

A segurança no transporte de materiais radioativos: o transporte e a logística reversa no ciclo do combustível nuclear**Safety in the transport of radioactive materials: transport and reverse logistics in the nuclear fuel cycle**

Recebimento dos originais: 10/12/2019

Aceitação para publicação: 20/12/2019

Bruno Moreira

Mestrando em Engenharia Naval e Oceânica

Instituição: Universidade de Lisboa/Portugal

Endereço: Rua do Alecrim, 28 - 5E, CP 2635-268, Rinchoa Portugal

Email: smoreira.bruno@yahoo.com

RESUMO

A descoberta da radiação abriu vários caminhos para a pesquisa no desenvolvimento de energia, entretanto, quando não manipulada corretamente pode se transformar em uma perigosa arma como fizeram alguns países, se utilizaram desta proeza para criar armas de destruição em massa, tirando a vida de pessoas inocentes, depois da criação do tratado de não proliferação nuclear, alguns países descumpriram esta regra, mas a tendência é a diminuição gradativa da dependência destes materiais para a produção de energia. Tendo como objetivo aplicar os meios pacíficos da radioatividade e poupar a humanidade de acidentes radioativos assim como a economia dos países contaminados que sempre acaba abalada. Procurou-se analisar cada um destes órgãos regulamentadores, assim como empresas do ramo de transporte nuclear, para que pudessem ser fornecidas informações de grande contribuição, foram analisados índices estatísticos de acidentes nucleares procurando aprender com cada um as maneiras corretas de agir com cada tipo de radioatividade, e também foi estudado o ramo da logística reversa para melhor uso do descarte e reutilização do rejeito radioativo. Os números mostram que milhares de pessoas já sofreram com este material em algumas regiões ainda existem pessoas com sequelas causadas por eles porem ao se fazer a correta manipulação dos materiais tal como suas aplicações reversas os índices de acidentes e contaminação de terceiro cairá drasticamente.

Palavras-chave: Logística, Radioatividade, Meio Ambiente.

ABSTRACT

The discovery of radiation has opened many ways for research in energy development, however, when not handled properly can become a dangerous weapon as some countries, this feat is used to create weapons of mass destruction, taking the lives of people innocent, after the creation of nuclear non-proliferation treaty, some countries did not comply with this rule, but the trend is the gradual reduction of dependence on these materials for energy production. Due to the dangerous nature of this material and after a few traffic accidents were the need to create laws and rules with regulatory bodies to control the transport of such material, not to affect the environment, people and materials that are shipped together. Aiming to apply peaceful means of radioactivity and save humanity from radioactive accidents as well as the economies of countries that always ends up contaminated shaken. We sought to assess each of these regulators, as well as companies of the nuclear transport to provide information that could be of great contribution, we analyzed statistical indices of nuclear accidents with each one trying to

learn the correct ways to act with each type of radioactivity, and was also studied the reverse logistics industry to better use and reuse of the disposal of radioactive waste. The figures show that thousands of people have suffered with this material in some regions there are still caused by people with sequels they put in making the correct handling of materials as their applications reverse rates of accidents and contamination from the third drop drastically. Featuring the concept of adequate security and saving the country from radiological disaster.

Keywords: Logistics, radioactivity, environment.

1 INTRODUÇÃO

O transporte seguro e eficiente de Materiais Radioativos é vital para muitos aspectos da vida moderna, desde a geração de eletricidade, até medicina, saúde, pesquisa científica e a agricultura consequentemente, a manutenção de um sistema de transporte nacional e internacional que seja seguro e confiável torna-se essencial.

Ao falar de Transporte de materiais radioativos nacionais primordialmente, falamos de duas entidades responsáveis, CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear, e IBAMA - Instituto Brasileiro Do Meio Ambiente e Dos Recursos Naturais Renováveis. As cargas devem ser tratadas de maneira especial tanto no modal aéreo, quanto no rodoviário, marítimo ou ferroviário, conforme afirmado por SILVA.

As cargas perigosas apresentam um procedimento diferenciado para ser transportado no modal ferroviário. Extintores de incêndio portáteis, assim como vagões especiais que permitam o manuseio com segurança desse tipo de produto são algumas das condições estabelecidas limpeza adequada dos vagões (descontaminar), assim como freios automáticos e manuais para os vagões para evitar o deslocamento das cargas quando transportadas são algumas exigências para garantir a segurança dessa carga. (SILVA, 2007, p. 81).

