

Considerações a Respeito de Proteção Radiológica de Tripulações de Aeronaves no Brasil

Federico C. A. ⁽¹⁾, Gonzalez O. L. ⁽¹⁾, Sordi G. M. ⁽²⁾, Caldas L. V. E. ⁽²⁾

⁽¹⁾Instituto de Estudos Avançados – IEAv/DCTA
Rodovia dos Tamoios, km 5.5, São José dos Campos, São Paulo
12228-970, Brasil
claudiofederico,odairl@ieav.cta.br
<http://ieav.cta.br>

⁽²⁾Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/CNEN-SP
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242, Cidade Universitária, São Paulo
Brasil
lcaldas@ipen.br
<http://ipen.br>

Abstract. Neste trabalho são discutidas as orientações contidas nos documentos da ICRP a respeito de proteção radiológica aplicável às tripulações de aeronaves e é apresentado um breve relato da evolução dos estudos nesse campo de atuação, bem como das regulamentações e recomendações já adotadas pelos países integrantes da União Européia, Canadá e EUA. São também apresentadas algumas peculiaridades do espaço aéreo brasileiro e da legislação aplicável ao trabalho com radiação ionizante, discutindo os aspectos gerais de proteção radiológica aplicáveis às tripulações de aeronaves no Brasil.

1 Introdução

Com o aumento do teto de operação de aeronaves comerciais, nas últimas décadas, o problema do controle do nível de dose de radiação ionizante recebida por tripulações de aeronaves e equipamentos sensíveis têm recebido grande atenção de pesquisadores e motivado diversos estudos na literatura especializada internacional [1-6].

O motivo de tal preocupação decorre do fato de que a taxa de dose advinda da radiação cósmica (RC) sofre um aumento considerável em função da altitude, fazendo com que tripulações de aeronaves possam ultrapassar com alguma frequência o limite de dose anual proposto por organismos internacionais para indivíduos do público [7], que é de 1 mSv. Na figura 1 é ilustrado o aumento da taxa de dose causada pela radiação cósmica e seus subprodutos em diversas altitudes calculada na região de São José dos Campos em janeiro de 2008 [8]. Por exemplo, um tripulante que cumprisse uma carga horária anual de 600 horas de voo numa altitude típica de 10km em torno desta latitude receberia uma dose anual de 1,4mSv.

A Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) reconhece que é necessário controlar a exposição da pessoa representativa dos profissionais de voo, como pilotos e tripulações [9], pois este grupo está exposto a níveis de radiação que são comparáveis aos níveis médios de radiação recebidos por profissionais que trabalham com radiação nas áreas de medicina e tecnologia nuclear.

No Brasil, estudos abrangentes a esse respeito foram iniciados em 1998 no Instituto de Estudos Avançados do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (IEAv/DCTA) do Comando da Aeronáutica (COMAer) em São José dos Campos, em colaboração com pesquisadores de dois institutos da Comissão Nacional de Energia Nuclear – IPEN e IRD [8, 10, 11].

O objetivo do presente trabalho é discutir os aspectos gerais de proteção radiológica que devem ser aplicados a tripulações de aeronaves civis e militares que trafegam em rotas de grande altitude à luz da experiência internacional relatada na literatura e em recomendações e normas internacionais.

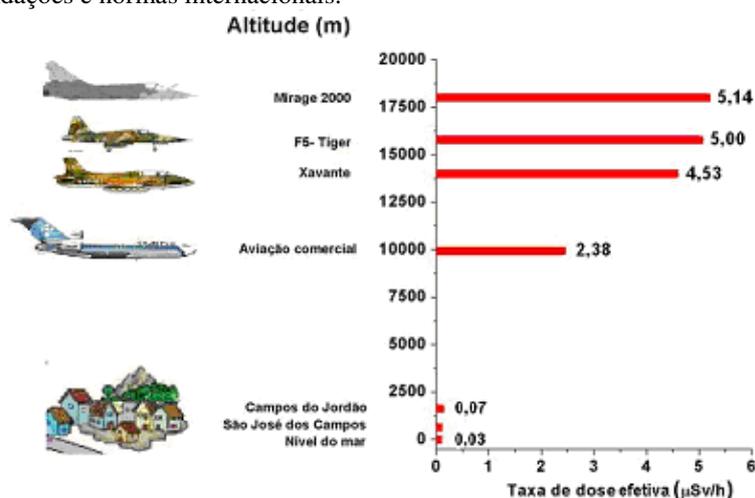


Fig. 1. Figura ilustrativa do aumento da taxa de equivalente de dose ambiente em função da altitude calculada para o mês de janeiro de 2008 na latitude de São José dos Campos (Federico, 2010b)

