



UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

LUIZ MONTEIRO TEIXEIRA JUNIOR

RISCOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE EM AERONAUTAS

Palhoça

2019

LUIZ MONTEIRO TEIXEIRA JUNIOR

RISCOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE EM AERONAUTAS

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

2019

LUIZ MONTEIRO TEIXEIRA JUNIOR

RISCOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE EM AERONAUTAS

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, 25 de novembro de 2019

Orientador: Prof. Joel Irineu Lohn, MSc.

Prof. Cleo Marcus Garcia, MSc.

Dedico este trabalho à minha família, pelos
momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos amigos e familiares que acreditaram, torceram e me incentivaram em todos os momentos para que eu conquistasse mais este objetivo.

Meus agradecimentos ao Professor Orientador Joel Irineu Lohn pelo estímulo e desafios propostos.

RESUMO

Este trabalho, tem por objetivo analisar os riscos da radiação ionizante para a tripulação e usuários frequentes de aeronaves. O autor examina a relação entre a radiação ionizante presente em voos de altitudes elevadas e a exposição a esse tipo radiação em aeronautas e os usuários frequentes do transporte aéreo. Esta pesquisa é exploratória, com procedimento bibliográfico e documental. Relaciona a exposição à radiação, aos efeitos devastadores à saúde dos aeronautas e público usuário. Aponta a existência de ferramentas que estimam a dose efetiva que um ocupante de aeronave recebe durante um voo. Este estudo traz uma equivalência entre a dose recebida em um voo e um Raio X comum. Alerta gestantes, sobre os riscos do feto desenvolver anomalias estruturais permanentes ou fatais, ao realizar voos de longo distância. Refere que este tema é de conhecimento da indústria aeronáutica e até a presente data, há poucas ações no sentido de mitigar esses riscos. Determina algumas ações para a prevenção dos riscos envolvidos na saúde dos profissionais aeronautas e usuários em geral do transporte aéreo. Informa a comunidade aeronáutica sobre a importância do reconhecimento da profissão como ocupacionalmente exposta. O trabalho não esgota todas as possibilidades de pesquisa. Trata-se de um tema importante e essencial para novas investigações e estudos.

Palavras chave: Radiação Ionizante. Riscos. Saúde. Aeronauta.

ABSTRACT

This work aims to analyze the risks of ionizing radiation to the crew and frequent users of aircraft. The author examines the relationship between ionizing radiation present in high altitude flights and exposure to this type of radiation in aeronauts and the frequent users of air transport. This research is exploratory, with bibliographic and documentary procedure. It relates radiation exposure to the devastating health effects of aeronauts and public users. It points out the existence of tools that estimate the effective dose that an aircraft occupant receives during a flight. This study brings an equivalence between the dose received in a flight and a common X-ray. It alerts pregnant women about the risks of the fetus developing permanent or fatal structural anomalies when performing long-distance flights. It states that this topic is known to the aeronautical industry and to date, there are few actions to mitigate these risks. It determines some actions for the prevention of risks involved in the health of aeronaut professionals and users in general of air transport. Informs the aeronautical community about the importance of recognizing the profession as occupationally exposed. The work does not exhaust all research possibilities. It is an important and essential theme for new investigations and studies.

Keywords: Ionizing Radiation. Risks. Health. Aeronaut.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Radiação X Penetração	12
Figura 2 – Dose acumulada ao longo do tempo	19
Figura 3 - Risco de deformação genética	21
Figura 4 - Aumento de risco de defeito genético	22

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Limites de radiação	18
--------------------------------------	----

LISTA DE SIGLAS

ANAC	Agencia nacional de Aviação Civil
CENIPA	Centro de investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos
FAA	Federal Aviation Administration
FAR	Federal Air Regulations
GRU	Aeroporto internacional Franco Mоторo, Guarulhos SP
IATA	International Air Transport Association
ICRP	International Commission on Radiological Protection
IFALPA	International Federation of Air Line Pilots Associations
IOE	Indivíduo Ocupacionalmente exposto - indivíduo que, em consequência do seu trabalho, possa vir a receber doses superiores aos limites para indivíduos do público.
ÍON	Átomo ou molécula que se torna eletricamente carregado pelo ganho ou perda de elétrons
ITA	Instituto Tecnológico da Aeronáutica
JFK	Aeroporto internacional John F. Kenned, Nova Iorque
mSv	Millisievert (1SV = 1.000 mSv)
RBAC	Regulamentos Brasileiros de aviação
Sv	Sievert - unidade de medição da dose equivalente
TSA	Transportation Security Administration
uSv	microsievert (1 mSv = 1.000 uSv)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA DA PESQUISA	13
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.2.1 Objetivo Geral	13
1.2.2 Objetivos Específicos	13
1.3 JUSTIFICATIVA	13
1.4 METODOLOGIA	14
1.4.1 Natureza da pesquisa e tipo da pesquisa	14
1.4.2 Materiais e métodos	14
1.4.3 Procedimentos de coleta de dados	15
1.4.4 Procedimentos de análise de dados	15
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 RADIAÇÃO IONIZANTE, A RELEVÂNCIA DA PREOCUPAÇÃO	16
2.2 UNIDADES DE MEDIDAS DA RADIAÇÃO IONIZANTE	16
2.3 LIMITES RECOMENDADOS DE RADIAÇÃO	17
2.4 OS RISCO DAS DEFORMAÇÕES GENÉTICAS PASSAREM AOS DESCENDENTES.....	20
2.5 RISCOS DE UMA GESTANTE EM VOO	23
2.6 ANÁLISE DOS RISCOS	24
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem o objetivo de analisar os riscos da radiação ionizante, que afetam tanto o organismo da tripulação e usuários frequentes do transporte aéreo, ficando estes expostos a estas, quando voam em altitudes mais elevadas.

