

Exposição do público devido ao transporte de radiofármacos

Demerval L. Rodrigues¹, Janete C. G. G. Carneiro¹, Matias P. Sanches¹ e Gian Maria A. A. Sordi¹.

¹Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN – CNEN/SP
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária –
05508-000 São Paulo - SP - Brasil

dldrodr@ipen.br, janetecg@ipen.br, msanches@ipen.br e
gsordi@ipen.br
<http://www.ipen.br>

Resumo. Quando um embalado é transportado, as pessoas que trabalham, residem ou circulam no itinerário percorrido pelo transporte de materiais radioativos são irradiadas, assim como aquelas pessoas que estão dentro dos veículos que viajam no mesmo sentido ou no sentido contrário. Desta forma, o trabalho proposto tem como principal objetivo estimar o impacto radiológico resultante do transporte de radiofármacos do IPEN até alguns destinos previamente definidos. Para isso, foram estimadas as doses nos indivíduos do público que estão nas ruas e nos veículos que trafegam próximos dos meios de transporte, ao longo do itinerário percorrido pelos embalados, durante a realização dos transportes dos radiofármacos.

1 Introdução

Desde a década de 50, vem crescendo o desenvolvimento da indústria nuclear, bem como a utilização de materiais radioativos na medicina, indústria e pesquisa, entre outras aplicações. Em função desse desenvolvimento, foi reconhecida mundialmente, já àquela época, a necessidade de serem desenvolvidos requisitos de proteção e segurança para o transporte, o manuseio e o armazenamento de tais materiais e que fossem estabelecidos acordos internacionais nessa área. A proteção radiológica à pessoa pode ser dividida em duas grandes partes: proteção ao trabalhador, isto é, àquele indivíduo cujas atividades envolvam radiações ionizantes e materiais radioativos; e aos indivíduos do público ou à população em geral, isto é, àquele grupo de indivíduos que não está envolvido diretamente em atividades com radiações ou materiais radioativos, mas que sofrerá as conseqüências delas por viver próximo a estas fontes de radiação ionizante [1,2,3].

Neste contexto, quando um embalado é transportado, as pessoas que trabalham, residem ou circulam no itinerário percorrido pelo transporte de materiais radioativos são irradiadas, assim como aquelas pessoas que estão dentro dos veículos que viajam no mesmo sentido ou no sentido contrário, próximas aos meios de transporte.

O trabalho proposto teve como objetivo estimar as doses nos indivíduos do público que permanecem nas residências próximas as vias de transporte, que estão nas ruas e nos veículos que trafegam ao lado dos meios de transporte ou que cruzam com estes,

ao longo dos itinerários percorridos pelos embalados, durante a realização dos transportes de radiofármacos do IPEN, no ano de 2008.

2 Metodologia

Para se obter uma avaliação das doses nos indivíduos do público em condições normais de transporte foram definidos 04 (quatro) principais destinos, a saber: Aeroporto de Congonhas, Aeroporto de Cumbica (Guarulhos), Rio de Janeiro e Belo Horizonte. Estes destinos representam de forma significativa a distribuição dos radiofármacos do IPEN, quanto aos trajetos, tempos envolvidos e população aos arredores [4,5].

Na execução deste trabalho foram considerados apenas os embalados com rótulos de categoria II-Amarela e III-Amarela, contendo ^{99m}Mo e ^{131}I , pois são estes tipos de embalados que contribuem com quase a totalidade das doses para o público. Os demais embalados são com rótulos de categoria I-Branca (IT zero) ou com rótulos de categoria “II Amarela”, mas de IT mínimo. Portanto, representam um impacto radiológico desprezível para o público [6-10].

A Tabela 1 apresenta as principais informações referentes aos embalados transportados no ano de 2008.

Tabela 1. Principais informações sobre os embalados transportados

Descrição	Destino			
	Congonhas	Cumbica	Rio Janeiro	Belo Horizonte
Embalados transportados	12.775	10.890	4.819	1.341
Número de viagens	365	330	229	96
Média da \sum_{IT} por veículo	29,3	35,3	19,2	11,4
IT médio por embalado	0,9	0,9	0,8	0,9
IT _{total} transportado	11.498	9.801	3.856	1.207
Número médio de embalados por veículo	35	33	21	14
Distância percorrida (km)	15	40	400	500
Tempo considerado	1	1.5	4.5	6

No modelo matemático utilizado neste trabalho para realização dos cálculos de doses, a população se distribui ao longo da estrada (eixo y) e as distâncias, em média, variam entre x_{\min} (m) e x_{\max} (m), medidas ao longo do eixo x, Figura 1.

