PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS

ESCOLA POLITÉCNICA E DE ARTES

GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AERONÁUTICAS



**PROBLEMAS CUTÂNEOS EM AERONAUTAS DEVIDO A CONSTANTE EXPOSIÇÃO A RADIAÇÃO SOLAR**

VICTOR MOURA CERQUEIRA

GOIÂNIA-GO

2024

VICTOR MOURA CERQUEIRA

**PROBLEMAS CUTÂNEOS EM AERONAUTAS DEVIDO A CONSTANTE EXPOSIÇÃO A RADIAÇÃO SOLAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola Politécnica e de Artes da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas.

Orientador:

Prof.º Dr. Humberto César Machado

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Lorena Torres de Arruda

Profa. Dra. Tereza Cristina Pinheiro de Lima Oliveira

GOIÂNIA-GO

2024

VICTOR MOURA CERQUEIRA

**PROBLEMAS CUTÂNEOS EM AERONAUTAS DEVIDO A CONSTANTE EXPOSIÇÃO A RADIAÇÃO SOLAR**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado em sua forma final pela Escola Politécnica e de Artes, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, para obtenção do título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas, em\_\_\_\_/\_\_\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Orientador: Prof. Dr. Humberto César Machado

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Profa. Dra. Lorena Torres de Arruda

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Profa. Dra. Tereza Cristina Pinheiro de Lima Oliveira

GOIÂNIA-GO

2024

**RESUMO**

O presente estudo tem como tema central os efeitos danosos da radiação solar, tanto ionizante quanto não ionizante, sobre os aeronautas. Com o avanço da aviação, os tripulantes estão expostos a níveis significativos de radiação solar, cuja intensidade é influenciada pela latitude, horários e regiões voadas. A percepção dos riscos à sua saúde, devido a radiação solar, é um fato relativamente recente, com destaque para a relevância das recomendações advindas da *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) divulgadas na década de 1990. Contudo, no Brasil, ainda não existem normas específicas que abordem essa exposição. Tanto as radiações ionizantes quanto não ionizantes representam um perigo significativo, haja vista que podem causar danos cutâneos, queimaduras e aumentar o risco de câncer. Assim, torna-se crucial o estabelecimento e a aplicação de regulamentações destinadas a proteger a saúde dos aeronautas. Medidas de mitigação, como a aplicação de bloqueadores solares e a utilização de vestimentas adequadas, aliadas a ajustes nos horários e altitudes de voo, podem reduzir de maneira significativa os riscos. Nesse sentido, tem-se como objetivo conscientizar a comunidade aeronáutica sobre os riscos associados à exposição prolongada em diversos níveis de voo. Além disso, investiga-se o papel das leis na garantia da saúde dos aeronautas brasileiros. A fim de atingir os objetivos propostos, adota-se uma metodologia que compreende tanto uma revisão bibliográfica quanto uma pesquisa descritiva. A revisão bibliográfica busca obter uma compreensão abrangente e atualizada dos efeitos da radiação solar nos aeronautas, enquanto a pesquisa descritiva se concentra na análise dos riscos associados à exposição prolongada à radiação solar pela tripulação das aeronaves.

Palavras-chave: Radiação. Aeronautas. Saúde. Epiderme. Câncer.

***ABSTRACT***

*The central theme of this study is the damaging effects of solar radiation, both ionizing and non-ionizing, on aeronauts. With the advance of aviation, crew members are exposed to significant levels of solar radiation, the intensity of which is influenced by latitude, time of day and region flown. The perception of the risks to their health due to solar radiation is a relatively recent development, with emphasis on the relevance of the recommendations made by the International Commission on Radiological Protection (ICRP) in the 1990s. However, in Brazil, there are still no specific standards that address this exposure. Both ionizing and non-ionizing radiation represent a significant danger, since they can cause skin damage, burns and increase the risk of cancer. It is therefore crucial to establish and enforce regulations designed to protect the health of aeronauts. Mitigation measures, such as the application of sunblock and the use of appropriate clothing, combined with adjustments to flight times and altitudes, can significantly reduce the risks. The aim is to raise awareness among the aviation community of the risks associated with prolonged exposure at various flight levels. It also investigates the role of laws in guaranteeing the health of Brazilian aeronauts. In order to achieve the proposed objectives, a methodology comprising both a literature review and descriptive research was adopted. The literature review seeks to obtain a comprehensive and up-to-date understanding of the effects of solar radiation on aeronauts, while the descriptive research focuses on analyzing the risks associated with prolonged exposure to solar radiation by aircraft crew.*

*Keywords: Radiation. Aeronauts. Health. Epidermis. Cancer.*

**1 INTRODUÇÃO**

Este estudo aborda os efeitos danosos da radiação solar, tanto ionizante quanto não ionizante, sobre os aeronautas. O objetivo é conscientizar a comunidade aeronáutica sobre os riscos associados à exposição prolongada em diversos níveis de voo, latitudes, regiões e horários. Além disso, investiga-se o papel das leis na garantia da saúde dos aeronautas brasileiros. Assim, tem-se como objetivo, conscientizar a comunidade aeronáutica sobre os malefícios a saúde devido a exposição as radiações na execução da atividade aérea.