2. A Situação das Tripulações no Mundo

Fontes naturais de radiação são usualmente excluídas de controle radiológico por serem consideradas fora do escopo de radioproteção, embora, em alguns casos, não deixam de ser um problema de saúde pública. Entretanto, em 1990, o ICRP propôs, no parágrafo 136 de sua recomendação de número 60 [7], que pilotos e tripulações, entre outros casos, devem ser considerados como pessoal ocupacionalmente exposto à radiação ionizante de origem cósmica. Nesta mesma recomendação, o ICRP alerta ainda sobre a possível necessidade de controle para determinados grupos de profissionais que efetuam viagens constantes, tais como *couriers*.

Nessa mesma linha de atitude, a União Européia adotou, a partir de 1996, uma nova regulamentação a ser aplicada por todos os estados membros da Comunidade Européia [12], por meio da Diretiva 96/29/EURATOM, de 13 de maio de 1996 [13] que, em seu artigo 42, estabelece que as seguintes medidas devem ser tomadas de forma a controlar as exposições de tripulações que possam estar sujeitas a doses anuais superiores a 1 mSv:

- possibilitar o controle das exposições das tripulações;

- b) levar em conta as exposições prévias ao planejar a agenda de voos, com o objetivo de reduzir as doses de tripulações altamente expostas;
- c) informar aos trabalhadores a respeito dos riscos à saúde associados a essa atividade; e
- d) aplicar às tripulações femininas gestantes os mesmos cuidados propostos no artigo 10 desta mesma Diretiva (em seu artigo 10, a Diretiva 96/29/EURATOM estabelece que, assim que a gestante informar seu estado, ela deve ser tratada como membro do público, de forma que a dose equivalente no feto deve ser tão baixa quanto razoavelmente exequível e não deve ultrapassar 1 mSv durante todo o período restante de gravidez).

Como consequência de tal diretiva, foram incorporadas considerações específicas sobre o assunto aos Procedimentos Operacionais JAR-OPS-1390 [14], da Joint Aviation Authorities (JAA), organização que congrega as autoridades europeias da área de aviação.

Atualmente essas diretrizes já são seguidas de forma rotineira pelos países membros da União Europeia e pelas empresas com sede nesses países. Algumas empresas, inclusive, já possuem algumas aeronaves de sua frota equipadas com monitores de radiação [15], que podem servir para verificação da consistência da dose medida com as estimativas feitas por meio de programas computacionais. Busca-se agora uma maior coordenação entre as informações dosimétricas obtidas em cada empresa ou país [15].

A recomendação ICRP 75, publicada em 1998, [9], que trata de princípios gerais de proteção radiológica de trabalhadores, especifica claramente, em seu parágrafo 156, que a exposição de tripulações de aeronaves deve ser tratada sob a égide de exposição ocupacional e delinea algumas considerações adicionais a respeito, em seu parágrafo 164:

- a) as doses efetivas anuais devem ser obtidas por meio do tempo de voo e da taxa de dose efetiva típica para as rotas pertinentes;
- b) como inexitem outras medidas de controle praticáveis a este caso, não há necessidade de considerar o uso de classificação de áreas;
- c) acredita-se que as restrições no tempo de voo das tripulações poderá prover o controle necessário das exposições; e
- d) membros femininos de tripulações que estejam em processo de gravidez devem ser usualmente afastadas de atividades em voo bem antes do final da gravidez.

Tais recomendações foram posteriormente reforçadas na ICRP 103 [16], que mantém a mesma linha de atitude.