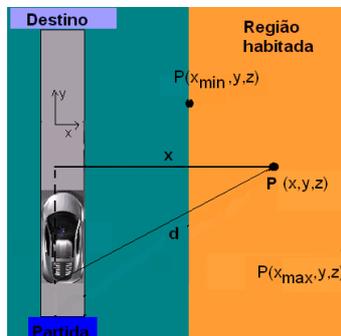


Fig. 1. Posicionamento do meio de transporte na via e distribuição da população

A distância em um determinado instante t , entre um ponto $P(x,y,z)$ qualquer localizado na região habitada e o veículo, varia com a distância percorrida pelo veículo. O indivíduo do público pode estar totalmente exposto (por exemplo, em um ponto de ônibus na zona urbana) como também pode estar muito bem protegido por colinas ou construções. A situação onde um indivíduo receberá a maior dose será aquela em que o indivíduo se encontra totalmente exposto ao material radioativo que está sendo transportado.

Para os ocupantes dos veículos que transitam no mesmo sentido que o meio de transporte, a situação mais crítica é aquela onde se admite que os veículos do público acompanhem o meio de transporte ao longo de todo o seu percurso, mantendo a mesma distância em relação ao meio de transporte, durante todo o tempo. Já para os ocupantes dos veículos que transitam no sentido oposto as doses dependem do tempo e da posição dos veículos em relação ao meio de transporte.

3. Resultados e discussão

Com a utilização de um programa computacional foram calculadas as doses máximas, para os indivíduos do público que permanecem nas residências próximas às vias de transporte e para os ocupantes dos veículos que trafegam nas vias de transporte, no mesmo sentido e no sentido contrário do meio de transporte, tanto na mesma direção como na via paralela, nos quatro percursos considerados neste trabalho. Para comparação e análise do comportamento das doses nas populações envolvidas são apresentadas nas Tabelas 2 e 3 as respectivas doses calculadas.

Analisando os valores constantes na Tabela 2, pode-se concluir que a maior contribuição para as doses recebidas pela população residente, próximas às vias de transporte, se deve principalmente a velocidade média do meio de transporte. A quantidade de viagens e o IT total do meio de transporte são fatores importantes na composição das doses, mas comparando o percurso IPEN – Aeroporto de Congonhas com o percurso IPEN – Aeroporto Internacional de Guarulhos onde os ITs totais dos meios de transporte e as quantidades de viagens são similares, chega-se a conclusão que a velocidade média do meio de transporte é o fator mais sensível na composição das doses na população residente.

A dose individual máxima anual calculada para um indivíduo residente nas zonas rurais foi de 0,16 μSv . Este valor de dose não merece maiores comentários, já que doses anuais inferiores a 10 μSv são consideradas zero pelas autoridades reguladoras [11,12].

Entre as doses contidas na Tabela 2, as que geram interesse da proteção radiológica são apenas as doses individuais máximas de 50,41 μSv e 33,60 μSv calculadas nas zonas urbana dos percursos: IPEN – Aeroporto de Congonhas e IPEN – Aeroporto Cumbica, respectivamente. Esse interesse se deve ao fato de que estas doses são as únicas que estão acima do valor de 10 μSv e, portanto, será importante averiguar num trabalho futuro, quais e quantos são os indivíduos do público que recebem estas doses.

Tabela 2. Doses anuais calculadas para as populações residentes (μSv)

População residente no percurso	Dose individual	
	(zona urbana)	(zona suburbana)
IPEN – Aeroporto de Congonhas	50,41	10,08
IPEN – Aeroporto de Guarulhos	33,60	6,72
IPEN – Cidade do Rio de Janeiro	8,21	1,09
IPEN – Cidade de Belo Horizonte	2,11	0,28

Analisando os valores constantes na Tabela 3, pode-se concluir que a maiores doses são recebidas pelas pessoas que estão nos veículo que trafegam nas vias de transporte, no mesmo sentido do meio de transporte. Essas doses são pequenas, principalmente, se for levado em conta o fato de que são adotadas condições bastante restritivas, já que foi considerado que os mesmos veículos viajam todo o percurso ao lado do meio de transporte. As doses recebidas pelas pessoas que trafegam no sentido contrário do meio de transporte são muito pequenas e não despertam qualquer interesse do ponto de vista de proteção radiológica, ainda mais se for levado em conta o fato de que foram adotadas condições muito restritivas.

