



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**  
**TENISSON DE OLIVEIRA SANTOS**

**RISCOS A EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO IONIZANTE EM**  
**TRIPULANTES DE LINHA AÉREA**

**Palhoça**

**2018**

**TENISSON DE OLIVEIRA SANTOS**

**RISCOS A EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO IONIZANTE EM  
TRIPULANTES DE LINHA AÉREA**

Monografia apresentada ao Curso de graduação em Ciências Aeronáuticas, da Universidade do Sul de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Joel Irineu Lohn, MSc.

Palhoça

2018

**TENISSON DE OLIVEIRA SANTOS**

**RISCOS A EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO IONIZANTE EM  
TRIPULANTES DE LINHA AÉREA**

Esta monografia foi julgada adequada à obtenção do título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas e aprovada em sua forma final pelo Curso de Ciências Aeronáuticas, da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 21 de junho de 2018

---

Orientador: Prof. Joel Irineu Lohn, MSc.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

---

Prof. Dr. Giovani de Paula  
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico esse trabalho a toda comunidade aeronáutica que assume os riscos da profissão em nome da realização do sonho de voar.

## **AGRADECIMENTOS**

Incontáveis são as pessoas especiais e que participam da minha vida e, conseqüentemente, exercem forte influência na minha formação pessoal e profissional.

Alguns são mais especiais que outros. Dessa forma, agradeço primeiramente a minha mãe, que nunca mediu esforços para me ver formado o profissional aviador que eu sou hoje. Agradeço a ela também por todas as palavras de apoio que recebi ao longo do meu curso de Ciências Aeronáuticas. Serei a ela eternamente grato por tudo.

A minha amada esposa, que ainda por cima do meu ombro, leu todo esse trabalho diversas vezes e fazendo observações que foram fundamentais para a conclusão deste.

Aos meus professores da UNISUL, que me guiaram ao longo dessa jornada sempre forma muito generosa.

Ao meu professor orientador Mestre Joel Irineu Lohn pelo notável empenho e paciência durante a orientação para a construção desse trabalho.

Aos meus amigos e colegas de profissão que tanto me ensinaram ao longo da minha trajetória profissional e com elevado grau técnico e de disciplina levam essa nossa marca no Brasil e no exterior.

“Quanto mais nos elevamos, menores parecemos aos olhos daqueles que não sabem voar”.

Friedrich Nietzsche

## RESUMO

Ainda que os efeitos das radiações ionizantes sobre tripulantes de linha aérea seja um assunto de amplo conhecimento em companhias aéreas da Europa e Ásia, a abordagem desse problema no Brasil ainda é tímida e o tema ainda é pouco discutido. Dessa forma, o objetivo desse trabalho de pesquisa é trazer luz sobre o tema apresentando referências de vasta literatura no exterior para o ambiente da aviação brasileira buscando difundir conhecimento para o grupo de tripulantes no Brasil bem como para a comunidade acadêmica sobre os riscos à exposição a esse tipo de radiação. A metodologia utilizada foi baseada em uma significativa e profunda pesquisa de documentos emitidos por reconhecidos e conceituados organismos como ICRP, WHO, ICAO, IATA, IFALPA, UNSCEAR, FAA, NASA, ANAC, CNEN, que forneceram embasamento científico para a preparação desse trabalho. A relação entre a radiação ionizante e a saúde humana foi analisada em várias pesquisas epidemiológicas e meta-análises. O resultado desse trabalho traz diversas recomendações baseadas em documentos de agências reguladoras bem como de organismos internacionais da forma que tripulantes e empresas aéreas devem ter conhecimento e informar os seus tripulantes a respeito de todos os riscos inerentes à exposição às radiações ionizantes

Palavras-chave: Radiação ionizante. Tripulantes. Empresas Aéreas. Agências. Linha Aérea. Saúde Humana.

## **ABSTRACT**

Although the issue of the effects of ionizing radiations on airline crew members is a matter of wide knowledge in airlines in Europe and Asia, the approach of this topic in Brazil is still timid and the subject is still little discussed. Thus, the objective of this research is to bring light on the subject by bringing references of vast literature abroad to the Brazilian aviation environment in order to disseminate knowledge to the crew of the crew in Brazil as well as to the academic community about the risks of exposure to this type of radiation. The methodology used was based on a wide and deep research through documents issued by recognized and recognized organizations such as ICRP, WHO, ICAO, IATA, IFALPA, UNSCEAR, FAA, NASA, ANAC, CNEN, which provided scientific background for the preparation of this work. The relationship between ionizing radiation and human health was analyzed in several epidemiological surveys and meta-analyzes. The result of this paper is a number of recommendations based on documents from regulatory agencies as well as from international organizations on how crew members and airlines should be aware of and inform their crew members of all the risks associated with exposure to ionizing radiations

Keywords: Ionizing radiation. Crewmembers. Airline companies. Agencies. Airline. Human health.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Aparelho de backscatter scan capaz de fazer uma imagem de corpo inteiro que utiliza Raios-X e é diferente dos pórticos detector de metais comumente utilizado nos aeroportos brasileiros que não utilizam Raio-X em sua operação.....	24
Figura 2 - Módulo do Software AIMS para cálculo e registro de radiação recebida pelo tripulante.....	26
Gráfico 1 - Taxa de dose efetiva relacionada com a latitude geográfica na altitudes selecionadas na Longitude 20° E. Taxas de doses efetivas baseadas na atividade solar de Janeiro de 1958 até Dezembro de 2008. ....	21

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dose Efetiva anual em $mSv$ em função da latitude, altitude e horas voadas.....	25
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS

*ft* Pés (altitude). Equivalente a 30,48 cm

## LISTA DE SIGLAS

ALARA	As Low as Reasonable Achievable – Tão Baixo Quanto Razoavelmente Possível
ANAC	Agencia Nacional de Aviação Civil
IOE	Indivíduo Ocupacionalmente Exposto
ICRP	International Commission on Radiological Protection
WHO	World Health Organization
FAA	Federal Aviation Administration
UNSCEAR	United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
IATA	International Civil Association Organization
CAMI	Civil Aerospace Medical Institute
CARI	Civil Aeromedical Research Institute
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
EPCARD	European Program Package for the Calculation of Aviation Route Doses
PC-AIRE	Predictive Code for Aircrew Radiation Exposure
IFALPA	International Federation of Air Line Pilots Association
CEAA/Euratom	Comissão Europeia de Energia Atômica