Existem muitos motivos para um país, ou uma empresa possuir materiais radioativos, pois na grande maioria dos casos esse material é usado para a medicina nuclear, mas também indústria nuclear, medidores nucleares e indústrias em geral.

Antes de se exercer qualquer tipo de transporte de materiais radioativos, deve-se ter em mãos, juntamente com os outros documentos especiais para transporte um requerimento especial chamado “Requerimento Para Transporte De Materiais Radioativos”.

O CNEM é o Principal órgão no que diz respeito à Energia Nuclear, e IBAMA diz respeito, ao meio ambiente, por isso que no quesito Transporte de Material Radioativo, o IBAMA e o CNEN, estão unidos, portanto, foram estipuladas leis, normas e regras específicas de cada órgão.

Todo embalado de material radioativo possui uma blindagem que reduz em grande parte a radiação emitida pelo material, o risco que pode ocorrer é de violação da blindagem, e então ocorrer contaminação de materiais comuns.

Assim como o transporte, o embarque é feito da mesma maneira de um material não perigoso o que muda é que existem documentações especiais para estes materiais que seguem a *International Air Transport Association* (IATA) ou a *International Maritime Organization* (IMO) e como o transporte deste tipo de materiais depende muito dos embalados a logística reversa faz sua parte que pode ser classificada como sendo apenas uma versão contrária da logística como a conhecemos. O fato é que um planejamento reverso utiliza os mesmos processos que um planejamento convencional. Ambos tratam de nível de serviço, armazenagem, transporte, nível de estoque, fluxo de materiais e sistema de informação.

No entanto a Logística Reversa deve ser vista como um novo recurso para a lucratividade. Os sinais de descarte tornam-se a cada dia mais evidentes. Índices de descarte de alguns produtos comprovam na prática o motivo da preocupação, pois até chegarem ao seu descarte correto podem seguir em três destinos diferentes: ir para um local seguro de descarte, como aterros sanitários e depósitos específicos, um destino não seguro, sendo descartado na natureza, poluindo o ambiente, ou por fim, voltar a uma cadeia de distribuição reversa.

Acredita-se que ao embalar, transportar, especificar e descartar as embalagens de materiais radioativos de maneira correta e para uma fácil identificação assim como a não contaminação do solo, pessoas, animais e produtos que possam ser transportados juntos a economia e a cooperação internacional continuará fluindo de maneira sustentável e neste aspecto politicamente correta.

A natureza do transporte permite que o mesmo possa ter uma grande acessibilidade, fazendo com que as cargas sejam transportadas a territórios afastados, essa capilaridade faz com que os modais tenham alta versatilidade sendo uma importante ferramenta nas operações internacionais.

O material radioativo revela uma característica um tanto quanto peculiar, pois quando não transportado de maneira correta acarreta uma indesejada reação em cadeia devido a danos causados por temperaturas elevadas, e impactos superiores aos suportados pelos embalados, o que leva a dispersão dos conteúdos não configurando o conceito de segurança para o público e o meio ambiente contra os efeitos da radiação, pois esse tipo de material apresenta um critério especial e ligeiramente diferenciado no que se refere o transporte, assim como a manutenção dos meios de transporte e embalagens resistentes e aprovadas existe uma série de exigências necessárias para o transporte, o conceito básico é a segurança que depende principalmente da embalagem.

2 OBJETIVOS

Mostrar como o fluxo logístico no transporte de materiais radioativos pode alavancar a economia e o comércio internacional de uma maneira segura e não prejudicial ao ecossistema e também demonstrar como embalar e transportar esse tipo de material.

Demonstrar como o descarte correto e a logística reversa podem evitar uma indesejada reação em cadeia em caso da dispersão do material. Mostrar as regras e normas das organizações competentes para este tipo de transporte.

E como seguir os acordos e cooperações internacionais mantendo assim o equilíbrio e a credibilidade do Brasil, perante os demais países assinantes do tratado de não proliferação nuclear, justificando assim a atual posição brasileira de respeito que foi conquistada até o momento pelo respeito a normas dos acordos internacionais.

