



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**

**LESSANDRA DE OLIVEIRA CRUZ**

**A RADIAÇÃO CÓSMICA NOS VOOS DE ALTAS ALTITUDES**

**Palhoça**

**2019**

**LESSANDRA DE OLIVEIRA CRUZ**

**A RADIAÇÃO CÓSMICA NOS VOOS DE ALTAS ALTITUDES**

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. Patrícia da Silva Meneghel, Dra.

Palhoça

2019

**LESSANDRA DE OLIVEIRA CRUZ**

**A RADIAÇÃO CÓSMICA NOS VOOS DE ALTAS ALTITUDES**

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. Patrícia da Silva Meneghel, Dra.

---

Profa. Conceição Aparecida Kindermann, Dra.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que me apoiaram e acreditaram em mim, em especial à minha família, amigos e professores.

## **RESUMO**

Esta pesquisa teve como objetivo geral conhecer a possível relação entre radiação cósmica e a incidência de tumores em tripulantes aéreos. Caracteriza-se como uma pesquisa descritiva, com procedimento bibliográfico para coleta de dados por meio de livros, artigos e estudos acadêmicos que foram pesquisados em base de dados na internet como Scielo, Google Acadêmico, Lilacs, entre outros. Ao término da pesquisa, foi possível concluir a radiação cósmica tem potencial para modificar células saudáveis causando diversas patologias como catarata, anemia e inclusive o câncer. No caso de pilotos aéreos e demais tripulantes, a rota interfere em muito para a intensidade das doses recebidas de raios cósmicos. Por exemplo, pilotos que voam em altas altitudes e em voos muito longos estão mais expostos aos efeitos dessa radiação. Assim, quanto o maior o tempo de carreira nessas condições, mais provável são os danos à saúde do tripulante.

**Palavras-chave:** Radiação Cósmica. Voos. Tumor. Tripulação aérea.

## **ABSTRACT**

This research aimed to know the possible relationship between cosmic pollution and incidence of tumors in aircrew. It is characterized as a descriptive research, with bibliographic procedure for data collection through books, articles and academic studies that were searched in internet databases such as Scielo, Google Scholar, Lilacs, among others. At the end of the research, it was possible to conclude a cosmic infection with the potential to modify cells caused by various diseases, such as cataracts, anemia and even cancer. In the case of air pilots and other crew members, a route greatly interferes with the intensity of cosmic ray doses received. For example, pilots flying at high altitudes and very long flights are more exposed to the effects of this reaction. Thus, the longer the career time under these conditions, the more likely are the damage to crew health.

**Keywords:** Cosmic Radiation. Flights. Tumor. Air crew.

## **LISTA DE SIGLAS**

|      |                                      |
|------|--------------------------------------|
| IOE  | Indivíduo ocupacionalmente exposto   |
| UNEP | United Nations Environment Programme |
| SNA  | Sindicato Nacional dos Aeronautas    |

## SUMÁRIO

|                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                 | <b>8</b>  |
| 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA.....                             | 9         |
| 1.2 OBJETIVOS.....                                        | 9         |
| 1.2.1 Objetivo geral .....                                | 9         |
| 1.2.2 Objetivos específicos.....                          | 9         |
| 1.3 JUSTIFICATIVA.....                                    | 9         |
| 1.4 METODOLOGIA .....                                     | 11        |
| 1.4.1 Natureza e tipo da pesquisa .....                   | 11        |
| 1.4.2 Materiais e métodos .....                           | 11        |
| 1.4.3 Procedimentos para coleta de dados .....            | 11        |
| 1.4.4 Procedimentos de análise de dados .....             | 11        |
| 1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....                          | 11        |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                        | <b>13</b> |
| 2.1 RADIAÇÃO CÓSMICA.....                                 | 13        |
| 2.1.1 Efeitos biológicos da radiação ionizante.....       | 15        |
| 2.1.2 Efeitos à saúde humana.....                         | 16        |
| 2.1 RADIAÇÃO CÓSMICA NO CONTEXTO AÉREO.....               | 17        |
| 2.2 A INCIDÊNCIA DE CÂNCER ENTRE TRIPULANTES AÉREOS ..... | 20        |
| <b>3 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                       | <b>22</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                   | <b>25</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos cem anos, a aviação civil cresceu consideravelmente. Na aviação comercial, a demanda de passageiros é cada vez maior. Grande parte da demanda é preenchida por voos de longa distância.

Como a rapidez do transporte aéreo é um dos principais benefícios gerados para longas viagens, faz-se necessários voos a altitudes cada vez mais elevadas, pois isso, além de garantir que as viagens sejam mais rápidas também contribui para a economia de combustível. Ou seja, aumenta a produtividade.

No entanto, o que tem despertado a atenção de pesquisadores é compreender a influência da radiação cósmica para danos ao organismo humano. Embora, os passageiros sejam alvos de estudos, pilotos e demais tripulantes aéreos estão constantemente expostos a esse tipo de radiação, o que aumenta a preocupação sobre como esse fenômeno pode afetar a saúde desses trabalhadores.