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 PROBLEMA DA PESQUISA .....	15
1.2 OBJETIVOS.....	15
<b>1.2.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>15</b>
1.3 JUSTIFICATIVA .....	15
1.4 METODOLOGIA.....	16
<b>1.4.1 Natureza da Pesquisa e Tipo da Pesquisa .....</b>	<b>16</b>
<b>1.4.2 Materiais e métodos .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4.3 Procedimentos de coleta de dados .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4.4 Procedimentos de análise de dados.....</b>	<b>17</b>
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	17
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>19</b>
2.1 A RADIAÇÃO CÓSMICA.....	19
2.2 A INFLUÊNCIA DA LATITUDE E DA ALTITUDE.....	21
2.3 A RADIAÇÃO E A GRAVIDEZ .....	22
2.4 AFINAL, GRÁVIDAS PODEM VOAR?.....	23
2.5 X-RAY BACKSCATTER SECURITY SCANNER .....	23
2.6 DOSE EFETIVA ANUAL RECEBIDA PELO TRIPULANTE BRASILEIRO.....	25
2.7 FERRAMENTAS DE MEDICAÇÃO DE NÍVEIS DE RADIAÇÃO EM VOO.....	26
2.8 BRASIL NO ÂMBITO DA RADIAÇÃO IONIZANTE.....	27
2.9 RECOMENDAÇÕES A RESPEITO DA RADIAÇÃO IONIZANTE PARA AS TRIPULAÇÕES .....	27
<b>2.9.1 World Health Organization (WHO) – Organização Mundial da Saúde .....</b>	<b>27</b>
<b>2.9.2 ICRP - International Commission on Radiological Protection .....</b>	<b>28</b>
<b>2.9.2 IATA – International Air Transport Association .....</b>	<b>28</b>
<b>2.9.4 ICAO – International Civil Aviation Organization .....</b>	<b>29</b>
<b>2.9.5 FAA – Federal Aviation and Administration.....</b>	<b>30</b>
<b>2.9.6 Normas da União Europeia .....</b>	<b>30</b>
<b>3 CONCLUSÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>33</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>35</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>36</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A natureza ocupacional de tripulantes de linha aérea os expõe a diversos tipos de radiações ionizantes que podem causar a curto e longo prazo efeitos somáticos e genéticos. Diversas fontes de radiação ionizante contribuem para esta exposição: a radiação cósmica em altitude, Raios-X e gama, carga radioativa advindos nos diversos exames de saúde que tripulantes são submetidos ao longo do ano, radioatividade na atmosfera e procedimentos de *security* em aeroportos. (FRIEDBERG; COPELAND, 2011).

A exposição a todas essas fontes de radiação ionizante pode em determinadas condições ultrapassar o limite estipulado para o indivíduo do público, caracterizando o tripulante de aeronaves como indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE) à radiação ionizante, principalmente aqueles engajados em aeronaves de aviação regular, especialmente a jato. (RUAS, 2017).

De forma particular, a exposição às radiações ionizantes e seus efeitos cancerígenos e de mutação genética têm recebido especial atenção. Até agora o nível de exposição anual é reduzido para um trabalhador em terra tem sido adequadamente reduzido, entretanto, para os tripulantes de linha aérea esses níveis ainda estão acima de outros trabalhadores e tem-se percebido um aumento desses níveis com operações aéreas mais modernas nas quais aeronaves tem alcance cada vez maior e voam em níveis de voo mais elevado. (IFALPA, 2018).

O advento das aeronaves com motores à reação no final da década de 50, propiciou uma notável evolução no transporte aéreo, possibilitando viagens aéreas mais rápidas e seguras, tornando este modal cada vez mais acessível a um maior número de pessoas. Porém, novos fatores de risco surgiram para tripulantes e passageiros como a exposição à radiação cósmica em altitudes e outras fontes de radiação ionizante. (FRIEDBERG; COPELAND, 2003; FRIEDBERG; COPELAND, 2011).

O surgimento do *Tupolev 144* e do Concorde nos anos 60, com teto operacional máximo de 60.000 ft, elevou a preocupação com a exposição das tripulações das aeronaves à radiação ionizante a um novo patamar. Como resultado, estas aeronaves tinham dosímetros instalados a bordo para o monitoramento da dose de radiação.

Ambas as aeronaves já não mais estão em operação nos dias atuais, porém, modernas aeronaves executivas têm teto operacional de 51.000 ft e as modernas aeronaves comerciais tem seus tetos operacionais entre 39.000 e 43.000 ft.

A *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) é reconhecida como o organismo internacional que desenvolve os princípios, filosofias e políticas para proteção dos efeitos de radiação. Em sua Publicação 132, recomenda que a exposição de tripulantes de linha aérea seja tratada como exposição ocupacional em uma situação existente. Em outras palavras a ICRP afirma que os princípios de proteção para essas situações devem ser planejadas, seja em tempo de exposição quanto aos intervalos desta (ICRP, 2016).

Segundo a *World Health Organization* (WHO) e diversos outros organismos, na altitude de voo das atuais aeronaves, a radiação ionizante chega a ser de 100 vezes acima da dose recebida na superfície terrestre. (WHO, s.d.). Dessa forma, o ser humano que por milhares de anos teve no solo o seu habitat poderá de alguma forma sofrer as consequências dos efeitos dessa exposição.

Ainda dentro das exigências laborais dos tripulantes de linha aérea, **esses** são submetidos periodicamente a exames de saúde onde são expostos a radiação oriunda especialmente de equipamentos de Raios-X, e, eventualmente, a equipamentos de *body scan* que são equipamentos para “escaneamento” de pessoas como o *Backscatter Security Scanner* (CAMI, 2011), utilizado especialmente nos aeroportos dos Estados Unidos após os atentados de 11 de Setembro.

Vale ressaltar que este último equipamento é empregado somente em situações específicas em tripulantes de linha aérea exatamente pela dosagem de radiação emitida.

Todos esses eventos vão adicionando lentamente doses de radiação ionizante no organismo de cada tripulante e o emprego do Princípio ALARA – *As Low As Reasonable Achievable* – que recomenda serem mantidas as exposições em níveis tão baixo quanto exequíveis, respeitando as condições socioeconômicas, é altamente desejável no caso de tripulações de aeronaves. (RUAS, 2017, p. 22).

É altamente recomendável que tripulantes conheçam e façam uso de ferramentas de medição de radiação e apliquem os limites recomendados por autoridades aeronáuticas de forma a evitar problemas de saúde relacionados à sua atividade laboral.

Ao longo desse trabalho serão apresentados métodos e ferramentas que podem ser utilizadas a fim de ter o conhecimento do acúmulo de radiação ao longo do ano. Existem também módulos dentro de programas de confecção de escalas de voo que já fazem esse cálculo de forma automática realizando o cálculo por etapa de voo.

.

---

## 1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

Como identificar, quantificar e manter-se dentro dos limites aceitáveis de radiação ionizante ao longo da carreira de tripulantes de linha aérea?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Trazer luz ao tema da exposição por radiação ionizante em tripulantes de linha aérea, objetivando que a comunidade aeronáutica tenha informações de cunho científico dos riscos à exposição as radiações ao longo da carreira de forma a poder preveni-las.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Compartilhar dados através da literatura já disponível de forma genérica a respeito da radiação e, especificamente, dados relacionados à aviação bem como os riscos associados a esses.

Descrever recomendações para tripulantes e operadores quanto ao gerenciamento e medição de doses de radiação as quais tripulantes são expostos ao longo da carreira.

Analisar comparativamente as doses de radiação cósmica recebida por uma população exposta (tripulantes de linha aérea) e a uma população que vive ao nível do mar.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Diante de uma vasta literatura específica sobre o tema em contraponto a baixa importância dada por escassez de informação no Brasil, faz-se necessário apresentar cada vez mais estudos relacionados aos riscos a exposição às radiações ionizantes especialmente para a comunidade aeronáutica no Brasil.