Esse tipo de radiação e seus efeitos, já são conhecidos e estudados desde a transição das aeronaves propulsadas a hélice, para as propulsadas a jato. Em meados dos anos 50, a primeira aeronave de passageiros a jato foi o Havilland Comet e isso levou as aeronaves comerciais a voarem em maiores altitudes, expondo seus ocupantes a radiação ionizante. Por motivos comerciais e financeiros, esse assunto tem ficado de lado desde então.

A exposição a radiação ionizante faz parte da vida dos aeronautas, é acumulativa ao passar dos anos, e causam efeitos biológicos que começam a desequilibrar o organismo.

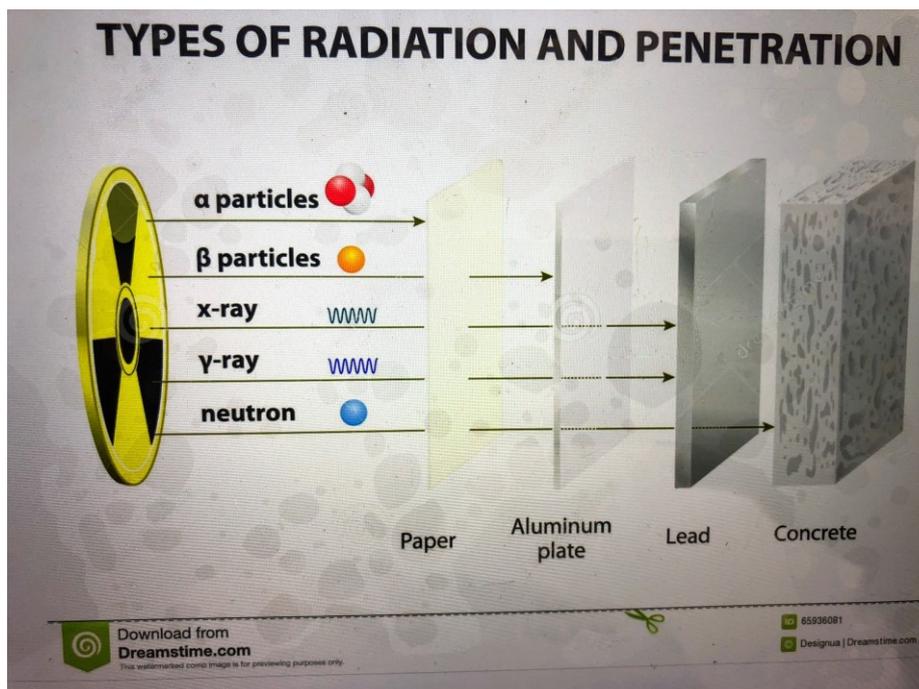
Ela ocorre em “doses homeopáticas”, com isso os efeitos são retardados. Desta maneira, quando aparecem os primeiros sintomas, o grau de dano causado já é severo, irreparável ou até letal ! A relação entre o número de aeronautas que desenvolvem doenças oncológicas em decorrência da exposição a radiação ionizante é altíssimo.

Tecnicamente, é impossível bloquear a radiação ionizante nas aeronaves, devido o peso da blindagem sobre a fuselagem. Para uma redução de apenas vinte por cento de radiação em uma aeronave que voa a 39.000 pés, a blindagem acrescentada na fuselagem pesa cerca de 300Kg/m², este sobrepeso já é suficiente para inviabilizar o voo.

As radiações ionizantes podem ser de dois tipos:

- Radiações eletromagnéticas: Raios X, Raios Gama, etc.
- Radiações corpusculares: Íons pesados, Prótons, Nêutrons, Raios Beta, Alfa, etc.

Figura 1 - Radiação X Penetração



Fonte: <https://pt.dreamstime.com/ilustracao-stock-poder-penetrante-de-varios-tipos-de-radiacao-image65936081>

Para Ruas (2017) usuários frequentes e principalmente aeronautas, podem passar facilmente do limite recomendado de exposição à radiação, é de extrema importância que os mesmos conheçam os riscos que a radiação ionizante traz a médio e longo prazos. Outro tópico relevante no decorrer deste trabalho, é o risco que gestantes correm ao voarem, pois o mínimo de exposição pode ser fatal para o embrião. Risco zero, somente com exposição zero.