3 MATERIAIS E METODOS

A metodologia de pesquisa utilizada foi um conjunto de processos que fundamentalmente contribuiram para a conclusão do mesmo, desde a escolha do tema que até a sua digitalização se passaram aproximadamente dois anos de pesquisa intensa em normas e exigências fornecidas por entidades responsáveis e órgãos oficiais para este ramo da logística, sendo elas CNEN, IBAMA, e também literaturas pertinentes e entrevista com a Divisão Nuclear empresa “REM Indústria e Comércio” atuante no segmento de transportadoras de materiais radioativos onde foram fornecidos via e-mail e telefone, e a partir dos mesmos, recolhidos grande parte dos dados.

3.1 A LOGÍSTICA E A RADIAÇÃO

Os estudos na área de transportes são de fundamental importância para a atual realidade da globalização. Entende-se por logística como o caminho percorrido, ou todas as etapas entre um remetente e um destinatário, mais profundamente, logística é a grande responsável em prover recursos, equipamentos e informações para a execução de todas as atividades de uma empresa, conforme cita NOVAES.

[...] esta se estabelece a partir do varejo, que constitui o negócio final em um canal de comercialização de produtos, canal este que liga os fabricantes e seus fornecedores a atacadistas, e varejistas e estes últimos a seus consumidores finais. (NOVAES, 2007, p. 01).

[...] a logística tem um papel muito importante no processo de disseminação da informação, podendo ajudar positivamente caso seja bem equacionada, ou prejudicar seriamente os esforços mercadológicos, quando for mal formulada. Isso porque a Logística é, na empresa o setor que dá condições práticas de realização das metas

definidas pelo setor de marketing. Sem ela, tais metas não têm condições de se concretizar adequadamente. (NOVAES, 2007, p. 13).

A logística serve como ferramenta para ampliar a competitividade de corporações frente ao processo de abertura de mercado e formação de blocos econômicos, a rapidez da informação torna o ambiente empresarial mais incerto e inseguro e esta ferramenta garante um novo modelo de gestão entre o conceito pós industrial e a movimentação destes materiais.

Segundo Souza (2003) (apud. Silva, 2008, p.18). A logística teve seu início na França, mesmo já sendo utilizada anteriormente do século XVIII, no reino de Luiz XVI em um posto de suprimento e transporte de materiais bélicos do Marechal – General de Lógis.

Dawe relata (1996) (apud. Silva, 2008, p. 18). Para dar suporte, às tropas francesas o General Logis fundou e executou com sabedoria os primeiros princípios da logística no exército de 1961 onde sua missão era alojar e suportar as tropas no campo imagina-se que as melhores práticas usadas eram em construções de fazendas e confisco de galinhas, passando-se alguns anos, as competições de mercado e planejamento em papel substituíram as batalhas armadas pelos “Logísticos Modernos” por serem mais inovadores e sábios onde futuramente foram substituídos por operações com ferramentas de pesquisa, e reuniões com softwares de grupos de trabalho também chamados de *groupware* esta logística moderna levou ao mundo trocar informações internacionais em 4,5 segundos.

No entanto a globalização não chegou somente para a logística, mas também para todos os ramos mercadológicos e com toda esta tecnologia atual existem muitos motivos para um país, ou uma empresa utilizar materiais radioativos, pois na grande maioria dos casos esse material é usado para a medicina nuclear, mas também indústria nuclear, medidores nucleares e indústrias em geral.

3.2 SEGURANÇA NO TRANSPORTE

Todo embalado de material radioativo possui uma blindagem que reduz em grande parte a radiação emitida pelo material. O risco que pode ocorrer é de violação da blindagem, e aí ocorrer contaminação de materiais comuns, que estiverem sendo transportados junto.

Assim como o transporte, o embarque é feito da mesma maneira, seguindo as regulamentações que são fornecidas pela IAEA, agencia nuclear que estabelece os padrões as atividades de transporte internacional desse tipo de material.

O conceito básico é que a segurança depende principalmente da embalagem, a qual tem que oferecer um revestimento de proteção para resguardar os funcionários, o público e o meio ambiente contra os efeitos da radiação, para evitar uma indesejada reação em cadeia contra a dispersão dos conteúdos, causada por temperaturas elevadas, e falta de resistência

A Europa e Estados Unidos são os maiores produtores de energia nuclear porem existem em média 435 reatores nucleares comerciais em funcionamento em 30 países diferentes a grande maioria na Europa. As usinas são responsáveis por 16% da energia elétrica produzida no mundo.

