússia, que tiveram complicações de nível social, financeiro e político. (MILLER, 2007). Estudos diagnosticaram aproximadamente quatro mil casos de câncer de tireoide entre 1992 a 2003 e há estimativas que sugerem um total de quatro mil mortes devido à exposição radioativa provocada pelo acidente (*International Atomic Energy Agency*, 2005).

Atualmente, poucas áreas afetadas pelo acidente apresentam riscos reais de contaminação. Segundo a *International Atomic Energy Agency* (2005), grande parte da região é considerada segura para viver e desenvolver atividades econômicas.

Como dito anteriormente, outro sério incidente de liberação acidental de césio-137 ocorreu na cidade de Decatur, localizada no estado norte-americano de Geórgia. Em 1986, a empresa *Radiation Sterilizers Inc.* (RSI) solicitou junto ao Departamento de Energia (DOE) uma permissão para utilizar-se de 252 cápsulas contendo fontes de césio-137, na forma de cloreto de césio (CsCl), para confeccionar células blindadas como fortes fontes de radiação gama. Através de um processo cíclico envolvendo as células de irradiação, a empresa RSI removia estas cápsulas de um tanque de estocagem, contendo água de resfriamento desmineralizada, e utilizava-se dos raios gama gerados para esterilizar, por exemplo, produtos farmacêuticos. Embora as cápsulas da DOE tenham sido testadas para operar em diferentes ambientes, não havia um estudo completo da

sua performance em condições cíclicas de trabalho (FLATH; POFF, 1993) (USE, 2008).

Em junho de 1988, um vazamento em uma das células contendo o material radioativo foi responsável por contaminar a água de refrigeração do reservatório e liberar uma quantia aproximada de 300 GBq (USE, 2008).

Outro acidente de grande repercussão foi há 30 anos, em 1987, na cidade de Goiânia, capital do estado de Goiás, Brasil. Este ocorreu a partir de uma cápsula de Césio-137, utilizada anteriormente para a inativação de câncer e, deixada por um hospital quando de sua mudança de local de funcionamento. Ela foi então levada, por sucateiros, para ser comercializada em um ferro velho. Esta cápsula foi aberta e, continha o sal cloreto de césio, $\text{CsCl}_{(s)}$, que, por ser solúvel em água potencializou a contaminação de pessoas e do meio (GOMES, 2015) ganhou dimensões internacionais na mídia e alterou radicalmente o imaginário das pessoas sobre a ciência (OLIVEIRA, 2007). Além dos mortos, feridos e contaminados pela radioatividade, deixou marcas em toda uma geração. Um distrito de Goiânia, Abadia de Goiás, recebeu o lixo radioativo gerado pelo acidente em troca de sua autonomia municipal e armazenamento permanente de cerca de 13 toneladas de lixo radioativo geradas pelas 18g de ^{137}Cs (OLIVEIRA, 2007).

Esses acidentes, em especial o ocorrido em Goiânia, apesar de serem eventos trágicos incentivaram a busca pelo conhecimento sobre a radioatividade e as consequências da falta de manejo e armazenamento adequado dos resíduos radioativos de acordo com a legislação vigente e órgãos com competência na área.

O fato de não existir métodos totalmente eficientes e seguros para tal armazenamento incentiva a pesquisa sobre novos materiais menos nocivos para o meio ambiente e saúde humana (DE FÍSICOS, 2000).

Abstract: This work makes a bibliographical review on radioactive accidents occurred with cesium-137, highlighting the occurrence in Goiânia in the state of Goiás for being 30 years in this year of 2017

Keywords: Cesium. Accidents. Radioactivity.

Referências

AARKROG, Asker. Radioactivity in the Canadian aquatic environment: Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality, National Research Council Canada, NRCC No 19250, 1983.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÔMICA (Austria). WIMS Library Update Project: Fission product yield processing. 2007.

AGENCY OF TOXIC SUBSTANCES & DISEASE REGISTRY (Atlanta). Toxicological Profiles: Chemical, Physical and Radiological Information. 2011.

ALVES, R. N. Relatório do Acidente Radiológico em Goiânia, apresentado a comissão parlamentar de inquérito do senado federal. Goiânia: IAEA. mar, 1988.