Serão apresentados ao longo do trabalho, métodos e ferramentas que poderão ser utilizados para elevar o alerta situacional deste problema; pois existem maneiras de mensurar essa exposição, como por exemplo programas de controle de voo de forma automática, que geram uma estimativa da exposição de determinado indivíduo. Vale lembrar que esse tipo de ferramenta já existe em outras áreas de pessoas ocupacionalmente expostas, como os operadores de Raio X.

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

Quais os riscos radiação ionizante para a tripulação e usuários frequentes de aeronaves ?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar os riscos da radiação ionizante para a tripulação e usuários frequentes de aeronaves.

1.2.2 Objetivos Específicos

Investigar os níveis de radiação ionizante em aeronaves durante o voo.

Investigar possíveis casos de danos provocados em tripulantes e usuários de aeronaves pela exposição à radiação ionizante.

Pesquisar na literatura existente em publicações científicas e acadêmicas, dados e informações significativas sobre o tema de pesquisa.

Informar e conscientizar aeronautas e passageiros frequentes dos riscos reais a que estão expostos.

1.3 JUSTIFICATIVA

A indústria aeronáutica movimenta bilhões de dólares anualmente, por isso este tema vem ficando de lado desde os anos 60, quando as aeronaves de passageiros começaram a voar em altas altitudes, ficando expostas às radiações ionizantes.

Existem maneiras de medir esse tipo de radiação, dentre elas temos por exemplo, o programa de computador CARI-6, o contador Geiger, contador Geiger-Müller ou contador G-M, que servem para medir certas Radiações Ionizantes, como partículas alfa, beta, gama e Raios X, prótons, íons pesados e nêutrons. Porém até novembro de 2019, no Brasil, não existem nenhum destes aparelhos ou similares instalados em aeronaves.

Mesmo sendo a radiação ionizante, partículas com elevado nível de energia e penetração, as aeronaves não possuem proteção (blindagem) para quem está a bordo, atingindo seus respectivos ocupantes.

1.4 METODOLOGIA

1.4.1 Natureza da pesquisa e tipo da pesquisa

A presente pesquisa caracteriza-se como **exploratória**, com procedimento bibliográfico e documental e com abordagem tanto qualitativa, quanto quantitativa.

A pesquisa exploratória, conforme Lakatos e Marconi (2003, p.188), tem uma tríplice finalidade, que é “desenvolver hipóteses, aumentar a familiaridade do pesquisador com um ambiente, fato ou fenômeno, para a realização de uma pesquisa futura mais precisa ou modificar e classificar conceitos.”.

A abordagem da pesquisa foi **qualitativa**, por se basear na realidade para fins de compreender uma situação única (RAUEN, 2002) e **quantitativa**, por buscar conhecimento por meio de raciocínio de causa e efeito, redução de variáveis específicas, hipóteses e questões, mensuração de variáveis, observação e teste de teorias. (CRESSWELL, 2007).

1.4.2 Materiais e métodos

Os materiais bibliográficos utilizados foram livros e artigos relativos a radiação ionizante, medicina aeroespacial e segurança de voo , assim como documentos diversos sobre as legislações que regem a aviação civil brasileira e internacional,

oferecendo requisitos e padrões de procedimentos em relação ao tema proposto. São eles: Código Brasileiro de Aeronáutica; FAA; IFALPA; IATA e ANAC.

1.4.3 Procedimentos de coleta de dados

O procedimento para coleta de dados caracteriza-se como **bibliográfico**, definido por Rauén (2002, p. 65) como a “busca de informações bibliográficas relevantes para a tomada de decisão em todas as fases da pesquisa.”. Desse modo, a pesquisa em questão visa uma profunda investigação teórica sobre cada uma das supracitadas abordagens, primordiais para a análise proposta inicialmente.

1.4.4 Procedimentos de análise de dados

O procedimento **documental**, conforme Gil (2002), tem o objetivo de descrever e comparar dados, características da realidade presente e do passado.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho foi estruturado da seguinte forma: o primeiro conteúdo trata-se da introdução ao tema proposto, a problematização e o problema do estudo, os objetivos, a justificativa bem como a metodologia.

Em seguida, no segundo conteúdo encontram-se as fundamentações teóricas, a definição de radiação ionizante, unidades de medidas, consequências, e quais as influências que ela pode ter, bem como o que pode influenciá-la com o tempo de exposição. 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, com isso tem-se uma base de comparação de onde estamos em relação as agências e organismos internacionais, ao se tratar do tema “radiação ionizante”.

Na sequência, no terceiro conteúdo, estão as considerações finais e por último, as referências bibliográficas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RADIAÇÃO IONIZANTE, A RELEVÂNCIA DA PREOCUPAÇÃO

A radiação, é definida como o transporte de energia de um ponto para o outro, ou simplesmente, energia em trânsito.

Deve-se saber diferenciar a radiação ionizante da radiação não ionizante.

A radiação ionizante é um tipo de radiação que possui quantidade de energia suficiente para energizar átomos e moléculas, ou seja, capaz de “arrancar” elétron de um átomo ou de uma molécula. As radiações ionizantes ainda podem ser de dois tipos:

-Radiações eletromagnéticas: Raios X, Raios Gama, etc.