Segundo Associação Nuclear Mundial a França é o país que tem mais dependência de energia atômica, devido a sua geografia, a energia nuclear é responsável por aproximadamente 60% da energia total do país, logo atrás vem a Lituânia. Já o Estados Unidos é o maior produtor, porém os países norteamericanos estão tentando diminuir este passivo ambiental que esta em primeiro lugar na produção de poluição mais especificamente o gás carbônico no mundo com uma produção de 6 trilhões de dióxido de carbono ao ano, logo em seguida vem a Alemanha que tem 26% da sua energia vinda de usinas nucleares, porem também esta tentando caminhar sentido a uma melhor contribuição ambiental, diminuindo drasticamente a construção de usinas apesar de ter feito investimentos em melhorias das já existentes.

Os países mais produtores de energia nuclear estão listados na tabela abaixo conforme fornecidos pela ONU.

Tabela demonstrativa dos por ordem dos países mais produtores de energia nuclear

País	Produção por bilhões de KW	Fatia na produção energética dentro do país
Argentina	6,7	6,2 %
Armênia	2,35	43,5 %
Bélgica	46	54 %
Brasil	11,7	2,8 %
Bulgária	13,7	32 %
Canadá	88,2	14,7 %
China	59,3	1,9 %
República Tcheca	24,6	30,3%
Finlândia	22,5	29%
França	420,1	77%
Alemanha	133,2	26%
Hungria	13,9	37%
Índia	15,8	2,5%
Japão	267	27,5%
Coréia do Sul	136,6	35,3%
Lituânia	9,1	64,4%
México	9,95	4,6%
Holanda	4	4,1%
Paquistão	2,3	2,34%
Romênia	7,1	13%

Rússia	148	16%
Eslováquia	14,2	54%
Eslovênia	5,4	42%
África do Sul	12,6	5,5%
Espanha	52,7	17,4%
Suécia	64,3	46%
Suíça	26,5	43%
Ucrânia	87,2	48%
Reino Unido	57,5	15%
Estados Unidos	806,6	19,4%

Fonte: ONU

Poucas usinas foram construídas dos anos 90 para cá, entretanto houve um crescimento da produção em cerca de 40%, principalmente por causa de melhoramentos nas usinas já existentes. Um relatório de agosto de 2008 apontava a construção de 35 reatores sendo construídos em 12 países. São investimentos em países díspares como Irã, Estados Unidos, Polônia, Japão ou Coreia do Sul e o Brasil. Além disso, a Coreia do Norte também construiu seu próprio, mas há suspeitas de que o país também investe em bombas atômicas.

De acordo com a WNA, a regulação e fiscalização das usinas no mundo ficam a cargo da AIEA, que é ligada às Nações Unidas. Existe ainda o Global Nuclear Energy Partnership, que tem entre suas políticas, pesquisas e divulgação de técnicas que melhoram a segurança das usinas.

GNEP foi criado como a pesquisa e uma iniciativa de desenvolvimento de tecnologia e uma iniciativa de política internacional. Aborda as questões de como utilizar as tecnologias sensíveis de forma responsável de uma forma que proteja a segurança global, e também como gerir e reciclar os resíduos de forma mais eficaz e segura. (GNEP, 2010, tradução nossa)

Além da produção e da tecnologia, outros países lucram a venda do urânio. O Canadá é o que mais produz o minério com cerca de 23% da fatia, ou uma média de 10 mil toneladas por ano seguido pela Austrália (21%) e Cazaquistão (16%). O Brasil é o 13º lugar com 299 toneladas extraídas em 2007. Seu potencial pode ser maior com a sexta maior reserva de urânio da Terra, segundo os especialistas.

3.3 MATERIAS RADIOATIVOS MAIS TRANSPORTADOS

- **Tc-99** - Technetium-99
- **I-125** - Iodo - 125
- **I-131** –Iodeto de sódio I 131

- **Ga-67** – Citrato de Gálio 67
- **F-18** - Fludeoxiglucose 18
- **Ir-192** - Irídio-192
- **Co-57** - Cobalto-57
- **Cs-137** - Césio-137
- **Ba-133** - Isótopo Ba 133
- **Co-60** - Cobalto 60

No entanto a maioria desses materiais são para uso medicinal porem no Brasil só podem ser transportados radio fármacos de meia-vida curta.