ANSPAUGH, Lynn R. et al. Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: Twenty years of experience. In: International Conference: Chernobyl–Looking Back to Go Forward, Towards a United Nations Consensus on the Effects of the Accident and the Future. 2005. p. 6-7.

ARGONNE NATIONAL LABORATORY. Health Physics Society (Ed.). Cesium. 2001.

BUTTERMAN, William C.; BROOKS, William E.; REESE JUNIOR, Robert G.. Cesium. 2005.

CARVALHO, Carla Regina Alves. Acúmulo e Distribuição de ¹³⁷Cs e ⁴⁰K em Plantas Tropicais. 2005.

COLLINS, Kenneth E.; JARDIM, Isabel Cristina S.f.; COLLINS, Carol H. O que é cristo-137? Química Nova, Campinas, v. 11, n. 2, p.169-178, 14 jan. 1988.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil) (Org.). Glossário de termos usados em energia nuclear. 2015.

DE FÍSICOS, Ilustre Colegio Oficial. Origen y gestión de residuos radiactivos. Transedit, 2000.

MENEZES, Luís Carlos de. A Matéria uma aventura do espírito: fundamentos e fronteiras do conhecimento físico. Editora Livraria da Física, 2005.

EMSLEY, John. Nature's building blocks: an AZ guide to the elements. Oxford University Press, 2011

FERRAZ, E. S. B. Environmental aspect of the Goiania accident. 1988. Disponível em: http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/22/080/22080584.pdf> Acesso em: 30 dez. 2016.

FLATH, A. W.; POFF, B. R. Decontamination Efforts at the Radiation Sterilizers, Inc.(RSI) Facility in Decatur, Georgia. Waste Management-Tucson-, p. 1521-1521, 1993.

GAMMADATA INSTRUMENT (Uppsala) (Org.). Demonstration and check source: technical specification. 2012. Disponível em: <<http://www.gammadata.se/assets/Uploads/Demonstration-and-check-source-EN-v1.0.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2016.

GOMES, P.C., LOPES JÚNIOR,J.; DELROLE, R. “Titia vem cá ver a pedra alumiante que o papai trouxe” – história da ciência, radioatividade e o cézio-137 em goiânia: propostas para uma unidade didática. Ensino, Saúde e Ambiente – V8 (1), pp. 26-56, Abril, 2015.

IAEA 2011: Radioactive particles in the environment: sources, particle characterization and analytical techniques. IAEA-TECDOC-1663, ISSN 1011-4289, IAEA, Vienna, pp77.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (Austria). Main Conclusions Of The Chernobyl Forum. 2005. Disponível em: <<https://www-ns.iaea.org/downloads/rw/conferences/chernobyl/chernobyl-conf-conclusions-eng.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2017.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (Austria). Technical data on nucleonic gauges. 2005. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1459_web.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2017.

International Atomic Energy Agency, 2006. Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group “Environment”. IAEA, Vienna.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Radioisotopes in the treatment of cancer. 2014.

JIMÉNEZ-REYES, M.; SOLACHE-RÍOS, M. Chemical behavior of cobalt and cesium in the presence of inorganic components of a semiarid soil using water of nuclear purity. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 102, p. 288-293, 2016.

LENNTECH (Reino dos Países Baixos). Cesium - Cs: Chemical properties of cesium - Health effects of cesium - Environmental effects of cesium. Disponível em: <<http://www.lenntech.com/periodic/elements/cs.htm>>. Acesso em: 27 set. 2016.

LOURIA, Donald B. Zapping the food supply. *Bulletin of the Atomic Scientists*, v. 46, n. 7, p. 34-36, 1990

MAZZILLI, Barbara Paci; MÁDUAR, Marcelo Francis; DE CAMPOS, Marcia Pires. Radioatividade no meio ambiente e avaliação de impacto radiológico ambiental. IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares), Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 92, 2011.

MILLER, Mark L. NCRP Report No. 154, Cesium-137 in the Environment: Radioecology and Approaches to Assessment and Management. 2007. Disponível em: <<http://www.ncrppublications.org/Reports/154>>. Acesso em: 04 jan. 2017.