-Radiações corpusculares: Íons pesados, Prótons, Nêutrons, Raios Beta, Alfa, etc.

A radiação não ionizante diferencia-se por não possuir energia suficiente para ionizar as moléculas e os átomos com os quais se integram, desta forma são mais populares como a luz visível, luz infravermelha, radiação ultravioleta, ondas de rádio, micro-ondas, ou até a própria corrente elétrica entre outras.

2.2 UNIDADES DE MEDIDAS DA RADIAÇÃO IONIZANTE

A unidade Sv (Sievert) é usada para avaliar o impacto da radiação sobre os seres humanos. Leva-se em conta os efeitos biológicos em tecidos vivos, produzidos pela radiação absorvida. Dose efetiva, é simplesmente a medida do risco de câncer. A dose efetiva é mais elevada em indivíduos jovens.

1 Sv = 1.000 mSv (milisievert)

1 mSv = 1.000 uSv (microsievert)

O sievert é de fundamental importância na dosimetria e proteção radiológica, e o nome da unidade é uma homenagem a Rolf Maximilian Sievert, um físico e médico sueco conhecido pela obra na medição e pesquisas sobre os efeitos biológicos da radiação. Um sievert carrega com ele uma chance de 5,5% de eventualmente desenvolver câncer.^[2] Doses superiores a 1 sievert adquiridas ao longo de um curto período de tempo são suscetíveis de causar envenenamento por radiação, possivelmente levando à morte em poucas semanas. (Wikipedia a página foi editada pela última vez em 29 de maio de 2017.) (<https://pt.wikipedia.org/wiki/Sievert>)

Existem outras unidades de medida para a radiação, neste trabalho serão utilizados o Sv (Sievert) e suas frações mSv (milisievert) e uSv (microsievert).

2.3 LIMITES RECOMENDADOS DE RADIAÇÃO

Não existe uma dose segura de exposição à radiação, sendo que qualquer tipo de exposição à radiação ionizante, pode envolver um certo risco a saúde e seu efeito pode surgir a curto, médio ou longo prazo.

No entanto existe uma comissão que elabora as recomendações de proteção radiológica que são seguidas pela maioria dos países, é a ICRP (International Commission on Radiological Protection).

O sistema de proteção radiológica da ICRP é baseado nos mais recentes valores científicos, sociais e éticos e em quase um século de experiência.

As recomendações do ICRP são usadas em todo o mundo por agências de aconselhamento intergovernamentais e não-governamentais e agências de definição de padrões; saúde governamental e outras autoridades reguladoras; institutos educacionais, científicos e de saúde; operadores, profissionais individuais; e outros interessados na proteção radiológica.

Padrões internacionais de segurança básicos da Agência Internacional de Energia Atômica para proteção contra radiação ionizante e para a segurança das fontes de radiação baseia-se fortemente nas recomendações da ICRP, assim como as normas europeias básicas de seguranças semelhantes. (ICRP, 2016)

Segundo a International Commission on Radiological Protection, em sua publicação número 132 (ICRP, 2016), embasa e recomenda o reconhecimento da exposição ocupacional do aeronauta, bem como do usuário frequente. Neste documento existem recomendações de limites exposição, por exemplo o limite anual de 20 mSv, em um período de cinco anos não ultrapassar 100 mSv de modo que a dose anual não ultrapasse 50 mSv. A recomendação para tripulantes grávidas é de 1 mSv durante toda a gravidez.

A Tabela 1, mostra os limites e referências de dose de radiação para o público em geral . A ICRP com o objetivo de limitar o risco de efeitos estocásticos, introduziu o conceito de limitação da exposição ponderada média no corpo inteiro, que se baseia no princípio de que para certo nível de proteção, o risco é o mesmo para o todo o corpo, já que é irradiada uniformemente.

Tabela 1- Limites de radiação

PARÂMETRO	/ALOR (mSv)	OBSERVAÇÕES
Limite anual para público em situação operacional normal	1	Dose acima da radiação natural. Não inclui aplicações médicas. Ref.: Norma CNEN-NN-3.01.
Aplicações médicas (excluindo radioterapia)	0,03 a 2,0	Média anual Ref.:UNSCEAR 2008
Radiação natural	2,4	Média anual. Ref.:UNSCEAR 2008. Algumas regiões apresentam níveis até 5 vezes maiores, por exemplo, a cidade de Guarapari, ES.
Limite anual para indivíduo ocupacionalmente exposto (trabalhador)	20	Média em 5 anos. Não pode exceder 50 mSv em um único ano. Ref.: Norma CNEN-NN-3.01.
Nível de ação para evacuação de população em situações de emergência	50	Dose a ser evitada. Monitoração no local: taxa: 1 mSv/h. Ref.: Norma CNEN-NN-3.01 PR-006.
Limite de dose em situações de emergência para executar ações para prevenir o desenvolvimento de situações catastróficas	100	Com exceção das ações para salvar vidas. Ref.: Norma CNEN-NN-3.01.
Referência para aparecimento de efeitos observáveis	1.000	Os efeitos observados podem ser astenia, náuseas, vômitos.
Dose de corpo inteiro mais alta recebida por uma das vítimas do acidente radiológico em Goiânia, 1987	8.000	A vítima faleceu tempos depois.