Knipp (2017) alerta para o fato de que a tendência para os próximos anos é de menor atividade dos raios solares e aumento da intensidade dos raios cósmicos em voos de altitudes elevadas, aumentando a probabilidade de danos à saúde decorrentes.

No Brasil, existem poucos estudos sobre o tema. Desse modo, o presente trabalho buscará expor alguns pontos relevantes acerca da radiação cósmica e suas interferências para a saúde de pilotos e tripulantes aéreos. (SNA, 2017).

Em primeiro lugar, é importante ressaltar que a radiação ultravioleta e radiação cósmica não são a mesma coisa. Especialmente porque enquanto a radiação ultravioleta pode ser barrada com o bloqueio dos raios solares, ainda não existem métodos para bloquear a absorção e efeitos dos raios cósmicos no organismo humano. (SNA, 2017).

Ressalta-se ainda que esse estudo não tem a intenção de amedrontar a comunidade aeronáutica, mas sim prestar alguns esclarecimentos e chamar a atenção da comunidade científica brasileira, bem como de órgãos do segmento aéreo para desdobramentos sobre um tema que certamente ainda tem muito a ser discutido nas próximas décadas, especialmente a aviação comercial cresce continuamente e junto a isso a exposição de tripulantes aéreos à radiação cósmica.

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Qual a possível relação entre radiação cósmica e a incidência de tumores em tripulantes aéreos?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Analisar a possível relação entre radiação cósmica e a incidência de tumores em tripulantes aéreos.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Descrever a radiação cósmica.

Levantar aspectos relacionados à radiação cósmica contida no contexto aéreo.

Verificar a incidência de tumores entre tripulantes aéreos.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

De acordo com Cavalcante *et. al.* (2019) um tripulante aéreo de altas altitudes pode absorver doses maiores de radiação cósmica do que o restante da população e por estar constantemente exposto aos raios cósmicos, o limite estipulado de doses de radiação ionizante para uma pessoa comum é ultrapassado, oferecendo maiores riscos, tornando-o um indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE).

Quanto maior a altitude maior é o aumento na dose de radiação recebida por tripulações aéreas. Em estudo realizado em São José dos Campos – SP, por exemplo, foi identificado que um piloto que tenha voado 600 horas no ano em uma altitude de 10km receberia uma dose anual de 1,4mSv, ultrapassando, portanto, o limite de 1 mSv. (FREDERICO *et. al.*, 2013).

Na aviação comercial, são necessários voos a altitudes cada vez mais elevadas. Através disso, os voos se tornam mais rápidos, enquanto o consumo do combustível tende a ser reduzido. Ou seja, há ótimo custo-benefício em voar mais alto. Com isso, cada vez mais os pilotos e demais tripulantes estão expostos a maiores doses de radiação, o que pode causar prejuízos à saúde. (MELO; SILVANY NETO, 2012).

Knipp (2017) afirma que nos próximos anos o ciclo solar mínimo tende a ser mais intenso. Ou seja, um fenômeno em que a atividade solar é mais branda, permitindo que os raios cósmicos tenham fácil acesso à Terra e mais ainda às aeronaves. Como resultado, a expectativa é que dentro um curto prazo, passageiros aéreos frequentes e tripulantes estejam mais expostos e vulneráveis aos raios cósmicos. Isto representa um importante desafio para o segmento aéreo.

De acordo com o Sindicato Nacional dos Aeronautas (SNA) existem mais de 65 estudos epidemiológicos sobre os efeitos da radiação cósmica no organismo. No Brasil, porém, o assunto é pouco conhecido, além de normalmente confundirem a radiação cósmica com a radiação ultravioleta. Embora os tripulantes aéreos estejam expostos aos raios ultravioleta UVA/B, à radiação eletromagnética, entre outros em seu ambiente de trabalho, quando se trata de voos em altas altitudes e latitudes, um risco ao qual esses profissionais estão expostos é à radiação cósmica que pode causar danos severos ao organismo humano como maior probabilidade de desenvolvimento do câncer. (SNA, 2017).

Por tudo isto, este trabalho fez um estudo de revisão teórica com o intuito de esclarecer alguns aspectos quanto à radiação cósmica. A ideia e vontade de realização desse estudo surgiu ao me deparar com o problema e notar que o tema recebe pouca atenção da comunidade científica acerca das possíveis relações entre a radiação cósmica e danos à saúde de pilotos e demais tripulantes. Espera-se que com esse trabalho, mais pesquisadores se engajem na compreensão dos reais riscos e consequentemente na mitigação desses riscos.

## 1.4 METODOLOGIA

### 1.4.1 Natureza e tipo da pesquisa

Foi feita uma pesquisa descritiva, com procedimento bibliográfico para coleta de dados. A abordagem de análise foi qualitativa.

### 1.4.2 Materiais e métodos

Os materiais utilizados foram artigos científicos sobre o tema exposto, a busca foi realizada através de bases de dados na internet.