Com o avanço da aviação e a capacidade das aeronaves de atingir altitudes elevadas, os tripulantes estão sujeitos a níveis significativos de radiação solar. A exposição é influenciada pela latitude, com regiões polares e maiores latitudes. Ressalta-se ainda, que a exposição é mais intensa durante os horários entre ao nascer e ao pôr do sol.

O reconhecimento dos riscos à saúde dos aeronautas devido à radiação solar é um fenômeno relativamente recente. Foi apenas na década de 1990 que a *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) divulgou recomendações sobre doses limites e os efeitos da exposição excessiva à radiação. No Brasil, embora estudos tenham sido realizados sobre o tema, ainda não existem normas específicas acerca da problemática.

As radiações ionizantes e não ionizantes representam um perigo significativo para os aeronautas, e podem causar danos à pele, queimaduras e, a longo prazo, aumentar o risco de câncer. Diante desse cenário, é crucial o desenvolvimento e implementação de regulamentações. Embora seja impossível evitar completamente a exposição à radiação, medidas de mitigação, como o uso de protetores solares, vestuário adequado e ajustes nos horários e altitudes de voo, podem reduzir significativamente os riscos.

Metodologicamente, este estudo utiliza uma revisão bibliográfica, com o objetivo compreender os efeitos prejudiciais da radiação solar nos aeronautas. Também realiza-se uma pesquisa descritiva, com foco na análise dos riscos associados à exposição prolongada à radiação solar por parte da tripulação das aeronaves. Para a construção do trabalho e aquisição de dados, foram utilizados o Google Acadêmico, obras literárias e legislações vigentes na Constituição brasileira. A busca destes, foram realizadas entre os meses de fevereiro a maio do ano de 2024.

**2 ASPECTOS GERAIS DA HISTÓRIA DA AVAIAÇÃO**

A aspiração de voar sempre permeou a história. No entanto está proeza tão cobiçada, era impossibilitada. O homem, desde os primórdios, se fascinou por como os pássaros podiam exercer tamanha força de se voar. A partir de tal percepção, surgiram os homens-pássaros, que se adaptavam com asas e saltavam de penhascos, todavia, nenhum conseguia alcançar tamanha façanha (Monteiro, 2002).

No século XV, o cientista Leonardo da Vinci, realizou um estudo sobre o voo dos pássaros, e a partir daí ele desenvolveu os ornitópteros, uma espécie de máquina voadora. Ao decorrer dos anos, este sonho do humano voar não desapareceu. Os irmãos franceses Joseph e Etienne Montgolfier inventaram o balão de ar quente que fez um voo pela primeira vez em 1783 na França. Eles não sabiam o porquê de seus balões se elevarem do solo (Cigerza, 2008).

Com o avanço dos conhecimentos a respeito dos voos, novos nomes surgiram na história da busca pelo controle de voo. Os Irmãos Wright construíram um aeroplano nomeado Flyer, que em 1903 realizou seu primeiro voo por 12 segundos, e percorreu cerca de 30 metros, e assim tornou-se o primeiro voo de uma máquina mais pesada que o ar, tripulada na história.

A constante busca pelo controle do voo não havia acabado, e o nome de um brasileiro surgiu. Alberto Santos Dumont, em 1906, decolou com seu aeroplano construído com bambu e tela sem nenhum auxílio externo, e percorreu 60 metros. Este acontecimento mudou os rumos da paixão por voar e definiu o que atualmente se conhece por aviação, de forma que colocou o 14-Bis na história (Cigerza, 2008).

Com a visibilidade da aviação, em 1909 surgiu a primeira companhia de transportes aéreo regular, a *Deutsch Luftschiffahrts* (Delag), com base e sede em Frankfurt e operações somente com Zepelins. Em 1910 iniciou-se o serviço aéreo comercial, na Inglaterra, com voos que transportavam correspondências (Cigerza, 2008).

A aviação mundial teve sua grande evolução nos períodos de Guerra. A indústria aeronáutica, deixou visível a importância do poder aéreo, ao transformar os aviadores em celebridades e heróis de guerra. Outrossim, a aviação na Guerra foi utilizada para experimentos tecnológicos desenvolvidos na época (Bedin, 2015).

Com o fim da guerra e o princípio da crise pós-guerra, houve uma baixa demanda das aeronaves militares, que foram designadas a outras atividades. Com isto, a aviação passou a buscar novos desafios na aviação civil. Aeronaves militares foram adaptadas para transporte de cargas e passageiros (Bedin, 2015).

Com diversas aeronaves no mercado, oriundas da guerra e recém-construídas, novos conceitos surgiram no âmbito da aviação. O termo Linha Aérea Regular surgiu em 1914, nos Estados Unidos, quando a empresa *St. Petersburgo Tampa Airboat Liner*, utilizava seu único hidroavião para ligar as cidades de Tampa e Stº. Petersburgo na Flórida, com a capacidade de apenas dois passageiros. Assim, revolucionou por vez, a história da aviação civil (Cigerza, 2008).