Fonte:<https://raiosxis.com/a-radioprotecao-e-a-legislacao>

Em meados dos anos 90, a FAA (Federal Aviation Administration), reconheceu que os aeronautas são ocupacionalmente expostos à radiação ionizante. Conforme publicação abaixo, através do aplicativo CARI_6 , foi possível estimar a dose equivalente recebida pelo aeronauta, bem como compará-la com doses recebidas por profissionais de outras áreas consideradas como ocupacionalmente expostas, por exemplo um operador de aparelho Raio X.

O programa de computador CARI-6, desenvolvido no Instituto Médico Aeroespacial Civil da FAA, calcula a dose efetiva de radiação cósmica galáctica recebida por um indivíduo (com base em um fantasma antropomórfico) em uma aeronave que faz a rota mais curta (geodésica) entre dois aeroportos no mundo. O programa leva em consideração as alterações de altitude e localização geográfica durante o curso de um voo, conforme derivadas do perfil de voo inserido pelo usuário. Desvios da rota mais curta de até 200 milhas têm muito pouco efeito na dose de voo. Com base na data (mês e ano) do voo, bancos de dados apropriados são usados para explicar os efeitos das mudanças no campo magnético da Terra e na atividade solar (potenciais heliocêntricos) nos níveis de radiação galáctica na atmosfera. O programa também calcula a taxa de dose efetiva da radiação galáctica, em qualquer local da atmosfera em altitudes de até 60.000 pés. O programa requer MS-DOS e pode ser executado na maioria dos computadores pessoais. De interesse dos epidemiologistas, o CARI-6 calcula doses e taxas de doses efetivas desde janeiro de 1958.

LUIN99 e LUIN2000 contêm o código de transporte usado para gerar os bancos de dados referenciados pelo CARI-6. Esses dois LUINs são computacionalmente idênticos (mesmas doses de radiação, fluxos de partículas, etc.). O LUIN2000 é mais amigável como um programa independente. Nenhum código calcula doses de voo, apenas taxas de dose em locais individuais. O código de transporte foi extensivamente testado em relação às medições. (FAA, 2017)

Infelizmente, no Brasil o aeronauta até a presente data, Novembro de 2019, ainda não é reconhecido como ocupacionalmente exposto à radiação ionizante. Por esse motivo não existe a obrigatoriedade do monitoramento da exposição do tripulante pelas empresas operadoras de aeronaves, tão pouco o direito à aposentadoria antecipada/especial. Independentemente de termos dados estatísticos oficiais ou não e poucas informações disponíveis, podemos estimar com razoável precisão o nível de exposição dos tripulantes brasileiros à radiação ionizante de origem cósmica.

Para efetuar essa estimativa simples e rápida, Ruas (2017) adotou como referência os valores divulgados pela IFALPA e IATA em 2019, 2 a 5 mSv/ano, para 600 horas de voo anuais aeronaves à reação:

- 2 mSv/ano: voo de baixa altitude e latitude e de curta duração
- 5 mSv/ano: voo em alta altitude e latitude e de longa duração

Para se ter uma dimensão da magnitude desses valores de radiação ionizante, vamos compará-los com Raio X dental e de tórax, estes valores serão projetados ao longo da carreira de um tripulante de aeronaves . Tempo de serviço em voo de um tripulante dos 20 anos aos 65 anos de idade : 45 anos de carreira. (RUAS, 2017,p.83, 89)

Figura 2 - Dose acumulada ao longo do tempo

Tempo de voo	10 anos	20 anos	30 anos	45 anos
2 mSv/ano	20 mSv	40 mSv	60 mSv	90 mSv
Equivalencia em Raios-X dental	2.000	4.000	6.000	9.000
Equivalencia em Raios-X de tórax	200	400	600	900
5 mSv/ano	50 mSv	100 mSv	150 mSv	225 mSv
Equivalencia em Raios-X dental	5.000	10.000	15.000	22.500
Equivalencia em Raios-X de tórax	500	1.000	1.500	2.250

Fonte: Ruas, 2017, p.119

2.4 OS RISCO DAS DEFORMAÇÕES GENÉTICAS PASSAREM AOS DESCENDENTES

A somatória da exposição dos pais à radiação pode causar alterações nas células do espermatozoide e do óvulo, que são transmitidas aos filhos.

Conforme um artigo publicado na Folha de São Paulo em 04 de maio de 2000, por ISABEL GERHARDT; cientistas, entre eles, a cientista Yuri Dubrova, da Universidade de Leicester, detectaram em ratos, que os filhos que não foram expostos à radiação, podem passar para a próxima geração danos genéticos causados pela radiação que seus pais receberam. É como se os netos recebessem a herança dos avós e não dos pais.

No experimento, ratos machos foram submetidos a doses muito altas de radiação ionizante e cruzados com fêmeas que não haviam sido expostas. A prole apresentou uma taxa de mutação nas sequências de DNA analisadas seis vezes maior do que a prole de pais que não foram submetidos à radiação.