### 1.4.3 Procedimentos para coleta de dados

O procedimento para a coleta de dados foi bibliográfico que consiste na exposição resumida de determinados assuntos já discutidos por outros autores como em livros, artigos, etc. (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

### 1.4.4 Procedimentos de análise de dados

A abordagem de análise foi qualitativa. Segundo Gerhardt e Silveira (2009), neste tipo de análise o enfoque no aprofundamento da compreensão sobre determinado fenômeno. Portanto, na pesquisa qualitativa, o pesquisador não tem preocupação com a representatividade numérica dos dados.

## 1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho foi dividido em três partes textuais. No capítulo I, foi feita a contextualização do tema para situar o leitor acerca de seus objetivos e importância do estudo. O capítulo II traz o aporte teórico, primeiro falou-se sobre o que é a radiação cósmica, em seguida foi abordada a radiação cósmica no contexto

aeronáutico e por fim, procurou-se demonstrar a eventual relação radiação cósmica e incidência de câncer entre tripulantes aéreos.

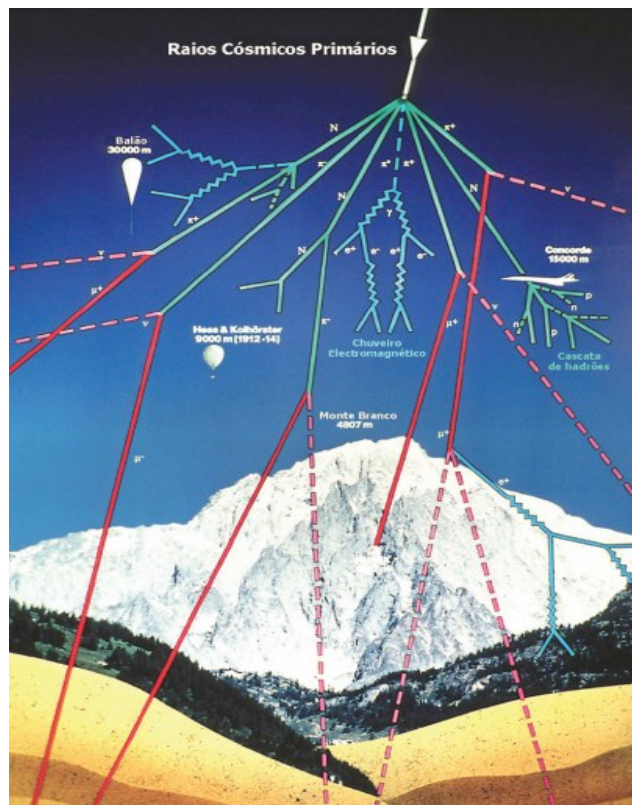
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 RADIAÇÃO CÓSMICA

De acordo com Anjos e Vieira (2008) os raios cósmicos são partículas estranhas, advindas de todas as partes do universo e que atinge o planeta Terra. Formados principalmente por prótons e outros núcleos atômicos, os raios cósmicos têm intensas cargas energéticas, porém quando penetram a atmosfera da Terra, a colisão gerada nesse processo neutraliza sua intensidade.

Ou seja, o choque entre os raios cósmicos e os núcleos atômicos, produzem uma espécie de catarata de partículas e radiação, essa cascata é chamada de “chuveirada” ou “chuveiro penetrante”, como mostrado na figura 1, os raios que chegam ao solo são chamados de secundários, em outras palavras, eles são compostos de menor energia do que os raios cósmicos primários. (ANJOS, 2008).

Figura 1 – Chuveiro de raios cósmicos



Fonte: Anjos e Vieira (2008, p. 77).

Desse modo, durante todo o tempo o ser humano recebe os subprodutos dos raios cósmicos, embora tais raios cheguem ao solo com centenas de bilhões de partículas e por isso, menos nocivos. (ANJOS; VIEIRA, 2008).

Sobre isso, Turtelli (2003) coloca que:

Um chuvaire extenso ocorre quando uma partícula muito rápida (isso é, com muita energia) da radiação cósmica interage com uma molécula do ar no alto da atmosfera, provocando uma violenta colisão. Fragmentos dessa colisão são expelidos com altíssimas velocidades para todos os lados e tornam a colidir com mais moléculas do ar, em uma cascata que continua até que a energia da partícula original seja distribuída entre milhões de partículas que chovem sobre a terra em uma área de até 16 km<sup>2</sup>. Neste processo, a atmosfera absorve grande parte da energia dessas partículas e possibilita a sua detecção e medida. (TURTELLI, 2003, [online]).

As primeiras descobertas dos raios cósmicos aconteceram no início do século XX, em 1910, o físico e padre Theodor Wulf (1868-1946) foi ao alto da torre Eiffel com um eletroscópio - aparelho utilizado para a detecção de radiação - na ocasião, a 300 m de altura ele descobriu que os níveis de radiação eram mais intensos lá do que no solo. (ANJOS; VIEIRA, 2008).

Em seguida, entre os anos de 1911 e 1913, o balonista e físico Victor Hess (1883 – 1964) decidiu expandir o experimento realizado por Wulf. Assim, fez voos levando o eletroscópio a quilômetros de altura, a 5km de altitude, por exemplo, a radiação era dezesseis vez mais intensa do que no solo.