A constante melhoria das aeronaves e o crescimento substancial dos conhecimentos da aviação, acarretou a evolução do transporte aéreo regular mundial. Diversas linhas e empresas aéreas foram criadas a fim de encurtar distâncias de regiões. Após três meses do término da guerra, a companhia aérea *Lignes Aériennes Farman*, em 1919, fundou a primeira linha aérea Londres à Paris, com aeronaves bimotoras. Isso evidenciou o quão rápido foi o avanço da aviação, que conseguia ligar países em um curto espaço de tempo (Cigerza, 2008).

Logo, com a consolidação das companhias aéreas e o transporte de passageiros, foi necessário a criação de equipes, além dos pilotos, que trabalhassem em conjunto dentro da aeronave para atender as necessidades de seus passageiros. Na década de 30, surgia a profissão de comissário de bordo, nos Estados Unidos. Profissão exclusiva para homens, que carregavam bagagens, entregavam, os tickets aos passageiros do voo e realizavam serviços de bordo. A companhia aérea *American Airlines*, passou a treinar enfermeiras para serem aeromoças, com a função de auxiliar passageiros que sentissem mal-estar durante o voo. No entanto, outras companhias aéreas viram este evento com bons olhos, e incorporaram em suas políticas e operações (Cigerza, 2008).

A incorporação dos comissários junto aos pilotos das aeronaves em voo, originou em um novo conceito na aviação para designar aos trabalhadores de bordo. O aeronauta é o profissional habilitado pelo Ministério da Aeronáutica (hoje Comando da Aeronáutica) que exerce atividade a bordo de aeronave civil nacional, mediante contrato de trabalho regido pela legislação trabalhista (Cigerza, 2008). Logo, com o progresso da aviação civil, houve uma necessidade crescente de regulamentação em todos os seus aspectos. A jornada de trabalho dos aeronautas foi um dos diversos regimentos impostos (Bedin, 2008).

**3 REGULAMENTAÇÃO BRASILEIRA DE AVIAÇÃO CIVIL**

 O tempo de trabalho do aeronauta é previsto na Lei n. 13.475 de 28 de agosto de 2017, de acordo com o tipo de tripulação. Para tripulação mínima ou simples, é oito horas. Quando em uma tripulação composta, é pressuposto que consista em onze horas. E quando uma tripulação de revezamento, presume-se quatorze horas de trabalho (Brasil, 2017).

Além do regulamento, é preciso observar o limite de horas semanais e mensais. Conforme a Lei n. 7.183 de 05 abril de 1984, a carga horária semanal dos aeronautas, desde o seu deslocamento ao aeroporto, assumir voo, treinamentos e outras atividades fim a execução do cargo proposto, não deve exceder a quarenta e quatro horas semanais, enquanto a mensal não deve ultrapassar cento e setenta e seis horas de atividades (Brasil, 2017).

A limitação da duração do trabalho deve respeitar os fatores de natureza biológica ou fisiológica, de natureza social ou moral e de natureza econômica. O aeronauta necessita descansar, em razão da natureza biológica ou fisiológica, para que seu corpo se recomponha fisicamente e psiquicamente.

Importante esclarecer que se refere a duração do trabalho, o tempo contado entre a hora da apresentação no local de trabalho estabelecido pelo empregador e a hora em que é encerrado. Considera-se o início, no mínimo trinta minutos antes da hora para o início do voo, e o encerramento trinta minutos pós o corte dos motores da aeronave. Porém, esta poderá ser prorrogada, caso o comandante da aeronave decida por tal. Por Lei, este, está apto a prorrogá-la em até sessenta minutos em casos específicos previstos por lei. Neste caso, a carga horária poderá ser ampliada quando no local da escala não houver acomodações apropriadas para a tripulação e passageiros, ou quando houver demasiada espera por fatores meteorológicos ou técnicos (Bedin, 2015).

Juntamente ao limite de horas, também é regulado o número de pousos que os aeronautas podem realizar no decorrer do trabalho. Este, define o número de pousos a partir da forma como está disposta a tripulação. Para etapas compostas por tripulação mínima ou simples, é instruído que sejam efetuados até quatro pousos, e pode ser estendido até cinco pousos, com aumento ao repouso em duas horas. Contudo, segue a critério do empregador. Em caso de tripulação composta são permitidos cinco pousos por horário laboral (Brasil, 2017). Nas tripulações de revezamento, são permitidos quatro pousos por carga horária, enquanto tripulação de aeronaves rotativas não são limitadas neste quesito (Bedin, 2015).

No que tange a classificação da aeronave de asa fixa, esta é normatizada pela Lei n. 13.475 de 28 de agosto de 2017. Nesta, é instituído que tripulantes de aeronaves a jato, não deverão exceder oitenta horas mensais, e oitocentas horas anuais. Já em aeronaves convencionais, não devem exceder cem horas por mês, e novecentos e sessenta horas por ano. Em turboélices, não deve ser excedido oitenta e cinco horas mensais, e oitocentos e cinquenta horas anuais. Tripulantes de aeronaves de asa rotativa, possuem limite de jornada que não devem exceder noventa horas mensais, e novecentos e trinta horas anuais (Brasil,2017).