No entanto, quando os pesquisadores cruzaram os ratos-filhos, que não haviam sido expostos à radiação, observaram que os filhos desses ratos também apresentavam os mesmos danos no DNA, como se fossem filhos daqueles primeiros ratos irradiados.

Segundo Dubrova, em seres humanos expostos à radiação, a preocupação hoje está ligada aos efeitos diretos que ela pode causar no indivíduo.

Se o que eles observaram em ratos se repetir no homem, aumenta o risco de danos genéticos que podem ser transmitidos mesmo por indivíduos que não tenham sido diretamente contaminados.

A radiação ionizante interage com o material biológico, danifica o DNA e gera radicais livres, podendo aumentar o risco de desenvolver câncer. Este DNA com defeito pode ser transmitido aos descendentes, aumentando o risco de deformações genéticas e de desenvolvimento de um câncer ao longo da existência dos descendentes. Este risco para os descendentes é a somatória da exposição dos pais, a seguir apresentaremos uma tabela para melhor avaliação deste risco. (RUAS , 2017, p. 139)

Figura 3: Risco de deformação genética

Aumento do risco de deformação genética severa na primeira geração de descendentes, pela exposição dos pais à radiação ionizante antes da concepção do descendente		
Considerando: Pai – exposto a 50 mSv (10 anos em voos de alta exposição) Mãe – exposta a 20 mSv (10 anos em voos de baixa exposição) Dose efetiva recebida pelo casal: 70 mSv		
Dose	Risco	Acréscimo no risco %
70 mSv	1 em cada 3.600	0,03

Fonte : Ruas , 2017, p. 139

No exemplo da tabela acima, o pai voa 10 anos em jornadas de alta exposição, voos de altas altitudes e latitudes (voos interacionais. Longo curso). Considerando os valores médios da IFALPA (Medial briefing leaflet - 13MEDBL01-COSMIC RADIATION) de 5 mSv/ano, teremos 50 mSv. A mãe também voa a 10 anos, porém em voos de baixa exposição (voos domésticos, ponte aérea, etc) consideramos a dose de 2 mSv/ano, totalizando 20 mSv. Os valores da tabela leva em consideração a radiação ionizante Recebida por ambos portanto 70mSv. Podemos então concluir que uma exposição dos pais a uma dose efetiva de radiação ionizante de 70 mSv, antes da concepção do descendente, apresente um risco de 1 em cada 3600 de deformação genética grave na primeira geração, um acréscimo de 0,03% no risco. (RUAS , 2017, p. 139)

A exposição à radiação ionizante dos ascendentes diretos ou não, é acumulativa e provoca mutações genéticas que serão passadas de geração para geração. Comprometem mecanismos de reparo celular modificando seu DNA. As consequências desta exposição, serão diferentes para cada indivíduo, mesmo que eles recebam doses idênticas. Esse dano no DNA é conhecido como transformação neoplástica, que nada mais é do que a capacidade da célula continuar se reproduzindo danificada, resultando na progressão de várias doenças oncológicas.

Figura 4: Aumento de risco de defeito genético

Tabela do aumento do risco de defeito genético severo na primeira geração de descendentes por exposição dos pais à radiação ionizante antes da concepção do descendente.

<i>mSv</i> *	Risco	<i>mSv</i> *	Risco
10	1 em 25.000 (0,004%)	160*	1 em 1.600 (0,06%)
20	1 em 13.000 (0,008%)	170	1 em 1.500 (0,07%)
30	1 em 8.300 (0,01%)	180	1 em 1.400 (0,07%)
40	1 em 6.300 (0,02%)	190	1 em 1.300 (0,08%)
50	1 em 5.000 (0,02%)	200	1 em 1.300 (0,08%)
60	1 em 4.200 (0,02%)	210	1 em 1.200 (0,08%)
70	1 em 3.600 (0,03%)	220	1 em 1.100 (0,09%)
80	1 em 3.100 (0,03%)	230	1 em 1.100 (0,09%)
90	1 em 2.800 (0,04%)	240	1 em 1.000 (0,1%)
100	1 em 2.500 (0,04%)	250	1 em 1.000 (0,1%)
110	1 em 2.300 (0,04%)	260	1 em 960 (0,1%)
120	1 em 2.100 (0,05%)	270	1 em 930 (0,1%)
130	1 em 1.900 (0,05%)	280	1 em 890 (0,1%)
140	1 em 1.800 (0,06%)	290	1 em 860 (0,1%)
150	1 em 1.700 (0,06%)	300	1 em 830 (0,1%)

*O risco de 1 em 1.600 significa a probabilidade de uma criança em 1.600 nascimentos, ser portadora de defeito genético severo por exposição dos pais a uma dose combinada de 160 miliSievert (mSv), antes da concepção da criança.