De posse de informações de cunho científico é possível levar ao conhecimento de tripulantes, operadores e entidades de classe de forma que, em consonância com as maiores



empresas aéreas do mundo, sejam estabelecidos programas que meçam e planejem a dosagem de radiação ionizante em seus tripulantes.

O foco do trabalho é apresentar os riscos de danos à saúde como o aumento da probabilidade de desenvolver câncer, cataratas, defeitos genéticos nos descendentes e diversas outras doenças com a provável etiologia atribuída aos radicais livres. (FRIEDBERG; COPELAND, 2011).

A interação do material biológico com a radiação ionizante oferece risco de dano ao DNA e a geração de radicais livres. Algumas vezes esse dano não é importante ou o organismo recompõe o DNA, porém, eventualmente esta recomposição é imperfeita e a célula passa a se reproduzir com defeito, aumentando o risco de problemas somáticos e genéticos (NOUAILHETAS, s.d).

Apesar do reconhecimento internacional de que a radiação cósmica representa um risco para a saúde no local de trabalho para os tripulantes de linha aérea, existe uma necessidade urgente de pesquisas mais abrangentes sobre todas as formas de exposição à radiação dos tripulantes de linha aérea.

## 1.4 METODOLOGIA

### 1.4.1 Natureza da Pesquisa e Tipo da Pesquisa

A estrutura do presente trabalho se apoiou como exploratória, por proporcionar maior familiaridade com o tema e explicitá-lo (GIL, 2002, p.41). Seguiu em procedimento bibliográfica e documental, o qual, (JOYCE S. NICHOLAS, 2000) ainda em Gil (2002, p. 46), “a pesquisa documental apresenta algumas vantagens por ser fonte rica e estável de dado: não implica altos custos, não exige contato com os sujeitos da pesquisa e possibilita uma leitura aprofundada das fontes”. A abordagem da pesquisa foi qualitativa que se trata de um estudo com o levantamento de dados para a compreensão e interpretação de determinado fenômeno. Nesse tipo de pesquisa, é possível verificar um certo nível de subjetividade na tratativa dos dados coletados, diferente do que ocorre, por exemplos, nas pesquisas qualitativas em que resultados numéricos importância. (PHD, 2015).

### 1.4.2 Materiais e métodos

Os materiais utilizados foram baseados em forma:

- Documentos e artigos sobre Radiação Ionizante;
- Entendimentos e recomendações emitidos por agências reguladoras, especialmente FAA e ANAC assim como IATA;
- Documentação de órgãos de controle como CNEN, UNSCEAR e Euratom
- Documentos sobre saúde do tripulante e recomendações da IFALPA.

### 1.4.3 Procedimentos de coleta de dados

A base de dados teve origem em revisões documentais e bibliográficas sobre os efeitos das radiações ionizantes sobre os tripulantes de aeronaves.

### 1.4.4 Procedimentos de análise de dados

Os dados foram verificados por análise de conteúdo e interpretação que conforme André (1983), permite conhecer o caráter multidimensional dos fenômenos em sua manifestação natural, obter diferentes visualizações e análises, delineando um cenário ao objeto estudado.

## 1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No intuito de melhor compreender o percurso da leitura, o trabalho foi estruturado da seguinte forma: no primeiro conteúdo encontra-se a introdução ao tema proposto, a problematização e o problema do estudo, os objetivos, a justificativa e a metodologia.

Na sequência do segundo conteúdo temos as fundamentações teóricas apresentando a definição de radiação ionizante, consequências, e quais as influências que ela pode ter bem como o que pode influencia-la como altitude e latitude. A fundamentação segue discorrendo a respeito sobre os riscos de voar durante a gravidez e uma breve apresentação de

como outros países tratam o tema de forma a termos base de comparação de onde estamos no Brasil em relação ao mundo no tema “radiação ionizante”.

Em seguida, no terceiro conteúdo vemos conclusão, seguido das considerações finais. Por último temos as referências bibliográficas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 A RADIAÇÃO CÓSMICA

A radiação cósmica foi descoberta no início do século XX, em 1912, por Victor Franz Hess numa experiência com balões atmosféricos que lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física em 1936, em conjunto com Carl David Anderson (FRIEDBERG; COPELAND, 2003). A evidência do constante bombardeamento de radiação cósmica na Terra conduziu à incerteza em relação aos efeitos nocivos que esta pode ter em altitude, tendo mais tarde vindo a determinar a radiação cósmica como agente cancerígeno. (LIM, 2002).

Hoje se sabe que a radiação cósmica produz efeitos, tanto em tripulações como em instrumentação embarcada. É crescente o número de estudos sobre esse tema, tratado em diferentes recomendações de diversas organizações ao redor do mundo. Em especial, a preocupação com a dose de radiação recebida por tripulações tem sido objeto de investigações e recomendações, principalmente relacionadas ao controle ocupacional destas (FREDERICO, 2017).

Embora existam múltiplos estudos epidemiológicos publicados na literatura científica no exterior investigando o risco de câncer nas tripulações, o assunto ainda é bastante desconhecido da grande maioria dos tripulantes no Brasil e muitas vezes a radiação é confundida com radiação ultravioleta, sendo esta última facilmente evitada com o uso de anteparos e protetores solares.

Através de um documento Presidencial, *United States Environmental Protection (EPA)* que define que pessoas consideradas ocupacionalmente expostas a radiação ionizante bem como pessoas com cargos de gerência dessas áreas, devem receber instruções a respeito dos possíveis efeitos associados a exposição e seus princípios básicos de proteção (EPA, 1987).

Em 1994, a *Federal Aviation Administration (FAA)* formalmente reconhece que tripulantes de linha aérea são indivíduos ocupacionalmente expostos a radiação ionizante e recomenda que os mesmos sejam informados sobre a exposição, seus riscos à saúde e sobre o processo de tomada de decisão no que concerne ao seu ambiente de trabalho (FRIEDBERG; COPELAND, 2003).

Quando considerado o potencial de prejuízo a saúde e as consequências da exposição à radiação ionizante, normalmente utiliza-se termos expressos em “Dose Efetiva”.

Entretanto, quando se trata da radiação a partir da concepção (qualquer estágio do desenvolvimento pré-natal a partir da fertilização do óvulo), a dose é expressa em termos de “Dose Equivalente”. E unidade para ambos, dose efetiva e dose equivalente, é o *Sievert*, o qual mede o potencial de dano da radiação ionizante (FRIEDBERG; COPELAND, 2003). Sendo assim, temos:

$$1 \text{ sievert} = 1000 \text{ millisieverts (mSv)}$$

$$1 \text{ millisieverts} = 1000 \text{ microsieverts}$$

O ICRP considera que o limite máximo recomendado de exposição em um período médio de 5 anos é uma dose efetiva de 20 *mSv*, por ano, sendo que a dose efetiva não pode superar 50 *mSv* em um só ano. A recomendação para tripulantes grávidas é de 1 *mSv* durante toda a gravidez. Para o público geral é 1 *mSv*. (ICRP, 2016).

A dose efetiva de radiação cósmica que o tripulante de uma empresa aérea que voa 600 horas anuais é de aproximadamente **2 a 5 *mSv/ano*** (IATA, 2018; IFALPA, 2018; ICAO, 2012). A *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, estima estes valores entre **1.2 a 7 *mSv/ano***. (ICRP, 2016; UNSCEAR, 2010).