3.4 ACIDENTES RADIOATIVOS E SEUS IMPACTOS POLÍTICOS

Grandes acidentes contendo materiais radioativos ocorreram no último século sendo os dois mais conhecidos bem marcantes para o Brasil, tais como o acidente de Goiânia / GO em setembro de 1987, onde houve a violação de uma fonte de césio 137, que tinha atividade de imensamente radioativo e prejudicial à saúde

Em 13.09.87, na cidade de Goiânia, Goiás, um equipamento contendo uma fonte radioativa de cloreto de césio 137 que se encontrava abandonado em uma clínica desativada foi roubado e, posteriormente, vendido a um ferro-velho.

Violada a blindagem de chumbo e aberta a cápsula onde se encontrava o Césio, adultos e crianças, encantados pelo fato desse material emitir uma luz azul brilhante e não sabendo que se tratava de material radioativo, manipularam aquele “pó cintilante”, distribuindo-o entre parentes e amigos.

Assim, que a indesejada reação em cadeia resultou na contaminação de três depósitos de ferro-velho, um quintal, algumas residências, um escritório da vigilância sanitária e alguns prédios públicos diversos. Devido ao fato de a cápsula ter sido rompida a céu aberto, houve, também, contaminação direta do solo.

O acidente de Goiânia provocou um desgaste político intenso no país, O estado de Goiás foi bastante discriminado, como exemplo foi desconvidado a participar da Feira da Providência, cidadãos goianos foram forçados a andar com atestado de não contaminação; automóveis com placa de Goiás foram apedrejados em São Paulo e discussões calorosas ocorreram entre governadores de diversos estados sobre o local mais apropriado para a construção de um depósito de lixo radioativo. Ademais, esse acidente, que vitimou algumas pessoas e causou danos tanto econômicos como ao meio ambiente,

foi considerado internacionalmente como o mais sério acidente ocorrido em instalação não nuclear, tendo sido classificado como nível 6 na escala internacional.

Conforme informações de CNEN (Apud XAVIER, p.148).

Foram monitoradas 112.800 pessoas e os resultados apresentados foram de:

- 249 vítimas contaminadas;
- 20 pessoas foram hospitalizadas (tendo uma delas o antebraço direito amputado);
- 4 mortos nos primeiros 2 meses após o acidente e outros 3 mortos alguns anos depois.
- 50 animais domésticos sacrificados;
- Contaminação de plantas, verduras, ervas, raízes e frutos a um raio de aproximadamente 50 metros dos principais focos de contaminação. Árvores foram arrancadas e uma grande quantidade de solo, altamente contaminado, foi escavada e substituída por “solo limpo”;
- Contaminação pelo Césio-137, por meio da rede de águas pluviais e de esgotos, de trechos do curso dos rios, córregos e ribeirões situados nas vizinhanças dos locais contaminados. Felizmente, a água que abastece a região não foi afetada;
- Cerca de 1.700 toneladas de lixo radioativo (acondicionado em contêineres e tambores) foram gerados em decorrência do acidente, tendo sido armazenados temporariamente e, cerca de dez anos depois, depositados em repositório construído em Abadia, a 20 km de Goiânia.

O impacto econômico no Brasil foi de imensa e impressionante proporção.

- Diversos produtos oriundos do Estado de Goiás foram rejeitados nos demais Estados;
- A exportação de produtos brasileiros foi prejudicada;
- A construção e o controle do depósito de Abadia de Goiás custaram ao país cerca de 15 milhões de dólares;
- Vítimas do acidente vêm recebendo auxílio financeiro do governo.

Escavações em Goiânia para a retirada da terra contaminada pela radiação



Fonte: CNEN

Aparelho utilizado em Goiânia para medir o nível de radiação nos cidadãos



Fonte: CNEN

Depósito provisório dos materiais radioativos coletados na cidade de Goiânia



Fonte: CNEN

Depósito permanente dos materiais radioativos coletados na cidade de Goiânia



Figura 14

Fonte: CNEN

Percebe-se que a radiação ionizante pode ser muito perigosa, principalmente se levarmos em conta que tanto em Chernobyl quanto no Brasil a primeira finalidade dessas radiações era o uso pacífico, mas nos dois casos o descaso humano foi responsável pela morte, mutilação e incapacitação de inúmeras pessoas.