Outra descoberta importante de Hess, foi a de que os raios cósmicos não são originados do sol como se acreditava, porque em voos realizados durante eclipse solar, os resultados foram os mesmos, levando-o à conclusão de que a radiação, na verdade, era emanada do espaço. (ANJOS; VIEIRA, 2008).

As descobertas acerca da radiação também trouxeram benefícios à sociedade como a possibilidade de radiografia de órgãos, gamagrafias industriais, entre outras atividades. Porém, seus efeitos negativos também passaram a ser evidenciados. A cientista Marie Curie veio a falecer de câncer após 30 anos da realização de seus estudos que envolviam a manipulação de materiais radioativos, a hipótese é de que o câncer tenha sido resultado disso porque posteriormente, descobriu-se que a radiação ionizante pode causar a destruição do DNA dos seres vivos, levando ao câncer e mutações. (OKUNO, 2013).

De acordo com a United Nations Environment Programme (UNEP) os efeitos da radiação em humanos podem ser imediatos ou tardios. As formas de exposição também variam. De modo geral, a radiação causa danos às células humanas, as consequências podem ser a modificação ou morte celular. (UNEP, 2016).

### 2.1.1 Efeitos biológicos da radiação ionizante

De acordo com Conceição (2015) a probabilidade de efeitos biológicos em razão da radiação cósmica pode ser definida pela radiosensibilidade. Por exemplo, as células embrionárias são altamente mitóticas. No quadro abaixo, o autor classifica os tipos de células de acordo com sua radiosensibilidade.

Quadro 1 – Níveis de radiosensibilidade

| ALTA RADIOSENSIBILIDADE | RADIOSENSIBILIDADE MÉDIA | RADIOSENSIBILIDADE BAIXA |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| MEDULA ÓSSEA            | PELE                     | MÚSCULO                  |
| BAÇO                    | FIGADO                   | OSSOS                    |
| TIMO                    | CORAÇÃO                  | SISTEMA NERVOSO          |
| LINFONODOS              | PULMÕES                  |                          |
| GÔNADAS                 |                          |                          |
| CRISTALINO              |                          |                          |

Fonte: Conceição (2015, p. 1).

A radiação interage com a matéria através de uma sequência subdividida entre estágio físico e estágio físico-químico, conforme explica Conceição (2015, p. 2):

Estágio Físico: ocorrem as ionizações e excitações dos átomos; as excitações causam poucos efeitos, ao passo que as ionizações causam desequilíbrio eletrostático nas moléculas. Estágio Físico-Químico: Após o estágio físico, ocorrem as quebras das ligações químicas da molécula, em consequência da ionização de um dos seus átomos. (CONCEIÇÃO, 2015, p. 2).

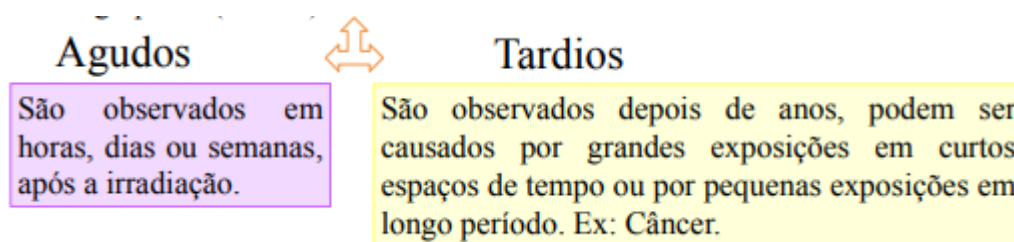
Tanto o DNA como demais moléculas podem ser afetadas nesse processo. De maneira geral, a ionização de apenas um átomo pode causar o desequilíbrio da ligação entre os átomos de uma molécula, antes unidos por forças elétricas. (CONCEIÇÃO, 2015).

### 2.1.2 Efeitos à saúde humana

Os efeitos à saúde humana podem ser classificados entre determinísticos, estocásticos, Hereditários/Genéticos e somáticos que são subdivididos em imediatos e tardios. (AMORIM; PINHAL JUNIOR, 2015).

Na figura 2, é possível verificar a síntese dos sintomas somáticos.

Figura 2 – Sintomas somáticos



Fonte: Amorim e Pinhal Junior (2015, p. 1).

Segundo Amorim e Pinhal Junior (2015, p. 1) que “afetam somente a pessoa irradiada e podem ser classificados em duas categorias: efeitos em curto prazo (agudos) e efeitos em longo prazo (tardios)”.

Os efeitos imediatos incluem sintomas da Síndrome Aguda da Radiação, em que o ser humano pode sofrer as consequências logo após a exposição a radiação como náusea, vômitos, diarreia, cólicas intestinais, fadiga, pressão baixa, entre outros. No entanto, as reações agudas podem evoluir para casos mais graves de saúde em poucas semanas. Ainda que incomum, um problema gastrointestinal pode levar o indivíduo à morte pouco tempo após o indivíduo ter sido exposto à radiação. A radioterapia, por exemplo, é uma área da saúde que emite altas doses de radiação, o que requer maior atenção à prevenção dos efeitos em pacientes. (UNEP, 2016).