As companhias aéreas devem dispor a escala dos aeronautas, respeitar as regulamentações vigentes no que tange a suas etapas, folgas e repousos. Tendo em vista, a higiene, a segurança no trabalho e operacional da empresa aérea, os aeronautas devem ser avisados com antecedência de seus turnos, na escala de convocação (Bedin, 2015).

A folga, em período não inferior a vinte e quatro horas consecutivas, sem prejuízo de remuneração, e desobrigado de qualquer atividade relacionada com seu trabalho; deverá ocorrer, no máximo, após o sexto período consecutivo de até vinte e quatro horas a disposição do empregador. Outrossim, a folga terá início após a conclusão do repouso (Bedin, 2015).

A partir da premissa da folga, a escala deve ser redigida com previsão de folga e limite de horas de voo e de pouso, visto que nenhuma viagem poderá durar mais que seis dias, com exceção de voos internacionais de longo curso, que não tenham sido previamente programados. Em caso de divergência, poderá haver ampliação de vinte quatro horas, mas o empregador ficará obrigado a conceder ao tripulante mais quarenta e oito horas de folga, além de seu período de repouso (Bedin, 2015).

Além do mais, o número de folgas dos aeronautas não deve ser inferior a oito períodos de vinte e quatro horas por mês, e ainda, destas folgas, o empregador deverá conceder dois períodos consecutivos de vinte e quatro horas, com pelo menos um destes, sendo sábado ou o domingo (Brasil, 2017).

O repouso difere da folga, por poder ser usufruído em qualquer localidade. Nomeia-se repouso como o espaço de tempo ininterrupto após o período em que o tripulante fica desobrigado da prestação de qualquer serviço. O seu repouso está diretamente ligado ao tempo anterior (Bedin, 2015). É estabelecido no art. 34 da mesma Lei, que o aeronauta tem direito a doze horas de repouso após o exercício da função de até doze horas. Após doze horas e até quinze horas, o repouso do aeronauta deverá ser de dezesseis horas. As etapas de mais de quinze horas acarretarão direito a vinte e quatro horas de repouso ao aeronauta (Brasil, 2017).

A elaboração e atendimento das normas trabalhistas que regem suas atividades é de fundamental importância para assegurar a saúde dos profissionais, que podem sofrer com os malefícios advindos de longas jornadas. Um dos problemas é a exposição constante à irradiação, que acarreta malefícios a epiderme humana. (Cigerza, 2008).

**4 A SAÚDE DO PILOTO E AS CONSEQUÊNCIAS ORGÂNICAS**

Os aeronautas, atuam em um ambiente hostil a sua natureza, no qual estão submetidos a diversos riscos presentes na execução de suas atividades. Eles possuem um sistema de trabalho em que há uma inconstância nos horários, que podem ser observados por meio das escalas de voo mutáveis, trabalhos realizados em períodos noturnos, dentre outros. Esta volubilidade repercute na saúde destes profissionais (Cigerza, 2008).

A partir de um estudo realizado pela Universidade de Brasília (UNB), entre 1992 e 2002, a cada dez mil profissionais afastados por problemas de saúde, cerca de duzentos e vinte e oito eram profissionais da aviação. Evidencia-se assim, que a execução da atividade aérea, por vezes, acarreta malefícios a saúde humana (Cigerza, 2008).

A partir das premissas propostas, é necessário que o aeronauta seja compensado por exercer a atividade aérea. Destaca-se que, no âmbito do regramento destes profissionais, nomeia-se como compensação orgânica, uma parcela de indenização por exercerem essa atividade, pois reconhece-se o desgaste fisiológico gerado (Bedin, 2015).

A indenização da compensação orgânica visa remir os desgastes decorrentes das variações de altitudes, das acelerações e das variações barométricas, que são danos psicossomáticos consequentes da exposição às variações de desempenho continuado. Também há de se mencionar que as longas viagens de avião, sobretudo as que mudam de fuso horário, geram desordens fisiológicas (Bedin, 2015).

É obrigação do empregador adotar medidas preventivas de segurança e saúde do trabalho, nos termos do art. 483, e art. 157, primeiro e segundo ambos da CLT, que são exigíveis não somente em relação à saúde física do trabalhador. Visto isto, verifica-se a importância de indenizar os aeronautas, devido a sintomas patológicos decorrentes da atividade que exercem (Bedin, 2015).

**5 RISCOS LABORATIVOS**

Os aeronautas, em razão da peculiaridade da atividade profissional que exercem, estão submetidos a condições específicas devido ao ambiente e a organização de trabalho (Bedin, 2015). Estas podem, em médio ou longo prazo, interferir na saúde, e consequentemente, afetar o desempenho profissional na execução das atividades (Moraes, 2001).

Destaca-se que, quando em exercício da profissão, estes profissionais se submetem a uma série de condições adversas, como por exemplo, a vibração, o ruído, a baixa pressão atmosférica, a variação de temperaturas, a transposição de fusos horários, posições desfavoráveis ao repouso, entre outras (Bedin, 2015).