Acidentes de transporte podem causar uma liberação de radioatividade porem muito pouco se tem relato o diferencial é que geralmente as usinas têm uma proteção contra acidentes e em transportes o que se tem é a embalagem, mas mesmo assim quando não embalado corretamente em caso de acidentes com transporte podem causar uma liberação de radioatividade resultando na contaminação ou danos na blindagem causando irradiação direta ao ser humano e ao meio ambiente, como acontecido em Cochabamba quando um aparelho de radiografia com raios gama com defeito foi transportado num ônibus de passageiros como carga.

A fonte gama estava fora da blindagem, e irradiou alguns passageiros ou no Reino Unido quando foi revelado em um caso judicial que uma fonte de radioterapia foi transportada em blindagem com defeito. A blindagem tinha uma abertura na parte inferior, mas com sorte considerou-se que nenhum ser humano foi seriamente prejudicado pela radiação que escapou.

4 LOGÍSTICA REVERSA

Existem diferenças fundamentais entre a Logística convencional e seu sistema reverso, dentre as quais estão:

1. Na Cadeia Logística convencional os produtos são puxados pelo sistema, enquanto que na Logística Reversa existe uma combinação entre puxar e empurrar os produtos pela cadeia de suprimentos. Isto acontece, pois há, em muitos casos, uma legislação que aumenta a responsabilidade do produtor.
2. Os Fluxos Logísticos Reversos não se dispõem de forma divergente, como os fluxos convencionais, mas sim podendo ser divergentes e convergente ao mesmo tempo.
3. O processo produtivo ultrapassa os limites das unidades de produção no sistema de Logística Reversa. Os fluxos de retorno seguem um diagrama de processamento pré definido, no qual os produtos (descartados) são transformados em produtos secundários, componentes e materiais. Os processos de produção aparecem incorporados à rede de distribuição.
4. Ao contrário do processo convencional, o processo reverso possui um nível de incerteza bastante alto. Questões como qualidade e demanda tornam-se difíceis de controlar.

4.1 REJEITOS RADIOATIVOS

Houveram importantes avanços, na área de gestão ambiental que apontam para a necessidade de solucionar, a curto prazo, os problemas relacionados à gerência dos rejeitos gerados em medicina, indústria e pesquisa, afirma XAVIER.

Apesar das baixas concentrações de materiais radioativos liberadas para o meio ambiente em trabalhos de pesquisa, o perigo de contaminação ambiental por soluções cintiladoras + solventes orgânicos + substâncias radioativas; rejeitos biológicos + substâncias radioativas; solventes orgânicos + ácidos e outros materiais patogênicos e pirofóricos, têm despertado uma preocupação urgente, pela forma como esses materiais são gerenciados pelas Universidades e Centros de Pesquisa.(XAVIER, 2006 p.121)

4.2 FLUXO REVERSO DOS REJEITOS RADIOATIVOS

Os Valores de radioatividade inferiores a de 74 Bq/g (2 nCi/g), foram adotado para isentar materiais radioativos do cumprimento dos requisitos estabelecidos na Norma CNEN-NE.5.01na qual citada inicialmente regulamenta o transporte de materiais radioativos porem Moro afirma que os limites de isenção, tanto para eliminação de rejeito sólido como para transporte, vêm sendo objeto de revisão internacional porem a tendência mundial é que a essa radioatividade seja reduzida drasticamente a eliminação de rejeitos líquidos na rede de esgotos sanitários repousa sobre a regra principal de que todo rejeito liquido deve ser prontamente solúvel ou de fácil dispersão em água. (MORO, 2006 p.135)

4.3 EMERGENCIAS E ACIDENTES

Após a Segunda Guerra Mundial, devido às explosões nucleares nas cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki os estudos mostraram que os efeitos biológicos decorrentes da exposição que o organismo humano pode sofrer ao entrar em contato com a radiação são decorrentes da interação da radiação com os átomos e as moléculas das células expostas.

Os efeitos biológicos da radiação são a consequência de uma longa série de acontecimentos que se inicia pela excitação e ionização de moléculas no organismo. Há dois mecanismos pelos quais as alterações químicas nas moléculas são produzidas pela radiação ionizante: efeitos diretos e indiretos.