Em uma definição mais abrangente, radiação é o transporte de energia de um ponto a outro do espaço por meio de um campo periódico ou por partículas sub-atômicas (DORE, 2004).

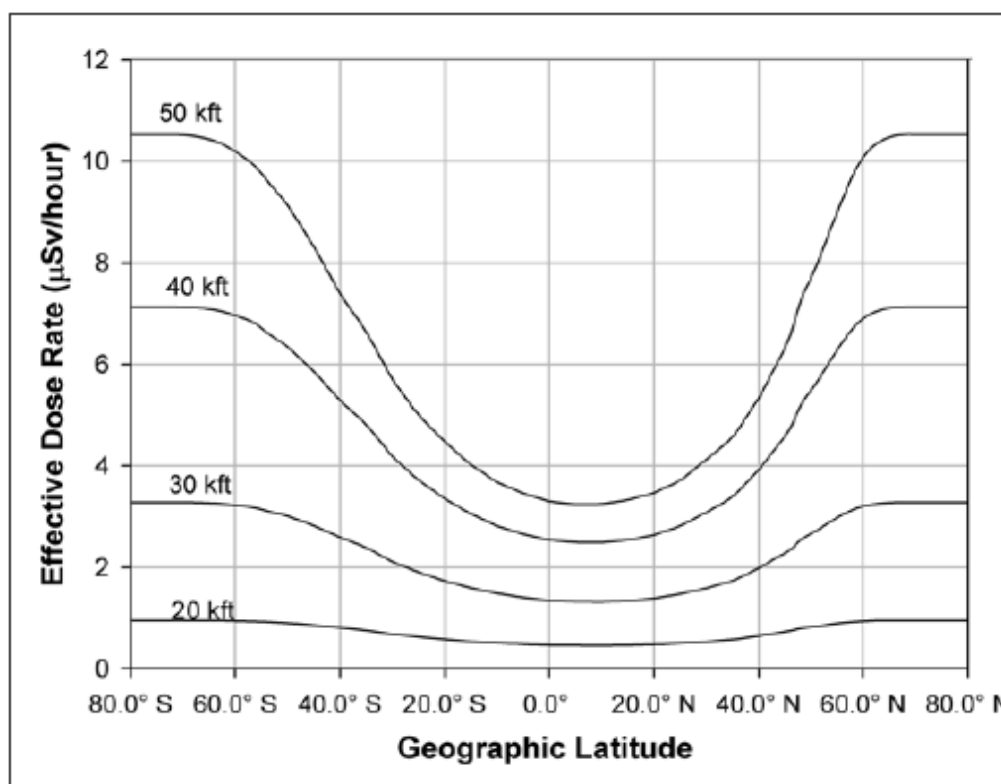
Radiação Ionizante refere-se a partículas subatômicas que ao interagir com um átomo pode, direta ou indiretamente, fazer com que o átomo perca um elétron ou mesmo quebrar o seu núcleo. Tais ocorrências no tecido do corpo podem causar problemas de saúde. Exemplos de radiações ionizantes são fótons (raios-x e raios gama), nêutrons, prótons, elétrons e pósitrons. A radiação ionizante é normal e faz parte do nosso ambiente. Substâncias que emitem radiação ionizante está presente em todas as células do corpo. Estamos expostos à radiação ionizante que emana do chão e de alguns materiais de construção. A mesma radiação é utilizada em alguns procedimentos médicos, como raios-x utilizado frequentemente em tripulantes para detectar doenças no tórax e radioisótopos para tratar e detectar doenças de câncer. (FRIEDBERG; COPELAND, 2003).

## 2.2 A INFLUÊNCIA DA LATITUDE E DA ALTITUDE

O campo magnético terrestre oferece uma certa proteção ou “blindagem” aos raios cósmicos desviando e atenuando parte dos raios. Por esse motivo, nos polos a *dose rate* de radiação recebida é máxima e no Equador, mínima. Basicamente a dose recebida nos polos é o dobro do Equador. (FRIEDBERG; COPELAND, 2003).

As altitudes de voo das atuais aeronaves a reação são entre 39.000 *ft* e 51.000 *ft*, onde, a partir de 25.000 *ft* a dose de radiação dobra a cada 6.000 *ft*. Ou seja, quanto mais alto for o voo, maior será o índice de radiação absorvido pelo tripulante. (RUAS, 2017)

Gráfico 1 - Taxa de dose efetiva relacionada com a latitude geográfica na altitudes selecionadas na Longitude 20° E. Taxas de doses efetivas baseadas na atividade solar de Janeiro de 1958 até Dezembro de 2008.



Fonte: Friedberg & Copeland (2003, p. 6).

### 2.3 A RADIAÇÃO E A GRAVIDEZ

Viagens aéreas durante a gravidez estão sujeitas a uma série de recomendações que devem ser obtidas dos médicos e empresas aéreas e não será tratada nesse trabalho por não ser o foco deste.

O *American College of Obstetrician and Gynecologists* (ACOG) alega que na maioria dos casos, o risco para o feto por exposição à radiação cósmica é insignificante, porém, para tripulantes e passageiras frequentes, esta exposição poderá ser maior e recomenda uma consulta ao site do FAA para uma estimativa desta exposição. (ACOG, 2009).

Para (ICRP 2000), baseado no conceito ALARA, *As Low as Reasonable Achievable*, ou Tão Baixo Quanto Razoavelmente Possível, é recomendado que para tripulantes que a partir do momento que tenha conhecimento de sua gestação deverá informar a empresa e que suas atividades sejam estritamente de solo (IATA 2018).

Tripulantes e passageiras frequentes podem ficar expostos à valores de radiação acima do recomendado caso seus voos não sejam devidamente monitorados. Além da exposição à fonte constante de radiação ionizante em altitude, a *galactic cosmic radiation*, explosões solares podem elevar significativamente os níveis de radiação nas altitudes de voo e afetar inclusive passageiros ocasionais. (BARISH, 2004).

Os possíveis danos ao feto podem ser o aumento do risco de desenvolver câncer no decorrer da sua existência, malformações e anormalidades estruturais, morte pre-natal e retardamento mental <sup>(1)</sup>. A ICRP 60 aponta para o alto risco de morte do feto se exposto à radiação durante as três primeiras semanas posteriores a concepção. (ICRP 2000).

Por tais fatos, toda grávida deveria ser informada sobre todos os riscos da radiação ionizante presente nos voos nas altitudes comumente utilizadas pelas aeronaves comerciais atuais.

Diante destes dados comprovados por pesquisas científicas, urge a atualização das normas e recomendações brasileiras reconhecendo a exposição ocupacional à radiação ionizante dos tripulantes brasileiros. A divulgação das informações sobre radiação cósmica e estabelecimento de um controle das exposições dos tripulantes, grávidas e passageiras frequentes deve ser mandatório. (RUAS, 2017)

A legislação brasileira estipula um limite de exposição à radiação ionizante para as gestantes na norma Diretrizes de Proteção Radiológica, conforme colocado pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN):

Para mulheres grávidas ocupacionalmente expostas, suas tarefas devem ser controladas de maneira que seja improvável que, a partir da notificação da gravidez, o feto receba dose efetiva superior a 1 mSv durante o resto do período de gestação. (CNEN, 2014, p. 13).