De forma consistente com as recomendações da ICRP e da Diretiva EURATOM, o Canadá iniciou em 1996 estudos sobre esse assunto, com a participação do *Royal Military College of Canada*, que culminaram em 2001 com a publicação da recomendação *Commercial and business aviation advisory circular* 183 [17], a qual foi posteriormente revisada e atualmente está em sua versão 183R, de 28 de abril de 2006.

A circular 183 [17] segue, em linhas gerais, as recomendações de controle de doses das tripulações propostas pela ICRP, e estabelece níveis de intervenção para a prática e propõe maiores cuidados em casos de rotas em altas altitudes ou latitudes polares, mais sujeitas aos efeitos da RC e de eventuais explosões solares.

De maneira menos rigorosa, a *Federation Aviation Administration* (FAA), pertencente ao Departamento de Transporte dos EUA, também se manifestou emitindo uma série de recomendações sobre o assunto, que culminou com a *Advisory Circular* AC 120-61A [18]. Tal recomendação orienta sobre materiais de referência sobre o assunto, discute as variáveis que influenciam a exposição de tripulações, orientando sobre os limites recomendados e risco associado, e estabelece recomendações sobre o gerenciamento das exposições da tripulação e códigos computacionais a serem utilizados para a estimativa das doses, entre outras informações.

Sob o ponto de vista de proteção radiológica, um fator importante e frequentemente apontado na maior parte das orientações é a grande proporção de jovens do sexo feminino em tripulações de aeronaves [19, 20], características estas que podem implicar em um maior risco quanto aos efeitos hereditários da radiação introduzidos na população, além ainda, do aspecto específico de proteção ao feto, no caso de gestantes.

Sob o aspecto de quantificação da dose no feto, deve-se observar que, em alguns casos de fontes convencionais, admite-se que uma dose efetiva de 1mSv no feto corresponde aproximadamente a 2 mSv na superfície do abdomen da mãe. Este não é o caso para indivíduos expostos à radiação cósmica. Estudos demonstram que, por sua grande capacidade de penetração, a dose na superfície do abdomen da mãe corresponde aproximadamente à mesma dose no feto [12, 21].

A comunidade internacional atribui grande importância a estes controles, de forma que existem vários códigos computacionais, livres ou comerciais, que permitem o cálculo da dose de radiação em diversas rotas aéreas. Tais códigos efetuam as estimativas das doses baseados em simulações da interação da radiação cósmica primária na atmosfera pelo método de Monte Carlo ou baseados em soluções analíticas da equação de transporte das partículas na atmosfera ou por meio de ajuste de funções empíricas aos dados experimentais existentes. Uma descrição dos principais códigos comumente utilizados pode ser encontrada em Botollier-Depois et al [22].

3. Considerações Aplicáveis ao Brasil

Nos últimos anos têm sido realizadas muitas medições experimentais, principalmente em rotas aéreas do hemisfério norte, cobrindo altitudes de voo que variam de 8 a 20 km e latitudes de 30° S a 70° N [23, 3, 24]. Sullivan et al [23] relataram taxas de dose que variaram de 1 μ Sv/h a 17 μ Sv/h. Entretanto, poucos estudos foram realizados na região da América do Sul, sendo que, destes poucos, a maior parte avalia as informações da rota que se inicia na América do Sul mas termina no hemisfério norte, ou o inverso, e relata o resultado como um todo, não se detendo em detalhamentos de comportamento da taxa de dose sobre a América do Sul. Da mesma forma, observa-se, nas principais revistas da área, a inexistência de artigos oriundos de grupos sediados na América do Sul.

Um fator importante a ser considerado para a região da América do Sul é a presença de uma anomalia magnética, denominada Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), que abrange boa parte do território brasileiro. Trata-se de uma região em que as linhas de campo magnético terrestre se aproximam da crosta, podendo modificar a forma de desenvolvimento do chuveiro de radiação cósmica secundária na

atmosfera. Na figura 2 é apresentado o mapeamento na forma de curvas de nível do campo magnético terrestre a uma altitude de 12 km, obtida por meio do modelo geomagnético IGRF2011 (*International Geomagnetic Reference Field*), onde se pode visualizar que a região da AMAS apresenta as menores intensidades de campo magnético do planeta.