No processo de interação da radiação com a matéria ocorrem ionização e excitação dos átomos e moléculas provocando modificação (ao menos temporária) nas moléculas. O dano mais importante é o que ocorre no DNA.

A medicina moderna e globalizada descobriu que a consequência do contato entre radiação e corpo humano está dividida em quatro estágios e não apenas em Direto e Indireto, que são chamados de “Físico, Físico-Químico, Químico e Bioquímico”.

O primeiro é físico, e nele a radiação transfere energia para os átomos do organismo, fazendo com que estes sofram ionização e excitação. Este é seguido de um estágio físico-químico, onde há a ruptura das ligações químicas das moléculas, e radicais livres são formados. O terceiro é químico e ocorre quando os radicais livres se ligam a outras moléculas importantes das células. Já o quarto estágio é responsável por efeitos bioquímicos e fisiológicos. Após um tempo, que pode ser variável, surgem lesões no nível celular ou orgânico. O organismo humano tem grande poder de regeneração, assim dependendo da dose ele pode se recuperar sozinho.

A observação dos efeitos provocados pela exposição a diferentes doses e/ou intervalos de tempo mostra que os efeitos podem ser somáticos (alterações que ocorrem nas células e que podem ser observáveis no indivíduo irradiado) ou hereditários (podem ser transmitidos aos descendentes do indivíduo irradiado, que teve alterações em suas células reprodutoras).

Os efeitos somáticos são divididos em duas categorias (imediatos ou tardios), que dependem da dose absorvida:

1 **Efeitos somáticos agudos** ou imediatos são o resultado de uma alta dose de radiação recebida em um tempo pequeno e aparecem no organismo do indivíduo em um intervalo curto de tempo (horas, dias ou semanas). Se a irradiação for localizada vai afetar somente a região que recebeu radiação. É o caso em que a pele sofre irradiação e fica com a aparência de ter sofrido uma queimadura intensa. Se a irradiação for sobre todo o corpo, podem ocorrer sinais e sintomas que levam a um quadro designado síndrome aguda da radiação, que dependendo da intensidade da radiação pode provocar sintomas diferentes, que vão desde vômitos até a morte.

2 Os **efeitos somáticos tardios** ocorrem devido a doses baixas, mas que ocorrem por um longo tempo (como no caso de profissionais que trabalham na área de radiação e não tomam os devidos cuidados). Esses efeitos também são decorrentes de dose altas, mas não letais, de radiação, assim aparentemente o indivíduo se recupera. Um dos efeitos somáticos tardios é o aparecimento de câncer.

Os efeitos sintomáticos também podem ser hereditários, que são observáveis somente nos descendentes de vítimas da irradiação, podem ser listados como daltonismo, hemofilia, síndrome de Down, etc.

Também, importante salientar que os efeitos da exposição à radiação ionizante também estão relacionados à sensibilidade que o indivíduo pode ter à radiação. Indivíduos mais jovens apresentam, em geral, maior possibilidade de ser afetados pela radiação. Um exemplo conhecido vem da indicação médica que gestantes recentes não devem fazer exames de radiografia, por causa dos riscos que o feto pode sofrer durante sua formação. Conforme a pessoa vai crescendo sua sensibilidade vai diminuindo.

Os seguintes órgãos são os mais afetados pela radiação:

1 Cérebro

Danos cerebrais podem causar delírio, convulsões e morte.

2 Olhos

Danos nos olhos podem provocar catarata.

3 Boca

Lesões à boca podem incluir úlceras bucais.

4 Estômago e Intestino

Estômago e intestino quando lesados, provocam náuseas e vômitos. Infecções intestinais podem levar à morte.

5 Ovários e Testículos

Danos aos ovários (ou testículos) provocam esterilidade ou afetam os filhos que o indivíduo possa vir a ter.

6 Medula Óssea

Lesões na medula óssea podem conduzir a hemorragias ou comprometer o sistema imunológico.

7 Vasos Sanguíneos

Ruptura dos vasos sanguíneos leva a formação de hematomas

8 Além de Fetos

Danos à criança em gestação podem incluir retardo mental, particularmente se a exposição à radiação ocorrer no início da gravidez.