No local de trabalho, ou seja, a aeronave, é possível constatar presença de ruídos, vibrações, pressões anormais, temperaturas, radiações ionizantes e as não ionizantes, frio, calor e umidade. A exposição a estes, em rotina, acarreta doenças ocupacionais. Além do mais, é notada a presença de radiação, bem como ondas eletromagnéticas, que são sentidas principalmente nos voos de maior latitude. (Bedin, 2015). Quanto maior for a altitude ou a latitude, maior será a exposição à radiação (Cigerza, 2008).

Os aeronautas trabalham em diversos níveis de voo, conforme o tempo proposto, o fator clima e modelo do equipamento. Em altitudes superiores a trinta mil pés, a quantidade de radiação é maior a níveis a qual aeronaves não pressurizadas voam. Visto isso, é essencial que os aeronautas sejam observados no que tange a alteração orgânica secundária, que podem ser disfunções neurofisiológicas, hormonais, do sistema hematopoiético, imunológico, mutagênese e cataratogênico, entre outras. Além do mais, quando a radiação entra em contato com os tecidos humanos, é passível que ocorra a morte da célula e alteração do material genético tal qual a mutação, o que pode gerar o câncer ou defeitos anatômicos (Cigerza, 2008).

**6 ATMOSFERA TERRESTRE**

A execução das tarefas dos aeronautas ocorre em um ambiente adverso para o qual estão adaptados. A atmosfera terrestre é composta por diversos elementos gasosos, e atua assim como um filtro das radiações provenientes do sol (Oliveira, 2023), composta pelos gases nitrogênio, oxigênio e argônio, o que totaliza em noventa e 90% de sua composição. Os outros 1 %, são formados por dióxido de carbono, metano, e gases nobres, como ozônio, hélio, xenônio, criptônio.

Outrossim, a partir das observações dos foguetes, os gases estão mesclados em proporção constante até aproximadamente oitenta quilômetros de altura. Os gases de efeito estufa, apesar de serem relativamente raros, desempenham um importante papel para a termodinâmica atmosférica, pois retêm a radiação terrestre de ondas longas, e produzem o efeito estufa. (Barry; Chorley,1999).

Os componentes atmosféricos, variam de acordo com sua altitude. Estas variações ocorrem por conta da localização das fontes dos principais gases não permanentes, como o vapor d'água e o ozônio. Mesmo que ambos, absorvam parte das radiações solares e terrestres, o balanço de calor e a distribuição vertical das temperaturas da atmosfera são afetados em grande quantidade pela distribuição desses gases. Além do mais, é de se esperar que os gases leves se tornem mais abundantes em altas atitudes, porém a mistura turbulenta em grande escala da atmosfera impede essa separação por difusão, mesmo a uma altura de muitas dezenas de quilómetros acima da superfície (Barry; Chorley,1999).

O vapor d'água constitui um volume de 4% da atmosfera, próximo a superfície, porém somente entre três e seis ppmv (partes por milhões em volume) encontram-se acima de dez a doze quilômetros. O vapor na atmosfera é proveniente da evaporação da água superficial, pela transpiração das plantas e é elevado pela turbulência atmosférica (Barry; Chorley,1999).

O ozônio é encontrado em toda a atmosfera terrestre, porém em maior quantidade entre dezesseis e trinta quilômetros de altitude no interior da estratosfera (Dias; Miltão; Andrade-Neto, 2007). As camadas superiores da atmosfera são bombardeadas pela radiação proveniente do sol, que causa a decomposição das moléculas de oxigênio a altitudes de trinta quilômetros. Os átomos, provenientes da decomposição, podem combinar com outras moléculas de oxigênio para criar o ozônio (Barry; Chorley,1999).

Apesar da importância da camada de ozônio para a proteção do planeta terra, é essencial se dar conta de que a atmosfera foi comprimida ao nível do mar, com temperaturas e pressões normais, e o ozônio contribuiria somente em cerca de três milímetros na espessura atmosférica, que possui totalidade de 8 quilômetros (Barry; Chorley,1999).

Desde os finais dos anos 1970, foram detectadas significativas diminuições da camada de ozônio em altas latitudes. Os efeitos da redução do composto atmosférico são de importância significativa, pois permitem que uma maior quantidade de radiação adentre e atinja o planeta, o qual, ocasiona danos biológicos a células vivas e a pele humana (Barry; Chorley,1999).

**7 RADIAÇÃO SOBRE OS AERONAUTAS**

A radiação não foi inventada, e sim descoberta pela comunidade científica (Medeiros; Santos, 2011), e refere-se a emissão e propagação de energia, sob diversas formas, geralmente dividida em grupos corpuscular e eletromagnéticas. Em sua forma natural, luz e calor, é essencial para a manutenção da vida humana. O homem é um organismo sensível à radiação, e sofre diversos efeitos tissulares e genéticos. Desta forma, é viável que ocorra o estudo dos fatores de tal premissa, durante os voos (Temporal, 2005).