Já os efeitos tardios são aqueles que acometem o indivíduo após um longo tempo de exposição aos raios cósmicos. Nessa situação, a probabilidade de danos aumenta de acordo com a dose de radiação recebida. Tais efeitos ocorrem possivelmente devido a modificações do material genético nas células que foi exposto à radiação. Alguns exemplos comuns de tais efeitos são os tumores sólidos

e a leucemia, além disso, deve-se ressaltar que os efeitos podem se estender aos descendentes dos indivíduos expostos. (UNEP, 2016).

Ainda de acordo com a UNEP (2016), o processo de desenvolvimento do câncer é complexo e pode levar um grande tempo até que se torne um tumor maligno:

O desenvolvimento do câncer é um processo complexo, consistindo de um número de estágios. Um fenômeno inicial, provavelmente afetando uma única célula, parece iniciar o processo, mas uma série de outros eventos parece ser necessária antes que a célula se torne maligna e desenvolva o tumor. (UNEP, 2016, p. 15).

Ou seja, o período de latência pode ser grande, pois o câncer pode se desenvolver após muito tempo da ocorrência do primeiro dano. Nesse sentido, indivíduos expostos a níveis consideráveis de radiação constituem um grupo de risco, eventualmente. Apesar de haver uma relação estatística entre a doença e a exposição à radiação, ainda não se sabe com certeza qual é a real contribuição da radiação para o desenvolvimento do câncer. (UNEP, 2016).

Há ainda os efeitos determinísticos que são aqueles em que a gravidade dos danos aumenta de acordo com o nível de exposição à radiação. Ou seja, quanto mais altas forem as doses de radiação, mais graves podem ser as consequências como, por exemplo, a radiodermite, anemia e esterilidade. (AMORIM; PINHAL JUNIOR, 2015).

Já os Hereditários/Genéticos basicamente ocorrem quando órgãos reprodutores genitores são expostos à radiação ionizante e acaba causando prejuízos às futuras gerações da pessoa irradiada. (AMORIM; PINHAL JUNIOR, 2015).

Com isso, entende-se que em altas altitudes as doses de radiação cósmicas são muito mais elevadas do que quando ao nível do mar. Por isso, na próxima seção deste capítulo, os raios cósmicos serão abordados em como se comportam e afetam tripulantes que voam a altas altitudes.

## 2.1 RADIAÇÃO CÓSMICA NO CONTEXTO AÉREO

Em um voo, acima das nuvens, o que se vê é apenas um espaço aparentemente vazio, mas mesmo nos voos a níveis de 11.000 m, a presença dos

raios cósmicos é intensa e pode interferir em circuitos eletrônicos, bem como no próprio ser humano. (KLOTZEL, 2017).

Assim, a saúde de passageiros e tripulantes aéreos pode ser afetada. Na verdade, não há um nível seguro de exposição à radiação cósmica, mesmo os raios cósmicos secundários, ou seja, aqueles que chegam à Terra já neutralizados oferecem riscos, mas os tripulantes que fazem voos em altas altitudes estão mais vulneráveis devido à intensidade e longa exposição a esses raios. (KLOTZEL, 2017).

Segundo Silva (2010, p. 99):

O aumento das radiações cósmicas em altitudes crescentes é um fenómeno bem conhecido sabendo que estas também dependem da latitude. Por exemplo, ao nível do mar e em latitudes elevadas a dose efectiva é de 1.1 vezes maior do que a latitudes menores. Contudo, de significância para voos com tripulações aéreas, em latitudes elevadas a dose efectiva é de 2.0 vezes mais do que a baixas latitudes, que quanto mais se afastar do equador em direcção aos pólos maior será a exposição, que será tanto mais notória quanto mais se voe em altitude.

Em outras palavras, quanto mais alto e/ou mais próximo dos polos o voo for realizado maior é dose de radiação recebida pelo indivíduo, além disso, o tempo de voo também influencia. Pois, nas condições colocadas quanto mais longo for o voo maior é a dose de radiação cósmica recebida, além das possíveis doses adicionais de radiação solar. (SILVA, 2010).

Ainda de acordo com Silva (2010) as tripulações que voam mais e mais ao longo do tempo estão mais vulneráveis aos efeitos cumulativos das doses de raios cósmicos. Esses efeitos podem interferir no metabolismo de pilotos aéreos levando a diversas patologias como anemia aplástica, anemia sideroblástica e anemias hemolíticas crónicas.

De acordo com Matheus (2011), mesmo os profissionais que são submetidos a baixas doses de radiação estão sujeitos principalmente aos efeitos estocásticos produzidos pelos raios ionizantes. A probabilidade da ocorrência é proporcional a dosagem de radiação recebida.

Segundo Okuno (2013) os efeitos estocásticos são alterações sofridas por células normais, as principais consequências são o câncer e o efeito hereditário. O autor ainda ressalta que qualquer dose de radiação, seja natural ou não, pode ser suficiente para gerar os efeitos estocásticos, no entanto, vale observar que o nível de dosagem não impacta para a gravidade dos efeitos.