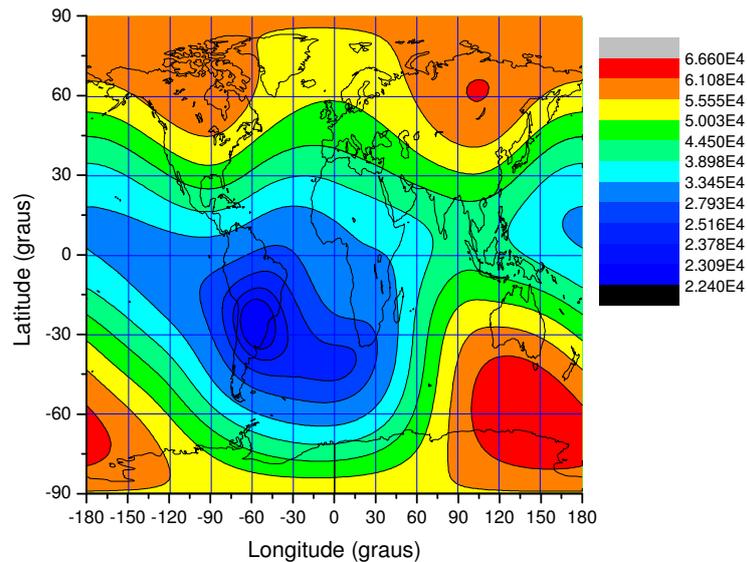


Fig. 2. Mapa do campo magnético (intensidade total, expressa em nT) obtido pelo modelo IGRF2011, para a data de 01/10/2010

Alguns estudos foram desenvolvidos sobre a AMAS desde 1968, utilizando balões estratosféricos entre outros métodos [25, 26, 27]. A maior parte destes estudos indicam que a AMAS modifica a radiação incidente em altas altitudes, mas não foram detectadas modificações sensíveis em altitudes menores, compatíveis com as altitudes de aviação comercial. Entretanto, é importante observar que estes estudos foram focados em propósitos de geofísica espacial e não com o objetivo de mensuração de dose em tripulações, sendo que as grandezas utilizadas bem como as faixas de energia pertinentes são diferentes em cada caso. Além disso, nestas altitudes a contribuição de nêutrons pode chegar até a 40% da dose total, sendo para isso importante a sua distribuição de energia [10,11].

A legislação trabalhista brasileira estipula compensações financeiras bem como aposentadoria especial e férias diferenciadas para trabalhadores ocupacionalmente expostos à radiação ionizante. A norma de radioproteção da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) CNEN NN-3.01 [18] considera um indivíduo como Indivíduo Ocupacionalmente Exposto (IOE) à radiação quando ele está sujeito à exposição normal ou potencial em decorrência de seu trabalho ou treinamento em práticas autorizadas ou intervenções, excluindo-se a radiação natural do local. Nessa mesma norma, é definido o termo "Fontes Naturais" como fontes de radiação que ocorrem naturalmente, incluindo radiação cósmica e terrestre, não existindo na Norma CNEN NN-3.01 nenhuma ressalva em relação ao caso de tripulações de aeronaves.

4. Conclusões

Conforme relatado no presente trabalho pode-se observar que desde 1990 a preocupação com proteção radiológica das tripulações é assunto de estudos e discussões no meio científico internacional e objeto de atenção de organizações normatizadoras. Na União Européia e no Canadá as tripulações de aeronaves são reconhecidas como pessoal ocupacionalmente exposto à radiação ionizante e foram estabelecidas algumas diretrizes. Segundo estas diretrizes, as tripulações com possibilidade de serem expostas a doses superiores a 1 mSv ao ano têm as suas doses controladas. Da mesma forma, os EUA emitiram recomendações a esse respeito. No Brasil, a exemplo da União Européia, Canadá e Estados Unidos, mas, principalmente em conseqüência de suas peculiaridades, deve-se desenvolver a capacitação para a realização de medidas de radiação em aeronaves e de se avaliar o risco para as tripulações e instrumentação sensível, sob pena de se permanecer dependente de conclusões baseadas em medidas efetuadas por grupos estrangeiros fora da AMAS.

O impacto na economia das empresas aéreas decorrente de se considerar tripulações como IOE deve ser avaliado sob o ponto de vista do custo-benefício para o indivíduo e para a sociedade, mas, com base em dados concretos de doses em rotas com origem e destino no Brasil.