O ser humano, os animais e as plantas evoluíram em um ambiente com uma exposição de radiação natural, que, com algumas exceções, não representa um risco significativo à saúde. A quantidade que chega à Terra é proporcional a altitude e a latitude. Porém, na atividade aérea, a dose recebida aumenta significativamente. Em altitudes de cerca de seis mil pés, na linha do equador, a taxa demSv /hora é de 0,54, enquanto na mesma altitude, com coordenadas de oitenta graus norte, a taxa de dosagem é de 1,1 mSv/hora (Temporal, 2005).

Dito isso, pode-se classificar os efeitos que produzem sobre o tecido. Para tal, há duas classificações, a ionizante e a não ionizante. A primeira, possui energia suficiente para retirar elétrons de átomos e moléculas, produzir íons; esta, conhecida no meio científico como radiação cósmica. A segunda, respectivamente, não possui energia suficiente para ionizar os átomos e moléculas com as quais interagem; sendo mais conhecida por radiação ultravioleta (Ruas, 2019).

**8 A RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE E A RADIAÇÃO SOLAR**

A fonte primordial de energia na atmosfera é o sol, que continuamente irradia parte de sua massa ao espaço, ondas eletromagnéticas e partículas com alta potência. A emissão destas, são responsáveis por toda energia que a terra dispõe. A quantidade recebida pelo planeta, é afetada por quatro fatores: a emissão, a distância à Terra, a altura e a duração do dia (Barry; Chorley,1999).

A energia, que tem origem por reações nucleares do interior do núcleo solar, se transmite a superfície solar por radiação e convecção do hidrogênio. A Terra intercepta a radiação eletromagnética quando as partículas energéticas são emitidas pelas chamas solares. Este, se comporta como um corpo negro, que absorve toda a energia recebida e ao mesmo tempo a irradia na taxa máxima possível com uma determinada temperatura (Barry; Chorley,1999).

 A distância modifica-se durante o ano, produz variações de energia que chega à atmosfera terrestre. Por conta da atípica órbita da Terra ao redor do sol, a quantidade recebida sobre uma superfície perpendicular ao raio é cerca de 7% maior no começo de janeiro, durante o periélio, e no começo de julho, no afélio (Barry; Chorley,1999).

A altura também afeta a quantidade de radiação recebida na superfície terrestre. Quanto maior é a altura, maior será a intensidade da radiação na superfície e mais comprido será o caminho do raio solar através da atmosfera, o que aumenta a absorção atmosférica. Outrossim, a altitude define a proporção da radiação refletida pela superfície, particularmente se for um plano aquoso (Barry; Chorley,1999).

A presença de nuvens é outro fator que influencia os níveis de radiação, já que a radiação solar mais intensa está localizada sob elas. Mesmo em condições de céu encoberto, a dispersão pelos componentes atmosféricos, como moléculas de água e outras partículas, pode resultar em níveis elevados de radiação UV. Além disso, a poluição atmosférica, névoas e neblinas têm o potencial de reduzir esses níveis (Ministério da Saúde, 2021).

A duração da luz afeta a quantidade recebida. Quanto mais houver o brilho do sol, maior será o nível de radiância solar na atmosfera terrestre. Na linha do equador, a duração do período diurno é de quase doze horas todos os meses, enquanto nos polos varia entre zero e vinte e quatro horas do inverno ao verão. As regiões polares recebem suas quantidades máximas de radiação solar durante o solstício de verão, que são os períodos com dias contínuos (Barry; Chorley,1999). Desta forma, é evidente que o comportamento e os fatores ambientais exercem significativa influência nos processos biológicos dos aeronautas, como os potenciais danos à saúde causada pela exposição a diferentes níveis de radiação solar, inclusive a partir da radiação ultravioleta. (Dias; Miltão; Andrade-Neto, 2007).

**8.1 Radiação ultravioleta**

A Radiação solar que atinge a superfície do planeta é formada principalmente de infravermelho, luz visível e ultravioleta. Essas várias formas de energia são constituídas de pequenos componentes chamado fótons. A radiação ultravioleta é invisível e possui propriedades físicas semelhantes às da luz, como o da reflexão. O espectro do ultravioleta abrange o comprimento de onda de 100 a 400 nm e divide-se em três faixas, sendo UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm) e UV-C (100-280 nm), (Temporal, 2005).

O UV-A tem o menor efeito agressivo quanto a natureza biológica e alcança a superfície do planeta em grandes quantidades, independente da espessura da camada de ozônio, localizada na estratosfera terrestre. O UV-B é mais lesivo no que tange ao ponto de vista biológico, tendo a maior parte de seus raios, cerca de 90%, absorvido pelo vapor d´água, dióxido de carbono, oxigênio e pelo próprio ozônio da atmosfera. O UV-C tem o maior efeito biológico, sendo o mais danoso aos tecidos, por ter a maior quantidade de energia. Porém, todos os raios desta natureza são absorvidos pelas camadas da Terra. Contudo, a radiação ultravioleta que incide sobre a superfície é composta em grande parte pelo UV-A e uma pequena porção de UV-B (Temporal, 2005).