## 2.4 AFINAL, GRÁVIDAS PODEM VOAR?

Esta pergunta não tem uma resposta definitiva. Porém, sob a ótica da exposição à radiação ionizante presente nas altitudes de voo das aeronaves comerciais, estas são 100 vezes maior que a radiação recebida ao nível do mar, algumas considerações devem ser efetuadas. (WHO 2005).

É inegável que toda exposição de um material biológico à radiação ionizante implica em algum risco de dano a este material. Risco zero, somente com exposição zero, o que evidentemente não acontece em voo. (RUAS, 2017)

Além da exposição constante à *Galactic Cosmic Radiation* que aumenta com o aumento da altitude e da latitude, diversos outros fenômenos de difícil previsão como as explosões solares podem levar a um aumento significativo da dose de radiação recebida pela gestante e, conseqüentemente, pelo embrião/feto. (FRIEDBERG; COPELAND, 2003). O embrião/feto submetido a radiação ionizante terá o risco aumentado de desenvolver anomalias estruturais, retardamento mental, câncer fatal durante sua existência e morte pré-natal nas primeiras semanas de gestação. (FRIEDBERG; COPELAND, 2003).

Podemos concluir que sob o prisma da exposição à radiação ionizante presente nas altitudes de voos das atuais aeronaves e pela imprevisibilidade de ocorrência de alguns fatores como tempestades solares, raios, altitude e latitudes em voo, voar oferece um risco de dano ao embrião/feto, principalmente no caso das tripulantes e passageiras frequentes.

## 2.5 X-RAY BACKSCATTER SECURITY SCANNER

Tripulantes são considerados Indivíduos Ocupacionalmente Expostos devido receberem maior carga de radiação ionizante em comparação a população em geral. O *Transportation Security Administration (TSA)* tem demonstrado preocupação com os novos



equipamentos de scanner corporal incorporado nos aeroportos dos Estados Unidos devido à dose adicional que passageiros e tripulantes recebem de radiação ionizante e um possível risco de câncer de pele. (MAXON, 2010).

Os equipamentos usados nos aeroportos dos Estados Unidos são do tipo *backscattered* (Rapiscan Secure 1000, fabricado pela Rapiscan System). Elas utilizam raio-x de baixa energia que refletem no corpo e nos objetos próximos. O fabricante indica que a dose efetiva por escaneamento corporal é menor que 0.0001 mSv e aproximadamente 0.0003 mSv (quando combinada com a pessoa sendo escaneada de frente e de costas)\*. A *Johns Hopkins University* indica que padrão de uso desse equipamento não deve durar mais que 3 segundos, utilizando-se como base os ajustes recomendados pelo fabricante e que isso resulta em uma dose efetiva de 0.000146 mSv por utilização.\*\*

Figura 1 - Aparelho de backscatter scan capaz de fazer uma imagem de corpo inteiro que utiliza Raios-X e é diferente dos pórticos detector de metais comumente utilizado nos aeroportos brasileiros que não utilizam Raio-X em sua operação



Fonte: George (s. d).

---

\*Rapiscan Systems, "Rapiscan Secure 1000," online at

<http://epic.org/privacy/surveillance/spotlight/0605/rapiscan.pdf>; accessed 15 Nov 2010.

\* Rapiscan Systems, "FAQs," online at [www.rapiscansystems.com/sec1000faqs.html](http://www.rapiscansystems.com/sec1000faqs.html); accessed 18 Nov 2010.

\*\*Johns Hopkins University, Applied Physics Laboratory. *Radiation Safety Engineering Assessment Report for the Rapiscan Secure 1000 in Single Pose Configuration (Ver. 2.0)*. Laurel, MD: The Johns Hopkins Applied Physics Laboratory; 2010 Aug. Report No.: NTSD-09-1085 (front and back effective doses, p.15; X-ray source, p. 13).

## 2.6 DOSE EFETIVA ANUAL RECEBIDA PELO TRIPULANTE BRASILEIRO

Até a data da publicação desse trabalho, o tripulante brasileiro ainda não é reconhecido como ocupacionalmente exposto à radiação ionizante. Por essa razão, não existe a obrigatoriedade de monitoramento da exposição do tripulante pelos operadores de aeronaves e conseqüentemente poucos dados estão disponíveis. (RUAS 2017, pág. 117)

Entretanto, é possível fazer essa estimativa baseado no número de horas de voo voadas em média por um tripulante brasileiro através de programas criados para esse monitoramento. Vale ressaltar que em países nos quais esse monitoramento é obrigatório ele é realizado pelo próprio programa que confecciona as escalas de voo dos tripulantes.

Segundo a Lei 13.475/17 – “Lei do Aeronauta” que estabelece um limite de 800 horas de vôos anuais, é possível fazer uma estimativa utilizando valores intermediários de 600 a 700 horas mensais e levando-se em consideração as latitudes médias voadas dentro do Brasil.

Tabela 1 – Dados baseados no gráfico 1 e adaptado para as localidades.

<b>Taxa de Dose Efetiva anual em <i>mSv</i> em função da latitude, altitude e horas voadas</b>				
	20.000 ft	30.000 ft	40.000 ft	50.000 ft
<b>Macapá – MCP / Latitude 0°</b>				
<i>mSv / hora</i>	0,0005	0,0015	0,0026	0,0034
<i>mSv / ano (600 horas)</i>	0,3	0,9	<b>1,56</b>	<b>2,04</b>
<i>mSv / ano (700 horas)</i>	0,35	<b>1,05</b>	<b>1,82</b>	<b>2,38</b>
<i>mSv / ano (800 horas)</i>	0,4	<b>1,2</b>	<b>2,08</b>	<b>2,72</b>
<b>Porto Alegre – POA / Latitude 30°</b>				
<i>mSv / hora</i>	0,0008	0,0022	0,0042	0,0058
<i>mSv / ano (600 horas)</i>	0,48	<b>1,32</b>	<b>2,52</b>	<b>3,48</b>
<i>mSv / ano (700 horas)</i>	0,56	<b>1,54</b>	<b>2,94</b>	<b>4,06</b>
<i>mSv / ano (800 horas)</i>	0,64	<b>1,76</b>	<b>3,36</b>	<b>4,64</b>
<b>Helsinki – HEL / Latitude 60°</b>				
<i>mSv / hora</i>	0,001	0,0034	0,0072	0,01
<i>mSv / ano (600 horas)</i>	0,6	<b>2,04</b>	<b>4,32</b>	<b>6</b>
<i>mSv / ano (700 horas)</i>	0,7	<b>2,38</b>	<b>5,04</b>	<b>7</b>
<i>mSv / ano (800 horas)</i>	0,8	<b>2,72</b>	<b>5,76</b>	<b>8</b>

Fonte: Adaptado de Ruas (2017).