Pelo exposto, a norma brasileira não prevê mecanismos para considerar tripulações de aeronaves como ocupacionalmente expostas à radiação ionizante, muito embora tais tripulações possam estar submetidas doses comparáveis aos trabalhadores com radiação na área médica ou industrial.

Até a presente data as autoridades regulatórias Brasileiras da área de aviação e saúde ainda não emitiram considerações a esse respeito. Entretanto, atualmente estão sendo desenvolvidas pesquisas no Instituto de Estudos Avançados, com a participação de pesquisadores dos Institutos da Comissão Nacional de Energia Nuclear, onde estão sendo realizadas medidas em várias altitudes em solo e a bordo de aeronaves da FAB, avaliação de códigos computacionais de estimativa de doses e simulações numéricas de interação de radiação cósmica com o meio material.

Dados concretos decorrentes de medições e estudos cientificamente embasados são de fundamental importância para avaliações objetivas e bem fundamentadas sobre o impacto na saúde ocupacional das tripulações de aeronaves de alto teto de voo e o respectivo impacto dos efeitos neste grupo e na saúde pública (população). Como resultado da presente linha de pesquisa espera-se prover as autoridades normatizadoras e legisladoras com dados concretos e realistas sobre os efeitos da radiação cósmica no espaço aéreo brasileiro, bem como ferramentas de avaliação, de modo que estas possam se balizar no estabelecimento de regras de proteção à saúde, evitando-se que, a bem da proteção, se tomem medidas excessivamente restritivas ou que se deixe de tomá-las por falta de uma avaliação do tema com base científica.

Agradecimento:

Os autores agradecem à FINEP e ao CNPq pelo suporte financeiro parcial e ao Comando da Aeronáutica, pelo suporte a estes estudos.

Referências

1. FAA: Radiation exposure of air carrier crewmembers. FAA Advisory Circular 120-52. (1990) U.S. Department of Transportation
2. Wilson, J. W.; Goldhagen, P.; Maiden, D. L.; Tai, H.: High altitude radiations relevant to the high speed civil transport (HSCT). NASA Technical Documentation. (1998) NASA
3. Bartlett, D. T.: Radiation protection aspects of the cosmic radiation exposure of aircraft crew. *Radiat. Prot. Dosim.* (2004) v. 109, n. 4, p. 349-355
4. Hajek, M.; Berger, T.; Vana, N.: A TLD-based personal dosimeter system for aircrew monitoring. *Radiat. Prot. Dosim.* (2004) v. 110, n. 1-4, p. 337-341
5. Vergara, J.C.S.; Román, R. D.: The implementation of cosmic radiation monitoring in routine flight operation of Iberia Airline of Spain: 1 Y of experience of in-flight permanent monitoring. *Radiat. Prot. Dosim.* (2009) v. 136, n. 4, p. 291-296
6. Meier, M. M.; Hubiak, M.; Matthiä, D.; Wirtz, M.; Reitz, G.: Dosimetry at aviation altitudes (2006-2008). *Radiat. Prot. Dosim.* (2009) v. 136, n. 4, p. 251-255
7. ICRP: Recommendations of the international commission on radiological protection. International Commission on Radiological Protection. Publication 60. (1991) *Annals of the ICRP*, v. 21, n. 1-3
8. Federico, C. A.; Pereira, H. H. C.; Pereira, M. A.; Gonçalves, O. L.; Caldas, L. V. E.: Estimates Of Cosmic Radiation Dose Received By Aircrew Of DCTA's Flight Test Special Group. *Journal of Aerospace Technology and Management* (2010a), v. 2, p. 137-144
9. ICRP: General principles for the radiation protection of workers. Publication 75. International Commission on Radiological Protection. (1998) *Annals of the ICRP*, v. 27, n. 1
10. Federico, C. A.; Gonçalves, O. L.; Caldas, L. V. E.; Bruck, L. Estudo da dose devida à radiação cósmica em tripulações no espaço aéreo brasileiro. *Anais do VIII Simpósio de Transporte Aéreo VIII SITRAER / II RIDITA.* (2009) São Paulo, SP, Brasil. p. 337-348
11. Federico, C. A.; Gonçalves, O. L.; Fonseca, E. S.; Martin, I. M.; Caldas, L. V. E.: Neutron spectra measurements in the South Atlantic Anomaly region. *Radiat. Measur.* (2010b) v 45, n.10 p.1526-1528
12. Courades, J.M.: European legislation on protection against cosmic radiation, *Radiat. Prot. Dosim.* (1999) v. 86, n. 4, p. 7-24
13. EURATOM: Laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation. Council Directive 96/29/EURATOM (1996).
14. JAA, Cosmic radiation, Joint Aviation Authorities, (2001), JAR-OPS 1.390, amendment. 3.
15. Thierfeldt, S.; Haider, C.; Hans, P.; Kaleve, M.; Neuenfeldt, F.: Evaluation of the implementation of radiation protection measures for aircrew in EU member States. *Radiat. Prot. Dosim.* (2009) v. 136, n. 4, p. 324-328
16. ICRP: The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection. Publication 103. International Commission on Radiological Protection. (2008) *Annals of the ICRP*, v. 37, n. 2-4
17. TRANSPORT CANADÁ: Measures for managing exposure to cosmic radiation of employers working on board aircraft. Commercial and Business Aviation. (2001) Advisory Circular. n. 0183.
18. FAA: In-Flight Radiation Exposure. Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation. (2006) FAA Advisory Circular n. 120-61A
19. Alves, J. G., Mairos, J. C.: In-flight dose estimates for aircraft crew and pregnant female crew members in military transport missions. *Radiat. Prot. Dosim* (2007) v. 125, n. 1-4, p. 433-437
20. Beck, P.; Bartlett, D; Lindborg, L.; Mcaulay, I.; Schnuer, K.; Shraube, H.; Spurny, F.: Aircraft crew radiation workplaces: comparison of measured and calculated ambient dose equivalent rate data using EURADOS in-flight radiation data base. *Radiat. Prot. Dosim.* (2006) v. 118, n. 2, p. 182-189