Fonte: Ruas, 2017, p. 140

2.5 RISCOS DE UMA GESTANTE EM VOO

Segundo dados da IFALPA (2018), com o auxílio software de computador CARI-6 , um voo de GRU-JFK-GRU tem uma exposição de 0,1 mSv, ou seja, este voo seria equivalente a um Raio X de tórax ou três Raios X dentais. Raios X não são aconselhados durante o período gestacional e logicamente a gestante deve ter ciência dos riscos envolvidos em voos em grandes altitudes, devido a essa equivalência de exposição.

Não existe ainda nada conclusivo a este respeito. Mas é inegável que toda e qualquer exposição de um material biológico à radiação ionizante poderá implicar em algum dano a este material. Por esse motivo organismos internacionais estabelecem um limite máximo de exposição de 1mSv para todo o período gestacional. (IFALPA, 2018)

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.

É fundamental que toda grávida seja informada dos riscos e que ela própria tome a decisão . Vale a pena correr o risco de expor seu embrião/feto aos riscos decorrentes da exposição a radiação ionizante, mesmo que estes riscos possam ser considerados pequenos?

Podemos concluir que sobre o prisma da exposição a radiação ionizante, presente nas altitudes de voo das atuais aeronaves e pela imprevisibilidade de ocorrência de alguns fatores como solar storms, voar oferece um risco de dano ao embrião/feto, principalmente no caso das tripulantes e passageiras frequentes. (RUAS, 2017 p. 138)

Conforme mencionado anteriormente, até a presente data, não existe na ANAC nenhum documento que reconheça ou não, o aeronauta como ocupacionalmente exposto, porém em algumas profissões este risco é reconhecido, como por exemplo operadores de Raio X. O Sindicato dos Tecnólogos e Aux. em Radiologia do Estado de São Paulo (SINTTERESP) e os demais sindicatos da categoria Sindicato Patronal dos Hospitais e Clínicas Particulares do Estado de São Paulo (SINDHOSP), Sindicato Patronal das Santas Casas de Misericórdia e Hospitais Filantrópicos do Vale do Paraíba, Litoral Norte e Alta Mantiqueira (SINDHOSFIL- Vale do Paraíba), Sindicato dos Hospitais, Clínicas, Casas de Saúde, Laboratórios de Pesquisas e Análises Clínicas de Osasco e Região (SINDHCLOR) e

o Sindicato Patronal das Santas Casas de Misericórdia e Hospitais Filantrópicos do Estado de São Paulo (SINDHOSFIL - São Paulo); , reconhecem os perigos do feto exposto à radiação, em suas respectivas Convenções Coletivas de Trabalho, conforme cláusula abaixo da Convenção Coletiva de Trabalho do SINDHOSP, publicada na data de 17 de setembro de 2019:

CLÁUSULA 18 – AFASTAMENTO DA FONTE DE RADIAÇÕES IONIZANTES

As empresas afastarão da fonte de radiações ionizantes a empregada que confirmar o estado de gestação através de exames médicos, readaptando-a para outras funções, sem prejuízos dos vencimentos, protegendo assim o feto dos perigos inerentes das radiações ionizantes. (SINTTTERSP, 2019, Convenções Coletivas. SINDHOSP, p. 08)

O grau de risco apresentado pela radiação ionizante por menor que seja, pode causar danos irreparáveis ou fatais, por esse motivo é fundamental que toda gestante tenha ciência destes riscos, seja ao ficarem expostas a radiação em voos de grande altitude ou através da realização de exames.

2.6 ANÁLISE DOS RISCOS

Até a década de 60 as aeronaves não passavam de 20.000 pés e hoje existem aeronaves voando a 51.000 pés, aumentando exponencialmente a exposição de seus ocupantes à radiação. No decorrer dos anos as aeronaves comerciais passaram a voar cada vez mais em altitudes elevadas, por reduzir o tempo do voo e o custo operacional.

É primordial, que a comunidade aeronáutica tenha ciência de que uma das formas de se ter algum controle desta exposição, é através do reconhecimento da profissão como ocupacionalmente exposta, uma vez que é impraticável o bloqueio da radiação em aeronaves através da blindagem devido o peso, conforme texto abaixo.

A blindagem de uma aeronave é impraticável. Para obtermos uma redução de apenas 20% na dose rate a 39.000 pés (11.887m), a fuselagem da aeronave teria o peso aumentado em 300kg/m². Evidentemente este

acrécimo de peso é tecnicamente inviável, além da redução da radiação obtida ser muito pequena.(RUAS , 2017, p. 145)

Os efeitos da exposição a radiação ionizante podem ser minimizados sobre os tripulantes através do controle desta exposição; como por exemplo: voos em altitudes menores, diminuição das horas voadas durante a carreira, ou ainda uma aposentadoria antecipada/especial.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise sobre os riscos e efeitos nocivos da radiação ionizante causados em aeronautas e usuários frequentes do transporte aéreo.

A partir de dados divulgados através de artigos, pesquisas, livros e documentos, temos a indicação e comprovação da existência dos efeitos colaterais da radiação aos usuários do transporte aéreo. Por exemplo, o programa de computador CARI-6 desenvolvido pelo instituto médico aeroespacial Civil da FAA, é capaz de calcular a dose efetiva de radiação recebida por um ocupante de uma aeronave que voa em grande altitude, tanto em rotas mais curtas quanto mais longas. Este programa calcula a dose de radiação em qualquer lugar da atmosfera da terra em uma altitude de até 60.000 pés.