**8.2 Absorção pela pele**

Os raios UV são recebidos pela epiderme e derme, sendo absorvidos pelos melanócitos, e assim desencadeiam reações nos ácidos desoxirribonucleico (DNA) e ribonucleico (RNA), o que resulta na modificação de suas funções e na estrutura celular. Quando a exposição é prolongada, a absorção é sucessiva, e provoca erros no material genético do tecido (Frazão, 2024).

O UV-C possui o maior índice danoso aos tecidos biológicos. Porém, por enquanto, a camada superior de ozônio o absorve completamente, e isso evita a interação deste tipo de raio a pele humana. A UV- B, por ser um raio que atinge a superfície, é mais lesivo ao ser. Cerca de 70% desses raios são refletidos pela camada córnea da epiderme, 30% conseguem penetrar onde são absortos pelos queratinócitos e melanina, e somente 10%, alcançam a parte superior da derme (Temporal, 2005).

O UV-A é o tipo que mais incide sobre o solo, consequentemente, sendo recebido em maiores quantidades sobre os indivíduos. Mesmo com menos energia, 80% alcançam a derme, 20% atinge a derme profunda. Este, é ocasionado por não ter uma barreira efetiva contra seus efeitos, que não são visíveis imediatamente (Temporal, 2005).

**8.3 Os efeitos da radiação ultravioleta na pele**

As radiações ultravioletas são capazes de induzir várias reações cutâneas indesejáveis, como queimadura solar, envelhecimento cutâneo e o câncer de pele. As áreas do corpo que estão sujeitas a estes danos são as expostas à luz, como a fronte, o lábio inferior, os pavilhões auriculares, pálpebras, o nariz e as áreas periorbitárias. Além destas, áreas desprotegidas pelo desenho do vestuário são muito afetadas (Temporal, 2005). Ressalta-se que, as reações do indivíduo variam fortemente do seu tipo de pele (Ministério da Saúde, 2021).

A queimadura e o bronzeamento são ocasionados pela reação à exposição aos raios solares atribuídos a UV-A e UV-B, apesar de o ultravioleta ‘’A’’ também produzir queimadura e leve pigmentação marcante. A resposta inflamatória cutânea ocorre após algumas horas após a irradiação, com a vasodilatação local, eritema, edema dor e por vezes bolhas. Após, três ou quatro dias há mitose e hiperplasia na epiderme, com lesão das proteínas, do DNA e RNA celulares, que extingue a queimadura aparente e leva ao bronzeamento do tecido (Temporal, 2005).

Os efeitos levam, a longo prazo, a alterações degenerativas da pele, como enrugamento, telangiectasias e ceratose. Lesões com os pápulas e placas amareladas podem correr pela degeneração do colágeno da derme, resultante pelo UV-A e UV-B. A exagerada exposição a UV-B também pode provocar um efeito imunossupressor local por lesões a células de Langherans, que possuem importante função imunológica na pele. Essas possuem receptores que capturam materiais antigênicos externos, ou seja, ao danificá-las há uma redução a resposta imune da pele, que a deixa mais vulnerável a doenças (Temporal, 2005).

As radiações A e B também são responsáveis por cerca de 80% do câncer de pele nos aeronautas. Isso ocorre devido as lesões ao DNA e RNA das células, que geram um crescimento celular desordenado. O câncer de pele é subdivido em duas categorias, sendo o melanoma e não melanoma. O não melanoma, por sua vez, é classificado em carcinomas basais que representa cerca de 75% dos casos, e o carcinoma de células escamosas, com índice de cerca de 20% dos casos. Estes, provenientes de uma exposição acumulativa ao longo da carreira. Diante disso, as incidências destes malefícios para a saúde são proporcionais a faixa etária dos aeronautas (Temporal, 2005).

O carcinoma basal, tem origem nas células basais, localizada na camada mais profunda da epiderme. Esta neoplasia, é de baixa agressividade com crescimento lento e boa perspectiva de cura, quando é detectado de forma prematura (Buhring; Wagner; Silva; Parisi, 2020). O aspecto consiste em um nódulo de bordas irregulares com uma depressão central, de aspecto rosado e crostoso (Temporal, 2005).

O carcinoma espinocelular ou de célula escamosas, constitui maior parte da superfície do tecido, sendo mais presente no sexo masculino. Seu desenvolvimento pode ocorrer em todas as regiões do corpo, mesmo que seja comum apresentar-se em áreas com maior incidência aos raios (Buhring; Wagner; Silva; Parisi, 2020). É mais rara a ocorrência em comparativo ao basocelular, porém, é mais agressivo. Apresenta-se em nódulos firmes com características vermelhas, verrucosas e lisas (Temporal, 2005).

Da neoplasia melanócito, provém o melanoma maligno a pele. Está associado a exposição aguda, curta e intensa que acarreta bolhas no tecido. Habitualmente são pigmentados, e apresentam grande incidência de metástase, e podem atingir as camadas da derme. As lesões desta, são caracterizadas pelo crescimento anormal, e excesso de pigmentação em torno das lesões (Temporal, 2005).