De posse desses dados, é possível fazer algumas conclusões:

- Os voos conduzidos a uma altitude de 20.000 ft dificilmente superarão o limite de 1 *mSv* recomendados para o indivíduo do público;
- Acima de 20.000 ft é necessário o monitoramento uma vez que os valores ultrapassam 1 *mSv*;
- O voo sobre o território brasileiro em níveis normalmente utilizados por aeronaves comerciais, pode gerar uma dose efetiva entre **0,9 e 3,36 mSv/ano**. Para tripulantes que efetuam voos internacionais de longo curso e rotas polares esses valores devem aumentar.

## 2.7 FERRAMENTAS DE MEDICAÇÃO DE NÍVEIS DE RADIAÇÃO EM VOO

Existem ferramentas disponíveis on-line gratuitamente que calculam a dosimetria recebida por tripulantes em voo. Essas ferramentas, além de serem disponibilizadas para o público em geral, são oferecidas também em forma de softwares que podem ser utilizados como *add-on* nos programas de confecção de escala das empresas aéreas

Avaliações feitas pelo próprio autor utilizando do CARI-6 (desenvolvido pelo FAA) e o Epicard da Alemanha em voo entre São Paulo (GRU) e Frankfurt (FRA) mostram a semelhança entre os resultados apresentando um alto grau de confiabilidade dos mesmos (Arquivo anexo).

Softwares geradores de escalas de tripulantes utilizados por grandes companhias aéreas no mundo fazem a dosimetria de radiação e registra o acúmulo anual em cada tripulante respeitando a legislação vigente em cada país.

Figura 2 - Módulo do Software AIMS para cálculo e registro de radiação recebida pelo tripulante

The screenshot shows a software configuration window with the following elements:

- Option 1500:  Activate Cosmic Radiation rules
- Option 1501:  Maximum exposure to radiation in  consecutive  is
- Option 1502:  Pregnant Crew should not be exposed to more than   for the first  weeks of pregnancy
- A section titled "Define the folder where the CARI-6 software exists" with a text input field containing "F:\AIMS\Rel12\COSRAD" and a "Browse" button.

Fonte: AIMS (s.d., p. 4).

A AIMS Int'l utiliza para o cálculo de dosagem o CARI-6 dos Estados Unidos, o Epicard, da Alemanha e da PCAir do Canada.

## 2.8 BRASIL NO ÂMBITO DA RADIAÇÃO IONIZANTE

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) está participando do projeto ERISA (Efeitos das Radiações Ionizantes em Sistemas Aeronáuticos), que tem como objetivo estudar os efeitos das radiações ionizantes de origem cósmica sobre os sistemas eletrônicos embarcados em aeronaves. A pesquisa — que permite ampliar os conhecimentos sobre os campos de radiação em altitudes típicas de aviação e seus efeitos — visa também a viabilizar o fornecimento de suporte de dados para a implementação de requisitos de segurança e de avaliação da suscetibilidade de sistemas eletrônicos embarcados.

Fonte: (ERISA, 2014).

Desenvolvido por pesquisadores do Instituto de Estudos Avançados (IEAv) do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA/COMAER); do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); e do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) — entre outros órgãos.

O projeto ERISA também está relacionado aos projetos DRIEAB (Dosimetria da Radiação Ionizante no Espaço Aéreo Brasileiro), que visa ao estudo de dose da radiação incidente em tripulações de aeronaves e o projeto RCMA (Medidas dos efeitos da radiação cósmica em memórias embarcadas em equipamentos aviônicos), que aborda os efeitos das radiações em memórias embarcadas, ambos do IEAv. (ANAC, 2014).

## 2.9 RECOMENDAÇÕES A RESPEITO DA RADIAÇÃO IONIZANTE PARA AS TRIPULAÇÕES

Diversos organismos internacionais bem como entidades de classe discutem e elaboraram meios de minimizar os riscos associados à radiação ionizante. Tais como:

### 2.9.1 World Health Organization (WHO) – Organização Mundial da Saúde

De acordo com WHO (2005, p. 4) os governos nacionais são aconselhados para proteger o pessoal de voo em razão da exposição excessiva à radiação:

- Avaliar e rastrear doses de radiação de tripulantes;

- Fornecer à tripulação de avião um registro de sua dose cumulativa de radiação pessoal;
- Considerar a exposição à radiação e reduzir a exposição à radiação ocupacional quando viável na criação de escalas de voo;
- Informar o pessoal sobre os efeitos da radiação cósmica;
- Na medida do possível, alertar o pessoal sobre potenciais eventos de prótons solares, e aconselhar aqueles que viajaram em uma área de aumento de radiação durante uma SPE.

A tripulação aérea é aconselhado:

- Manter-se informado sobre os efeitos da radiação cósmica sobre a saúde;
- Registrar suas doses cumulativas de radiação em uma base regular e permanente (se não feito pela respectiva companhia aérea ou órgãos governamentais);
- Considerar a exposição à radiação ao selecionar horários de voo; (WHO, 2005).

### **2.9.2 ICRP - International Commission on Radiological Protection**

Em sua publicação de número 132 a ICRP faz recomendações tanto às companhias aéreas, tripulantes bem como passageiros frequentes. São elas:

Para a tripulação aérea, como comissários de bordo e pilotos, as companhias aéreas devem educar e informar os funcionários sobre a dose e os efeitos da radiação cósmica. As companhias aéreas também devem avaliar e registrar essas doses, disponibilizando as informações sobre a dose pessoal de cada funcionário. Devem existir disposições para ajustar os direitos da tripulação aérea que declarou uma gravidez, se necessário.

As autoridades nacionais e companhias aéreas devem aumentar a conscientização sobre a radiação cósmica e oferecer seu apoio para tomar decisões informadas sobre a exposição à radiação cósmica e sua relação com o voo. (ICRP, 2016).

### **2.9.2 IATA – International Air Transport Association**

Embora a radiação cósmica seja uma forma de radiação ionizante, é impraticável considerar a redução da exposição por provisão de blindagem como se poderia com raios-x.

De fato, a blindagem pode realmente aumentar o número de produtos de reação secundária e, assim, aumentar os níveis de radiação ionizante.

No entanto, pode, em princípio, ser possível tentar reduzir a exposição alterando variáveis-chave. Por exemplo, baixar a altitude reduzirá o exposição à radiação cósmica, mas prolongará o voo e, portanto, aumentará o tempo durante o qual o membro da tripulação está exposto. Além disso, a aeronave também estará sujeita ao aumento do consumo de combustível que tem outros efeitos ambientais negativos.

No que diz respeito à gravidez, para além das recomendações da ICRP, a Directiva Europeia exige que as companhias aéreas reduzam a dose recebida pelo feto a um nível "tão baixo quanto razoavelmente possível" (Princípio ALARA).

Como resultado, várias companhias aéreas europeias tomaram a decisão de designar todos os voos e cabines membros da tripulação aos deveres terrestres sobre a declaração de gravidez. (IATA, 2018).

#### **2.9.4 ICAO – International Civil Aviation Organization**

Teoricamente, a exposição à radiação na tripulação aérea pode ser reduzida através da otimização das rotas de voo e da tripulação agendamento e instalação de dispositivos de aviso de radiação. Esses dispositivos são particularmente eficazes na detecção de radiação momentânea durante as explosões solares e pode assim ser usada para determinar a necessidade de um nível de cruzeiro mais baixo. Tripulação feminina os membros devem estar cientes do possível risco para o feto e devem ser agendados de forma a minimizar a exposição durante a gravidez.