Segundo dados da IFALPA (publicado em 05/12/2018) um voo ida e volta para Nova Iorque seria equivalente a um Raio X de tórax ou três Raios X dentais, temos a partir destes dados algumas ações preventivas, como por exemplo o alerta do risco aos passageiros, tripulante e principalmente gestantes, envolvidos em voos em grandes altitudes. Esse estudo levanta e enfatiza os danos genéticos causados pela radiação a médio e longo prazo, como por exemplo desenvolvimento de doenças oncológicas. Além disso seus efeitos também alcançam gerações subsequentes, uma vez que danifica o DNA, causando deformações genéticas que serão transmitidas aos descendentes. Um embrião/feto que é submetido a radiação ionizante, terá o risco aumentado de desenvolver anomalias estruturais permanentes ou até fatais. Este estudo deixa um paradoxo, se não é aconselhável a uma gestante se submeter a exames de Raio X durante o período gestacional, seria também desaconselhável a realização de voos em grandes altitudes, uma vez que a dose de radiação recebida é a mesma, e seus efeitos são também equivalentes.

Esses dados estão publicados e são acessíveis a toda população, inclusive estão ao alcance de epidemiologistas que podem criar, executar ações e programas preventivos à exposição excessiva de radiação ionizante, tanto para aeronautas como para a população usuária do transporte aéreo.

Esse estudo do ponto de vista social, beneficia a saúde pública de modo geral, uma vez que informa sobre os riscos envolvidos em voos em grande altitude.

Diante desses resultados, podemos determinar algumas ações para a prevenção dos riscos envolvidos da saúde dos profissionais aeronautas e usuários frequentes do transporte aéreo, como a instalação de equipamentos medidores de radiação nas aeronaves, a fim de controlar e respeitar os limites anuais do tempo de exposição sugeridos pelos órgãos internacionais.

Esse tema, essencial para a manutenção e garantia da segurança e saúde pública, é profícuo para novas investidas e estudos.

Esta análise não se esgota nesse trabalho, porém pode ser eficaz para a construção de recursos, descoberta de novas tecnologias, ferramentas e metodologias que atenuem os efeitos da radiação ionizante no organismo humano.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002. (modelo de referência com autoria coletiva)

DREAMSTIME. **Types of radiation and penetration**. Disponível em: <<https://pt.dreamstime.com/ilustracao-stock-poder-penetrante-de-variostipos-de-radiacao-imagem65936081>>. Acesso em 04 de ago. de 2019.

FAA. **CARI 6: Radiobiology Research Team**. Disponível em: <https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/aeromedical/radiobiology/cari6/>. última alteração da página em 06 de jun. de 2017. Acesso em: 01 de out. de 2019.

GERHARDT, Isabel. **Jornal Folha de São Paulo**. quinta-feira, 04 de maio de 2000.

ICRP, 2016 ANNUAL REPORT. **The System of Radiological Protection**. Vol. 45. Disponível em: <<http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20132>>. Acesso em 08 de set. de 2019.

IFALPA. **Protection from ionizing Radiation**. Disponível em : <<https://www.ifalpa.org/publications/library/protection-from-ionizing-radiation--1656>>. Acesso em 01 de out. de 2019.

IFALPA. **Pregnancy and Flying**. Publicada em 05 dez. de 2018. <<https://ifalpa.org/publications/library/pregnancy-and-flying-2782>>. Acesso em 20 de ago. de 2019.

RAIOS XIS. **A Radioproteção e a Legislação**. Publicado em 18 de nov. de 2014. Disponível em : <<https://raiosxis.com/a-radioprotecao-e-a-legislacao>>. Acesso em 05 de ago. de 2019.

RAMOS, Paulo Alberto de Lima. **Radiações Ionizantes - Implicações E Aplicações Na Saúde** . Edufcg, 2010.

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

SANTOS, Tenisson de Oliveira. **RISCOS A EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO IONIZANTE EM TRIPULANTES DE LINHA AÉREA, do Curso de Ciências Aeronáuticas da UNISUL – Campus de Palhoça**. 2018 Monografia (Graduação em Ciências Aeronáuticas) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2018.

SEVERINO, Antonio Joaquim. **METODOLOGIA DO TRABALHO CIENTIFICO**. 20 ed. São Paulo: Cortez, 1996.

SINTTARESP. **Convenções Coletivas SINDHOSP-2019-2020 p.08**. Disponível em: <www.sinttaresp.com.br/site/paginas/54/convencoes-coletivas >. Publicada em 17 de set. de 2019. Acesso em 13 de nov. de 2019.

U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration. Disponível em: <https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_120-61B.pdf >. Acesso em 03 de out. de 2019.

WIKIPEDIA. **Sievert**. Disponível em: < <https://pt.wikipedia.org/wiki/Sievert>>. a página foi editada pela última vez em 29 de maio de 2017.) Acesso em 28 de out. de 2019.