MOORE, George M.; POMPER, Miles A.. Permanent Risk Reduction: A Roadmap for Replacing High-Risk Radioactive Sources and Materials. 2015.

NUCLEAR ENERGY AGENCY (Ed.). Chernobyl: Assessment of Radiological and Health Impact: Chapter II - The release, dispersion and deposition of radionuclides. 2002. Disponível em: <<https://www.oecd-nea.org/rp/chernobyl/c02.html>>. Acesso em: 23 nov. 2016.

OLIVEIRA, E.C. As representações do medo e das catástrofes em Goiás. Tese de Doutorado, 359 p., Universidade de Brasília, 2007.

OWENS, Philip Neil; COLLINS, Alison J. (Ed.). Soil erosion and sediment redistribution in river catchments: measurement, modelling and management. CABI, 2006.

RACHEL ROSS (Estados Unidos). Live Science Contributor. Facts About Cesium. 2016. Disponível em: <<http://www.livescience.com/37578-cesium.html>>. Acesso em: 12 set. 2016.

RITCHIE, Jerry C.; SPRABERRY, James A.; MCHENRY, J. Roger. Estimating soil erosion from the redistribution of fallout ¹³⁷Cs. Soil Science Society of America Journal, v. 38, n. 1, p. 137-139, 1974.

ROGOWSKI, A. S.; TAMURA, Tsuneo. Movement of ¹³⁷Cs by Runoff, Erosion and Infiltration on the Alluvial Captina Silt Loam. Health Physics, v. 11, n. 12, p. 1333-1340, 1965.

UNITED NATIONS. SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Fifty-sixth Session (10-18 July 2008). United Nations Publications, 2008. Disponível em: <<http://dag.un.org/bitstream/handle/11176/397012/a-55-46-e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 04 jan. 2017.

UNTERWEGER, M. P.; HOPPES, D. D.; SCHIMA, F. J. New and revised half-life measurements results. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, v. 312, n. 1, p. 349-352, 1992.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Radiation Protection: Radionuclide Basics: Cesium-137. Disponível em: <<https://www.epa.gov/radiation/radionuclide-basics-cesium-137>>. Acesso em: 15 set. 2016.

USE, Radiation Source. Replacement: Abbreviated Version. Nuclear and Radiation Studies Board. Division on Earth, 2008. Disponível em: <<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/congress-docs/correspondence/2008/cheney-02-19-2008.pdf>>. Acesso em: 04 jan. 2017.

USE, Radiation Source. Replacement: Abbreviated Version. Nuclear and Radiation Studies Board. Division on Earth, 2008.

VARZAKAS, Theodoros; TZIA, Constantina (Ed.). Food engineering handbook: food process engineering. CRC Press, 2014.

VIEIRA, Suzane de Alencar. Césio-137, um drama recontado. Estudos Avançados, v. 27, n. 77, p. 217-236, 2013.

WALLING, D. E.; QUINE, T. A. The use of caesium-137 measurements in soil erosion surveys. Erosion and sediment transport monitoring programmes in river basins, v. 210, p. 143-152, 1992.

WIBERG, Nils. Holleman-Wiberg's inorganic chemistry. Academic Press, New York, 2001.

WOODS, Robert J.; PIKAEV, Alexei K. Applied radiation chemistry: radiation processing. John Wiley & Sons, 1994.

ZAPATA, Felipe (Ed.). Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclides. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.

Processo de Avaliação por Pares: (*Blind Review* - Análise do Texto Anônimo)

Publicado na Revista Vozes dos Vales - www.ufvjm.edu.br/vozes em: 05/2017

Revista Científica Vozes dos Vales - UFVJM - Minas Gerais - Brasil

www.ufvjm.edu.br/vozes

www.facebook.com/revistavozesdosvales

UFVJM: 120.2.095-2011 - QUALIS/CAPES - LATINDEX: 22524 - ISSN: 2238-6424

Periódico Científico Eletrônico divulgado nos programas brasileiros *Stricto Sensu*

(Mestrados e Doutorados) e em universidades de 38 países,

em diversas áreas do conhecimento.