Porém, quanto maior a dose recebida pelo ser humano, maiores são as chances do surgimento dos efeitos estocásticos, bem como dos hereditários que ocorrem nas células sexuais e podem ser transmitidos aos descendentes do indivíduo acometido. (OKUNO, 2013).

Leyton *et. al.* (2014) explicam que os efeitos estocásticos são:

aqueles cuja probabilidade de ocorrência é proporcional à dose de radiação recebida, sem a existência de limiar. O desenvolvimento de câncer em indivíduos expostos, devido à mutação de células somáticas ou por uma doença hereditária em sua progênie, é exemplo. (LEYTON *et. al.*, 2014, p. 91).

As reações teciduais podem ser outra consequência da exposição à radiação. Mas nesse caso, só ocorre quando são absorvidas altas doses. Dentre os principais efeitos dessas reações está morte celular. No entanto, se o número de células mortas for pequeno, os prejuízos sequer são observados pelo indivíduo. Por outro lado, se morrerem várias células de um órgão é mais provável que o funcionamento do órgão seja comprometido. (OKUNO, 2013).

Uma questão importante sobre as reações teciduais é que seus efeitos nem sempre são imediatos, mas podem surgir muito tempo após da exposição, causando doenças como catarata, vasculares cardíacas e cerebrais. (OKUNO, 2013).

Apesar de não haver estudos que comprovem isto, é possível estabelecer esta relação especialmente em pilotos com maior tempo de carreira e expectativa menor de vida. Desse modo, a International Commission of Radiological Protection (ICRP) e a Federal Aviation Administration (FAA) classificam as tripulações aéreas como um grupo ocupacional exposto às radiações cósmicas. (SILVA, 2010).

Levando em conta que a radiação pode afetar o ser humano, a (ICRP) estabeleceu limites de dosagens efetivas para dois grupos distintos sendo a categoria composta por profissionais expostos à radiação e a outra categoria para as demais pessoas. Para pessoas em função ocupacional, é recomendado que a dose máxima de radiação não exceda 20mSv por ano, a média é calculada com base em períodos de 5 anos. É importante ressaltar que a dose efetiva não pode ultrapassar 50mSv individualmente. (MATHEUS, 2011).

Para as tripulantes em período de gravidez, o limite para a dose efetiva recebida não pode ultrapassar 1mSv durante toda a gestação e não pode ser maior

que 0,5mSv ao mês. Já para as demais pessoas, a dose efetiva pode exceder 1mSv em determinado ano, mas a média baseada em 5 anos não deve ultrapassar 1mSv/ano. (MATHEUS, 2011).

Horta (2013) afirma que a radiação cósmica corresponde a 95% da radiação à qual estão expostas as tripulações aéreas. Essa exposição é praticamente constante e assim faz parte do cotidiano laboral desses profissionais. As doses absorvidas de radiação podem ser simuladas e previstas, o que contribui para o planejamento de rotas menos nocivas aos tripulantes.

No Brasil, entretanto, as tripulações aéreas não legalmente são reconhecidas como um grupo ocupacional exposto à radiação. Com isso, não há exigência no monitoramento da dose de radiação absorvida pelos tripulantes brasileiros, o que dificulta o levantamento de dados nesse aspecto. (RUAS, 2017).

## 2.2 A INCIDÊNCIA DE CÂNCER ENTRE TRIPULANTES AÉREOS

De acordo com Knipp (2017) embora o avião seja um dos meios de transportes mais seguros do mundo, a radiação à qual os passageiros e tripulantes estão expostos é risco que tem desafiado o segmento aéreo. Os voos de longa distância e alta altitude são cada vez mais comuns na aviação comercial, o que potencializa o problema. Por exemplo, em um trajeto de Chicago a Pequim, acima do polo norte, os indivíduos a bordo podem receber o equivalente de radiação de um raio X de tórax (~0, 1 mSv).

Os raios cósmicos de alta energia quando absorvidos por células humanas é capaz de modificá-las mesmo quando saudáveis. Este processo pode quebrar as cadeias de DNA ou produzir radicais químicos que alteram a função celular, conseqüentemente essas reações aumentam as chances de o indivíduo desenvolver câncer, além de outros efeitos nocivos à saúde. (KNIPP, 2017).

Um estudo que buscou identificar a relação entre casos de melanoma (câncer de pele) e não melanoma em pilotos por exposição à radiação ultravioleta também observou que há maior incidência de melanoma devido à exposição de raios cósmicos entre pilotos com mais de duas décadas de carreira em voos mais longos e em decorrência da latitude. Isto porque a depender das coordenadas do

trajeto quanto mais alta a latitude menor é radiação ultravioleta levando ao aumento da radiação ionizante cósmica. (BESSA *et. al.* 2015).

De acordo com Matheus (2011) as células somáticas irradiadas que sofrem modificação podem progredir para o desenvolvimento do câncer. Embora, o organismo humano possua mecanismos de defesa e reparos que reduzem as chances de desenvolvimento do câncer, observa-se que a probabilidade de desenvolvimento da doença pode aumentar conforme maior for a dose de radiação cósmica recebida.