O ICAO (2012) descreve as disposições relevantes relativas aos indicadores de radiações a aviões destinados a serem operados acima de 15 000 m (49 000 pés), as quais são requeridas que tenha equipamento a bordo para medir e indicar continuamente a dose total de radiação cósmica que está sendo recebida e a dose acumulada em cada voo. (ICAO, 2012).

### 2.9.5 FAA – Federal Aviation and Administration

A FAA aceita as recomendações mais recentes da American Conference of Government Industrial Hygienists (ACGIH) (36, 37). Para uma tripulante que não está grávida, o limite recomendado pela FAA para exposição à radiação ionizante é uma média de 5 anos de 20 mSv. Para uma tripulante grávida, quando ela relata sua gravidez à gerência, os limites de exposição à radiação ionizante recomendados pela FAA para o feto são 0,5 mSv em qualquer mês e 1 mSv durante o restante da gravidez.

### 2.9.6 Normas da União Europeia

Para uma empresa que opera uma aeronave em que a dose para a tripulação de radiação cósmica é susceptível de exceder 6 mSv por ano, os requisitos relevantes estabelecidos devem ser aplicados, permitindo as características específicas desta exposição. Os Estados-Membros assegurarão que, quando o dose para a tripulação é susceptível de ser superior a 1 mSv por ano, o autoridade competente exige que a empresa tome as medidas adequadas medidas, nomeadamente:

- avaliar a exposição da tripulação em causa;
- levar em consideração exposição avaliada ao organizar horários de trabalho com vista a reduzir as doses de tripulação altamente exposta;
- Informar os trabalhadores em causa dos riscos para a saúde que o trabalho envolve e sua dose individual.

Para tripulantes gestantes, aplica-se o Artigo 10 desse mesmo documento que diz:

Os Estados-Membros assegurarão que a protecção dos fetos é comparável com a prevista para os membros do público. Assim que uma trabalhadora grávida informar a gravidez, em conformidade com a legislação nacional, a empresa e o empregador devem assegurar condições para a trabalhadora grávida que seja tão baixa quanto razoavelmente possível e improvável que exceda 1 mSv durante pelo menos o restante da gravidez.

Logo que os trabalhadores informem a empresa, que eles estejam amamentando, não devem ser empregados em trabalhos que envolvam risco significativo de contaminação corporal. (EURATON, 2013, pp. 13).

### 3 CONCLUSÃO

Nesse trabalho, o objetivo foi trazer à tona um conhecimento mais amplo sobre a influência e os riscos inerentes a função de tripulantes de aeronaves da radiação ionizante buscando fazer um paralelo com outros países onde já existe legislação específica onde o controle e monitoramento é feito.

Embora a exposição à radiação cósmica possa afetar os tecidos e órgãos humanos, modificando ou destruindo células, estudos recentes mostram que outros fatores de risco ocupacionais podem contribuir mais significativamente para a mortalidade de membros de tripulações de voo. Importante ressalva deve ser feita para gestantes, especialmente durante as primeiras semanas de gestação, quando ocorre expressiva multiplicação celular na formação inicial do feto. Assim, seria recomendável que membros femininos da tripulação realizassem, com frequência teste de gravidez.

A *Internacional Commission of Radiological Protection* estabelece os valores máximos aceitáveis para exposição radioativa de trabalhadores ocupacionais e órgãos reguladores da aviação, em vários países, instituem regras para os limites de doses para tripulações. A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), órgão superior de planejamento, orientação, supervisão e fiscalização, estabelece normas e regulamentos em radioproteção relativos à atividade nuclear no Brasil, com objetivos de garantir o uso seguro e pacífico da energia nuclear, desenvolver e disponibilizar tecnologias nuclear e correlatas. Porém, não existe até a presente data na regulamentação aeronáutica brasileira orientações específicas para os limites de intensidade radioativa em atividades aéreas.

Dentre as limitações do presente trabalho pode-se citar as dificuldades para realizar medidas de radioatividade de forma sistemática. As medidas que constam neste trabalho foram realizadas, na condição de tripulante efetivo do voo, durante voos comerciais. Idealmente seria desejável realizar muitas medidas, em várias rotas domésticas e internacionais em diferentes altitudes, de forma a obter um conjunto completo de dados que permitisse fazer um tratamento estatístico dos mesmos.

Outra limitação para a produção desse trabalho se deu pela falta de acesso a materiais específicos como um Contador *Geiger* para que pudesse ser disponibilizado as diferenças de valores de medição do contador em relação às ferramentas apresentadas ao longo do trabalho como o CARI-6 (FAA) e o EPICARD (Comunidade Europeia).



Foi mostrado também quão pequena são as discrepâncias de valores entre ferramentas CARI-6 e EPICARD demonstrando consonância e precisão nos resultados obtidos sendo, dessa forma, sugeridos como excelentes ferramentas tanto para pilotos e comissários bem como passageiros frequentes e gestantes calcularem o acúmulo de radiação em seus voos e poderem estar de posse de uma melhor avaliação de riscos.

Em função da indisponibilidade de algumas informações bem como uma certa complexidade na inserção dos dados nas ferramentas de medição de radiação apresentadas nesse trabalho, recomenda-se para trabalhos futuros a pesquisa e desenvolvimento de softwares ou aplicativos que façam uma tradução do CARI-6 ou EPICARD de forma que cada tripulante faça o uso pessoal deste e tenha dados suficientes para fazer um controle pessoal da carga de radiação recebida uma vez que a legislação brasileira ainda não prevê a medição e o controle por parte das empresas.

Recomenda-se também um trabalho de pesquisa mais aprofundado especificamente com dados estatísticos que apontem a efetiva relação de surgimento de doenças ocupacionais, cânceres ou má-formação de fetos com os efeitos da radiação ionizante.

Esse estudo poderia ser aplicado no futuro também com outras populações, especificamente com tripulantes da aviação executiva, que trabalham em aeronaves que voam em níveis mais altos e, conseqüentemente, mais expostos a uma maior carga de radiação.

Radioatividade é um “passageiro invisível” (BARISH, 1996) e sua presença em voos não pode ser menosprezada. É importante que as tripulações tenham conhecimento sobre a natureza e a intensidade das radiações a que estão submetidas durante suas atividades profissionais e que as condições do ambiente de trabalho em voo sejam avaliadas também sob este aspecto através, por exemplo, da utilização de dosímetros capazes de captar e registrar a radioatividade na aeronave.