Tabela 3. Doses Individuais anuais calculadas para os ocupantes dos veículos que trafegam nas vias de transporte ($\mu\text{Sv}/\text{ano}$)

Vias de tráfego	Dose (urbana)		Dose (suburbana)		Dose (rural)	
	MS	SO	MS	SO	MS	SO
IPEN-Congonhas	29,3	0,05	65,9	0,05	NA	NA
IPEN-Cumbica	115,2	0,03	115,2	0,04	NA	NA
IPEN-Rio de Janeiro	202,8	0,01	33,8	0,01	162,2	0,00
IPEN-Belo Horizonte	155,4	0,01	25,9	0,01	138,1	0,01

MS: mesmo sentido; SO: sentido oposto; NA: não aplicável

Foram realizados, também, os cálculos das doses coletivas anuais para a população que reside próximas às vias de transporte e para a população que trafega nas vias de transporte, no mesmo sentido e no sentido contrário do meio de transporte foi utilizado o programa computacional.

Na Tabela 4 são apresentadas as doses coletivas anuais na população devido ao transporte de radiofármacos para cada percurso em suas zonas urbana, suburbana e rural e analisando os valores constantes, pode-se concluir que as doses coletivas anuais para a população que reside próximas às vias de transporte são pequenas e para a população que trafega nas vias de transporte, no mesmo sentido e no sentido contrário do meio de transporte são praticamente desprezíveis.

Tabela 4. Doses coletivas anuais na população para cada percurso (mSv/ano)

Percurso	Dose coletiva anual (urbana)			Dose coletiva anual (suburbana)			Dose coletiva anual (rural)		
	RES	MS	SO	RES	MS	SO	RES	MS	SO
1	9,66	0,1	0,1	7,51	0,07	0,19	NA	NA	NA
2	34,5	0,3	0,3	11,90	0,12	0,34	NA	NA	NA
3	42,2	0,5	0,4	2,42	0,03	0,09	1,69	0,05	0,17
4	13,5	0,4	0,3	0,78	0,02	0,07	0,61	0,04	0,14

1.IPEN-Congonhas; 2.IPEN-Cumbica; 3. IPEN-Rio de Janeiro; 4.IPEN-Belo Horizonte
RES: residente; MS: mesmo sentido; SO: sentido oposto; e NA: não aplicável

3. Conclusão

A maior dose individual estimada para um indivíduo do público foi de 202 μ Sv/ano e em condições excessivamente restritivas. Mesmo assim, esta dose é muito inferior ao limite anual estabelecido para os indivíduos do público, que é de 1 mSv/ano. Dessa forma, pode ser concluído que as doses esperadas para os indivíduos do público para atividades envolvendo o transporte de materiais radioativos são muito pequenas em relação aos seus limites anuais e que os limites estabelecidos para os embalados e para os meios de transportes se mostraram adequados e suficientes para proteger os indivíduos do público quanto às doses de radiação ionizante resultante do transporte rodoviário de materiais radioativos, em condições normais.

Referências

1. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Turns 40, Supplement of the IAEA Bulletin**, IAEA, Vienna (1957)
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Notes on certain aspects of the regulations**. IAEA, Vienna, 1961a, Safety Series No. 6 (1961)
3. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Regulations for the safe transport of radioactive material**. IAEA, Vienna, 1961a, Safety Series No. 6, (1961)

4. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Regulations for the safe transport of radioactive material, 2005 Edition.** IAEA, Vienna, (2005) (No. TS-R-1, ST-1, Revised)
5. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Transporte de materiais radioativos, CNEN-NE-5.01.** Rio de Janeiro (1988)
6. POPE, R.B.; McCLURE, J.D. **Estimated annual worldwide shipments of radioactive material.** In: PACKAGING AND TRANSPORTATION OF RADIOACTIVE MATERIALS, 1987, Vienna. Proceedings of symposium Vienna, 1987. (IAEA STI/PUB/718, IAEA, pag.459-468, Vienna (1987)
7. WATSON, S.J., OATWAY, W.B., JONES, A.L., HUGHES, J.S. **Survey into the radiological impact of the normal transport of radioactive material in the UK by road and rail.** Rep. NRPB-W66, National Radiological Protection Board, Chilton, UK (2005)
8. SHAPIRO, J., **Exposure of airport workers to radiation from shipments of radioactive material: a review of studies conducted at six major airports.** Rep. NUREG-0154, United States Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, (1977)
9. SCHWARZ, G., FETT, H.J., LANGE, F. **"Occupational and public exposures arising from the normal transport of radioactive material: Experience in Germany"**. SAFETY OF TRANSPORT OF RADIOACTIVE MATERIAL INTERNATIONAL CONFERENCE. IAEA, Vienna, (2005)
10. HEILBRON FILHO, P.F.L. **Impacto esperado no transporte dos embalados de Goiânia.** Relatório técnico. CNEN, Rio de Janeiro, (1990)
11. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Diretrizes básicas de radioproteção - CNEN-NN – 3.01.** Rio de Janeiro (2005)
12. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources.** (Safety Series No. 115).IAEA, Vienna, (1996)