Langner *et. al.*, (2014) realizaram um estudo envolvendo dezenove mil pilotos e engenheiros de voos na Europa, não encontraram relação direta entre a incidência de câncer e a exposição de doses mais altas de radiação.

Sigurdson e Ron (2004) analisaram por volta de 20 estudos epidemiológicos publicados a partir do ano 2000 sobre a incidência ou mortalidade de câncer e observaram que pilotos e demais tripulantes de cabine apresentavam maiores riscos para desenvolvimento de melanoma, outros tipos de câncer foram observados, mas apenas ocasionalmente. Apesar da possível relação entre radiação cósmica do desenvolvimento de câncer por esses profissionais as autoras concluíram não haver dados suficientes para sustentar a tese de que a radiação cósmica é fator decisivo para o surgimento do câncer.

Portanto, embora a relação entre a incidência de câncer entre tripulantes aéreos e níveis recebidos de radiação cósmica seja provável, não existem dados suficientes que torne possível confirmar a relação entre o risco de incidência e morte por câncer entre pilotos aéreos por exposição a altas doses de radiação cósmica.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral foi conhecer a possível relação entre radiação cósmica e a incidência de tumores em tripulantes aéreos. Para tanto, foram definidos três objetivos específicos sendo o primeiro deles descrever a radiação cósmica, o segundo levantar aspectos relacionados à radiação cósmica contida no contexto aéreo. O referencial relacionado ao primeiro objetivo mostrou que os raios cósmicos são partículas de estranhas de alta energia provenientes de todo o universo, que atinge a Terra, sua composição é formada principalmente por diferentes matérias, em especial prótons. Apesar de sua intensa carga genética, ao se chocarem com a atmosfera da Terra passa por um processo de neutralização que reduz sua intensidade, sem causar grandes riscos às pessoas. É importante ressaltar ainda que embora por muito tempo, tenham acreditado que os raios cósmicos vinham do sol, na verdade, como já foi dito eles vêm do espaço.

No segundo objetivo específico, procurou-se levantar aspectos relacionados à radiação cósmica contida no contexto aéreo. A primeira questão observada é o fato de que as radiações cósmicas estão relacionadas à latitude, com isso, tripulações que voam a altas latitudes estão expostas a doses até 2 vezes maiores que tripulantes que voam a baixas latitudes. O estudo mostrou que voos a níveis de 11.000 m, por exemplo, já recebe doses significativas de raios cósmicos, tão intensos que podem tanto interferir nos circuitos eletrônicos como no organismo humanos. Assim, quanto for a altitude mais significativa é a exposição da tripulação aos raios cósmicos.

Na aviação comercial, por exemplo, e especialmente aqueles de longa distância, as tripulações são continuamente expostas aos raios cósmicos, ficando sujeitas aos seus efeitos cumulativos. Ao longo prazo, isso pode interferir na saúde de tripulantes aéreos interferindo para que desenvolvam várias doenças como anemia aplástica, sideroblástica e outras. Outra questão importante de ser observada é que os raios cósmicos têm efeitos estocásticos. Ou seja, mesmo quando submetidos a baixas doses, o indivíduo pode sofrer alteração em suas células como, por exemplo, o surgimento do câncer. Quando exposto a altas doses de radiação, os riscos podem ser maiores e estão relacionados especialmente à morte das células. Os resultados podem ser catastróficos quando morrem várias

células de um órgão, pois seu o funcionamento do órgão afetado pode ser comprometido.

O estudo mostrou que em pilotos de voos a elevadas atitudes, com maior tempo de carreira apresentam um índice mais elevado de doenças relacionadas à morte celular como catarata e vasculares cardíacas. Assim, tripulantes aéreos constituem o grupo de indivíduos ocupacionalmente expostos, pois 95% da radiação recebida por esses profissionais provém dos raios cósmicos. Uma alternativa de mitigação é o uso de tecnologias que permitam simular e prever as doses de radiação recebidas por determinadas rotas e reajustá-las quando necessário de modo a reduzir os riscos de exposição. Infelizmente, no Brasil, não há legislação vigente que obrigue as companhias aéreas a medidas mitigatórias, o que dificulta até mesmo conhecer às condições mais próximas da realidade a qual os tripulantes aéreos brasileiros estão expostos.

Por fim, o terceiro objetivo específico buscou verificar a incidência de tumores entre tripulantes aéreos. Como visto neste estudo, a radiação cósmica de alta energia que faz parte do cotidiano laboral de tripulações que principalmente voam a alta altitude e longa distância contribui para a modificação de células humanas. Nesse processo, as cadeias de DNA podem ser quebradas ou ainda pode ocorrer a produção de radicais químicos que modificam a função celular. Entre as principais consequências disso está a maior probabilidade em desenvolver câncer. Dentre as pesquisas científicas relatadas ao longo do estudo, uma identificou que pilotos com mais de 20 anos de carreira em voos longos apresentam maiores índices de melanoma. Isto acontece porque segundo o estudo, a radiação ultravioleta é diminuída à medida que a latitude aumenta, assim, ocorre o aumento da radiação. Outro estudo mostrou que quanto maior a dose de radiação cósmica recebida, maior é a probabilidade do desenvolvimento de câncer, porém não foram demonstrados índices relativos. Outros estudos observaram que existem mais casos de melanoma entre pilotos e tripulantes, outros tipos de câncer não foram identificados em quantidade significativa.