21. FAA: Galactic cosmic radiation exposure of pregnant aircrew members II. Report of Office of Aviation Medicine DOT/FAA/AM-00/33. (2000) U.S. Department of Transportation
22. Bottollier-Depois, J. F., Beck, P., Bennett, B., Bennett, L., Bütikofer, R., Clairand, I., Desorgher, L., Dyer, C., Felsberger, E., Flückiger, E., Hands, A., Kindl, P., Latocha, M., Lewis, B., Leuthold, G., Maczka, T., Mares, V., McCall, M.J., O'Brien, K., Rollet, S., Ruhm, W., Wissmann, F.: Comparison of codes assessing galactic cosmic radiation exposure of aircraft crew. *Radiat. Prot. Dosim* (2009) v. 136, n. 4, p. 317-323
23. Sullivan, D.O., Bartlett, D. T., Beck, P., Botollier, J. F., Schrewe, U., Lindborg, L., Tommasino, L., Zhou D.: Recent studies on the exposure of aircrew to cosmic and solar radiation. *Radiat. Prot. Dosim.* (2002) v. 100, n. 1-4, p. 495-498.
24. Vuković, B., Poje, M., Varga, M., Radović, V., Miklavčić, I., Faj, D., Stanić, D., Planinic, J.: Measurements of neutron radiation in aircraft. *Applied Radiation and Isotopes.* (2010) v. 68, p. 2398–2402.
25. Martin, I. M.: Medidas de raios-X e cálculo do fluxo adicional na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Dissertação de mestrado. Instituto de Pesquisas Espaciais (1972) São José dos Campos
26. Costa, J. M.: Particle precipitation and atmospheric x and gama rays in the south atlantic magnetic anomaly by balloon experiments. Instituto de Pesquisas Espaciais, Report INPE-2119-RPE/343, (1981) São José dos Campos
27. Pinto Junior, O.: Estudos sobre raios-X na atmosfera da Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Tese de doutorado, Instituto de Pesquisas Espaciais (1985) São José dos Campos
28. CNEN: Diretrizes básicas de proteção radiológica. Comissão Nacional de Energia Nuclear (2005) Norma CNEN-NN-3.01.