## REFERÊNCIAS

- ACOG. American College of Obstetrician and Gynecologists. **Committee Opinion**. N. 443. Oct./2009. Disponível em: <<https://www.acog.org/-/media/Committee-Opinions/Committee-on-Obstetric-Practice/co443.pdf?dmc=1&ts=20180415T1621063996>> Acesso em: 05 abril 2018.
- ANAC. **Projeto estuda radiação e seus efeitos na aviação**. Agosto 2017. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/noticias/2014/projeto-estuda-radiacao-e-seus-efeitos-na-aviacao>> Acesso em: 05 abril 2018.
- BARISH, R. J. In -Flight Radiation Exposure During Pregnancy. **Obstetrics & Gynecology**. v. 103, n. 6. Jun./2004. Disponível em: <<http://fdx.alpa.org/portals/26/docs/radiationwhilepregnant.pdf>> Acesso em: 06 abril 2018.
- BARISH, R. J. The Invisible Passenger: Radiation Risks for People Who Fly. **Advanced Medical Pub.**, 1996.
- CAMI. **Civil Aerospace Medical Institute** – FAA. X-Ray Backscatter Security Scanners at U.S. Airports. DOT/FAA. January 2011.
- CNEN. **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica – Resolução 164/14**. Março 2014. Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>> Acesso em: 04 abril 2018.
- DORE, S. **A Radiação Ionizante**. Palestra Introdutória - Curso de Física da Radiação I - UFRJ. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2004. p. 25.
- ERISA. **Efeitos das Radiações Ionizantes em Sistemas Aeronáuticos**. 2014. Disponível em: <<http://erisa.ieav.cta.br>> Acesso em: 29 abril 2018.
- EURATOM. Directives: Council Directive. Official Journal of the European Union. December 2013.
- FREDEREICO, C. A. Prefácio. In: RUAS, A. C. **O Tripulante de Aeronaves e a Radiação Ionizante**. São Paulo: Bianch, 2017.
- FRIEDBERG, W.; COPELAND, K. **Ionizing Radiation in Earth's Atmosphere and in Space Near Earth**. FAA - DOT/FAA/AM-11/9. May 2011.
- FRIEDBERG, W.; COPELAND, K. **What Aircrews Should Know About Their Occupational Exposure to Ionizing Radiation**. FAA - DOT/FAA/AM-03/16. October 2003.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisas**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

IATA. **Medical Manual**. 10<sup>th</sup> Edition. Feb./2018. Disponível em:  
<<https://www.iata.org/publications/Documents/medical-manual.pdf>> Acesso em: 22 março 2018.

ICAO. **Doc 8984, Manual of Civil Aviation Medicine**. 3<sup>th</sup> Edition. 2012. Disponível em:  
<[https://www.icao.int/publications/Documents/8984\\_cons\\_en.pdf](https://www.icao.int/publications/Documents/8984_cons_en.pdf)> Acesso em: 07 abril 2018.

ICRP. **Radiological Protection from Cosmic Radiation in Aviation**. In: ICRP Publication 132. V. 45, n. 1., p. 1-49. 2016.

ICRP, 2000. Pregnancy and Medical Radiation. ICRP Publication 84. Ann. ICRP 30 (1).

IEAv. **Projeto Erisa: Efeitos das Radiações Ionizantes em Sistemas Aeronáuticos**. Disponível em: <<http://erisa.ieav.cta.br>> Acesso em: 07 abril 2018.

IFALPA. Cosmic Radiation. **Medical Briefing Leaflet**. Janeiro 2018. Disponível em:  
<<http://ifalpa.org/publications/briefing-leaflets/29-about-us/ifalpa-committees/human-performance-huper.html>> Acesso em: 08 abril 2018.

AIMS. Add on Systems: Brief Description. S.d. Disponível em:  
<[http://aims.aero/dl/aims\\_add\\_on\\_modules\\_brief\\_description.pdf](http://aims.aero/dl/aims_add_on_modules_brief_description.pdf)> Acesso em: 01 maio 2018.

MAXOM, T. **Apa presidente advises against new body scanners**. 2010. Disponível em:  
<<http://aviationblog.dallasnews.com/archives/2010/11/apa-president-advises-against.html>> Acesso em: 10 abril 2018.

NOUAILHETAS, Y. **Apostila educativa: Radiações Ionizantes e a vida**. CNEN, s. d. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/radiacoes-ionizantes.pdf>> Acesso em: 22 março 2018.

PHD. **Pesquisa quantitativa e pesquisa qualitativa: Entenda a diferença**. Fevereiro 2015. Disponível em: < <https://www.institutophd.com.br/pesquisa-quantitativa-e-pesquisa-qualitativa-entenda-a-diferenca/>> Acesso em: 22 março 2018.

RUAS, A. C. **O Tripulante de Aeronaves e a Radiação Ionizante**. São Paulo: Bianch, 2017.

UNSCEAR. **Sources and Effects of Ionizing Radiation**. V. 1. New York, 2010. Disponível em: <[http://www.unscear.org/docs/reports/2008/09-86753\\_Report\\_2008\\_Annex\\_B.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/2008/09-86753_Report_2008_Annex_B.pdf)> Acesso em: 30 março 2018.

WHO. Cosmic Radiation and Air Travel. **Information Sheet**. November 2005. Disponível em:  
<[http://sol.spacenvironment.net/nairas/docs/WHO\\_Info\\_Sheet\\_Cosmic\\_Radiation.pdf](http://sol.spacenvironment.net/nairas/docs/WHO_Info_Sheet_Cosmic_Radiation.pdf)> Acesso em: 02 abril 2018.

WHO. **International travel and health: Cosmic radiation**. s. d. Disponível em:  
<[http://www.who.int/ith/mode\\_of\\_travel/cosmic\\_radiation/en/](http://www.who.int/ith/mode_of_travel/cosmic_radiation/en/)> Acesso em: 23 março 2018.

## ANEXO A



**FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION  
OFFICE OF AEROSPACE MEDICINE  
CIVIL AEROSPACE MEDICAL INSTITUTE**



## Galactic Radiation Received In Flight

Flight Summary		
Date of Flight	03/2018	
Origin Code	EDDF	FRANKFURT, GERMANY
Destination Code	SBGR	SAO PAULO, BRAZIL
Number of en route altitudes	5	
Minutes to 1st en route altitude	18	
En route altitude(s) and time(s)	Altitude (in feet)	Minutes at altitude
	31000	63
	32000	142
	33000	133
	34000	139
	36000	230
Minutes descending to touchdown	24	
Effective Dose	31.72 microsieverts (0.03172 millisieverts)	

Calculate Another Flight Dose

## ANEXO B

Deutsch (deu\_start.php) English ()

## EPCARD Flugdosimetrie

HelmholtzZentrum münchen

Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt

[\(http://www.helmholtz-muenchen.de/\)](http://www.helmholtz-muenchen.de/)

Home (eng\_start.php)

From the data of the flight

Flight number: JJ8070

from SAO PAULO, BRAZIL -SBGR

to FRANKFURT, GERMANY -FRA

at the 11.04.2018

total flight time: 11:03 hh:mm

an effective dose due to natural cosmic radiation of **26 $\mu$ Sv** was calculated (the dose is rounded off to an integer value)

time	altitude
00:18	ascent
00:20	29000 feet
03:04	31000 feet
02:28	33000 feet
01:28	35000 feet
02:45	36000 feet
00:40	descent

[\(eng\\_flugoutput\\_hilfe.php\)](#)[Back](#)[New request](#)

© 2015 Helmholtz Zentrum München Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH)

[Home \(/\)](#)[Webmail \(http://webmail.helmholtz-muenchen.de/\)](http://webmail.helmholtz-muenchen.de/)[Intranet \(http://nip.helmholtz-muenchen.de/\)](http://nip.helmholtz-muenchen.de/)[\(http://www.helmholtz-muenchen.de/\)](http://www.helmholtz-muenchen.de/)