Portanto, respondendo ao problema de pesquisa a radiação cósmica pode levar ao desenvolvimento de câncer, porém não foi possível estabelecer uma relação direta entre os raios cósmicos e tumores em tripulantes aéreos. Alguns estudos demonstraram haver mais casos de melanoma entre pilotos com mais

tempo de carreira e mais expostos à radiação cósmica de acordo com as rotas realizadas. Outros tipos de câncer não foram observados de forma relevante. Ao decorrer dessa pesquisa, os dados sobre o tema foram relativamente escassos, o que dificultou em parte chegar a uma resposta mais conclusiva. Por isso, para estudos futuros, sugiro a ênfase nos casos de melanoma entre tripulantes, de modo a descobrir que se são resultados diretos da radiação cósmica ou se envolvem a interferência de outros fatores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, C. M. A.; PINHAL JUNIOR, P. **Os efeitos biológicos e os riscos associados aos Raios-X**. In: IX Mostra de Trabalhos Acadêmicos III Jornada de Iniciação Científica Santos. São Paulo. 26 de outubro de 2015.

ANJOS, J. C. C.; VIEIRA, C. L. **Um olhar para o futuro: Desafios da Física para o século 21**. Rio de Janeiro: FAPERJ, 2008.

BESSA, C. H. R. *et. al.* **Radiação Ultravioleta Relacionado com Problemas Dermatológicos na Carreira de Piloto de Aeronaves**. In: V Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Ponta Grossa - PR, 02 a 04 de dezembro de 2015.

CAVALCANTE, J. E. *et. al.* **Riscos ocupacionais dos tripulantes e profissionais da aviação expostos à radiação ionizante** – Uma revisão de bibliografia. In: International Joint Conference Radio, 2019. Disponível em: <https://www.sbpr.org.br/portal/files/radio2019/anais/926-4009-1-RV.pdf> Acesso em: set. 2019.

CONCEIÇÃO, A. L. C. **Efeitos biológicos da radiação ionizante**. Curitiba: DAFIS, 2015.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

HORTA, J. J. S. **Desenvolvimento de um Sistema para Monitorização de Dose de Radiação em Cockpit de Avião**. 2013. 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica). Universidade Nova de Lisboa - Faculdade Ciências e Tecnologias. Out. 2013.

KLOTZEL, E. **Raios Cósmicos: NASA estuda raios cósmicos em grandes altitudes**. AeroMagazine, 2017. Disponível em: [https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/nasa-estuda-raios-cosmicos-em-grandes-altitudes\\_3190.html](https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/nasa-estuda-raios-cosmicos-em-grandes-altitudes_3190.html) Acesso em: set. 2019.

KNIPP, D. J. Essential science for understanding risks from radiation for airline passengers and crews. **Space Weather**. v. 15, n. 4, 2017.

LANGNER, I. Cosmic Radiation and Cancer Mortality Among Airline Pilots: Results from a European Cohort Study (ESCAPE). **Radiat Environ Biophys**. v. 42, 2014.

LEYTON, F. *et. al.* Riscos da Radiação X e a Importância da Proteção Radiológica na Cardiologia Intervencionista: Uma Revisão Sistemática. **Rev Bras Cardiol Invasiva**. v. 22, n. 1, p. 87-98, 2014.

MATHEUS, G. S. Radiação e suas influências no cotidiano de um piloto de linha aérea. **Revista da Graduação**. v. 4, n. 2, 2011.

MELO, M. F. S.; SILVANY NETO, A. M. Revisão narrativa sobre os riscos ocupacionais físicos e saúde de pilotos de aviação comercial. **Revista Baiana de Saúde Pública**. v. 36, n. 2, p. 465-481. abr.jun. 2012

OKUNO, E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes. Acidente radiológico de Goiânia. **Rev. Estud. av.** v. 27, n. 77. São Paulo, 2013.

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

SIGURDSON, A. J.; RON, E. Cosmic radiation exposure and cancer risk among flight crew. **Cancer Invest.** v. 22, n. 5, 2004.

SILVA, R. O. **Riscos para a Saúde pela Exposição Ocupacional às Radiações Cósmicas em pilotos de linha aérea**. 197f. Tese (Doutorado em Medicina). Universidade de Santiago de Compostela. Faculdade de Medicina e Odontologia - Departamento de Psiquiatria, Radiologia e Saúde Pública. 2010.

TURTELLI, A. **Raios Cósmicos**: O que são raios cósmicos? Labjor, 2003.  
Disponível em: <http://www.comciencia.br/dossies-1-72/reportagens/cosmicos/cos08.shtml>. Acesso em: set. 2019.

UNEP. **Radiação: efeitos e fontes**. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2016. Disponível em: <http://www.aben.com.br/Arquivos/544/544.pdf>  
Acesso em: dez. 2019.