Para casos específicos de acidentes que envolvam materiais radioativos, as equipes de atendimento emergencial contam com o apoio da Comissão Nacional de Energia Nuclear, além da transportadora envolvida, o expedidor da carga e o fabricante do produto

Conforme afirmado por Carlos Eduardo Strauch, mestre em engenharia ambiental, biólogo, analista ambiental e coordenador de equipe de emergências para acidentes com produtos químicos

perigosos da Feema - Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, em entrevista a revista Meio ambiente.

Strauch explica que a Feema realiza o atendimento emergencial no Estado do Rio de Janeiro através do Serviço de Controle de Acidente Ambiental, o qual atende a qualquer tipo de acidente ambiental – seja por transporte ou descarte mal realizado. Ele detalha que esse serviço conta com cinco equipes de emergência que se revezam entre si, em plantões semanais. Esse serviço fica disponível 24 horas por dia. “Antes de deslocar uma equipe ao local do acidente investigamos qual tipo de produto envolvido e outros detalhes fundamentais para o correto procedimento. A equipe tem que estar preparada para o que irá encontrar no lugar” (STRAUCH, Revista Meio Ambiente Industrial – Edição 62 – julho/agosto 2006)

5 CONCLUSÕES

Atualmente a energia nuclear aprovisiona cerca de 14% da demanda mundial por eletricidade, disponibilizando energia limpa, livre de carbono e economicamente acessível para pessoas de todo o mundo. A maioria destes reatores são reatores de água pressurizada ou reatores de água fervente e em ambos os casos, o principal combustível é o óxido de urânio enriquecido.

A essência do combustível para estes reatores de água leve contém muitos agrupamentos de combustíveis, consistindo de barras de combustível vedadas, cada uma repleta de pastilhas de dióxido de urânio.

Para manter esta importante fonte de energia é fundamental que os materiais do ciclo do combustível nuclear continuem sendo transportados internacionalmente com segurança e eficiência. O transporte de materiais nucleares é rigorosamente regulado e tem um excelente histórico de segurança que abrange diversas décadas.

REFERÊNCIAS

SILVA, Luiz Augusto Tagliacollo. **Logística no Comércio Exterior**. 2. Ed. São Paulo/SP: \Aduaneiras,- 2007.

NOVAES, Antonio Galvão. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. 3. Ed. Rio de Janeiro/RJ: \Elsevier – 2007

RODRIGUES, Paulo Roberto Ambrosio. **Gestão estratégica de armazenagem**. 3. Ed. São Paulo/SP: \Aduaneiras - 2007.

SCHABERLE, Fábio Antonio. **Introdução à Física da Radioterapia**. 1 Ed. Florianópolis/SC: \Departamento de Física UFSC – 2000.

- FILHO, José Vicente Caixeta, MARTINS, Ricardo Silveira **Gestão Logística do Transporte de Cargas**. 1. Ed. São Paulo/SP: \Atlas – 2009.
- CHAYES, Abram / LEWIS, W. Bennet. **International Arrangements for Nuclear Fuel Reprocessing**. 1. Ed. New York/NY: \Ballinger - 1977
- BIASI, Ronaldo Sérgio de, **O Ciclo do Combustível Nuclear**. 1. Ed. Rio de Janeiro/RJ: \Atlantida - 1978
- SANTOS, Carlos Alberto dos. **Da revolução científica à revolução tecnológica – Tópicos de história da física moderna**. 1. Ed. Porto Alegre/RS: Instituto de Física da UFRGS, 1997
- MORO, José Tullio. **Principios Basicos de Proteção Radiológica**. 3. Ed. Porto Alegre/RS : \UFRG - 2006
- XAVIER, Ana Maria. **Energia Limpa**. 1 Ed. Porto Alegre/RS: \UFRG - 2006
- M.A, Febrer Canals, **Atlas de Química**. 1. Ed. comemorativa Ibérico-Americano. Chicago/IL: \Jover - 1980
- ONU. **Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly**. 1. Vol. New York/ NY:/ Onu - 2000 57
- TRIP, Joshua. **Nuclear Discovery**. 1. Ed. Montreal: \Canadian - 1998
- BRASIL. **DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO**. ed. 11 de abril de 2011
- DUTRA, Vinicius. **Resíduos radioativos também são um problema**. Disponível em: <http://www.problemasambientais.com.br/sem-catego-ria/residuos-radioativos-tambem-sao-um-problema/> Acesso em: 25 de maio de 2011.

“O conteúdo expresso no trabalho é de inteira responsabilidade dos autores”.