**9 A RADIAÇÃO CÓSMICA**

A radiação cósmica é classificada como ionizante natural proveniente do espaço, ou seja, é considerada uma radiação não evitável (INCA, 2022). Constituída por um espectro de partículas, de ondas eletromagnéticas e ondas de energia são capazes de arrancar um eletro de um átomo. Esta, tem alto poder energético e penetrante, e pode, nas altitudes de voo causar danos biológicos aos tecidos, a curto ou a longo prazo, somáticos ou genéticos (Ruas, 2019). É absorvida pelas camadas atmosféricas e pelo Campo Magnético da Terra, que atuam como uma blindagem a superfície. A dosagem recebida, varia com a latitude e a altitude que o aeronauta esteja, assim como o tempo de permanência em determinado nível (Temporal, 2005).

A interação com a matéria constituinte da atmosfera provê uma relativa proteção contra a incidência a superfície, e parte da premissa que nos altos níveis da atmosfera a blindagem é reduzida. A partir dos 25.000 pés (7.620 m), a dose de exposição dobra a cada 6.000 pés (1.829 m) que subimos. O campo magnético também absorve parte desta, principalmente as de menores energias. A dosagem recebida também aumenta à medida que se afasta da linha do Equador (Ruas, 2019).

**9.1 Limite de exposição máxima a radiação ionizante**

Uma parte substancial da radiação é absorvida ou desviada pela parte superior da atmosfera. Algumas ondas, penetram ao solo e, portanto, fazem parte do ambiente natural (Manual de Medicina de Aviação Civil, 2012). Os efeitos da radiação não dependem somente da dosagem absorvida, mas também do tipo e do tecido que a incorpora. Estes fatores têm que ser levados em consideração para chegar à Dose Equivalente, medida em Sievert (Sv). As doses são medidas em microsieverts (µSv), que é a medição milionésima de um Sievert, mas também, pode ser expressa por milisieverts (mSv) (Temporal, 2005).

Em voo a exposição depende da rota, da altitude e do tipo de aeronave. Em voos supersônicos, que são realizados a elevadas altitudes, a média de dose é de 12 a 15 uSv por hora. Em voos de longo curso, a média é de 5, e em voos com curta duração a média é de 1 a 3 microsieverts por hora (Temporal, 2005).

A Comitê Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), recomenda, para passageiros, um limite de 1 mSv por ano. Isto equivale a cerca de oitenta horas de voo por ano em regime supersônico, no Concorde, e cerca de duzentas horas por ano duzentas horas por ano em voos subsônicos em rotas trans equatoriais. A taxa recebida a bordo em voos subsônicos é menor que em supersônicos, e a dose total num voo transatlântico é de aproximadamente a mesma devido ao maior tempo de exposição (Temporal, 2005).

Segundo o Manual de medicina de aviação civil, a exposição máxima recomendada pela ICRP, para membros individuais do público é de 1 mSv por ano ou, em casos particulares, 5 mSv por cinco anos. Para os trabalhadores expostos à radiação (e, portanto, sob condições especiais vigilância que pode incluir exames de saúde anuais) o limite recomendado é de 100 mSv por cinco anos ou uma média de 20 mSv por ano com um máximo de 50 mSv em qualquer ano. Para trabalhadoras grávidas, o limite recomendado é 1 mSv por ano ou o mesmo para o feto e para qualquer outro membro individual do público em geral.

Na tripulação, a dose anual máxima recomendada é de 4 a 6 mSv. Aquele que atingir 4 mSv deverá ser rigorosamente acompanhado para se assegurar que não ultrapasse 6 milisivierts no ano (Temporal, 2005).

**9.2 Os efeitos da radiação ionizante sobre o organismo humano**

A longa exposição aumenta significamente os danos à saúde (ICPR, 1990). A constituição da radiação ionizante e sua capacidade de causar a perda de um ou mais elétrons de suas órbitas ou até mesmo quebrar seu núcleo quando em contato com o tecido humano, podem causar danos à saúde. Os efeitos podem ser mutações gênicas, quebra de molécula de DNA e a geração de radicais livres (Ruas, 2019). Outrossim, quando atinge o corpo humano, a energia afeta os átomos de cada célula, e pode resultar em câncer (Temporal, 2005).

Os efeitos biológicos radioinduzidos são denominados estocásticos, e aos que se referem a função do valor da dose e a forma de resposta é classificado como determinísticos. Em função ao tempo são designados por tardios ou imediatos. Já em relação aos danos ao organismo, são indicados como somáticos ou genéticos (Ruas, 2019).

O malefício, após a exposição a alta dosagem é chamado efeito determinístico e pode ocorrer logo após a exposição (Ruas, 2019). A consequência deste, é a morte celular, que consequentemente, resulta em alterações degenerativas do tecido exposto. Neste, as lesões variam de acordo com a maior quantidade da dose, ou seja, para que acarrete qualquer dano, é preciso uma grande quantidade (Moreira, 2011).

Se a consequência for dependente da dose, sem a existência de um limiar, é denominado estocástico (Ruas, 2019). Neste, mesmo que a exposição seja insignificante, há o aumento do risco, visto que, são derivados de baixas doses de exposição (Moreira, 2011). Segundo o Manual de Medicina de Aviação Civil (2012), as baixas doses de radiação acarretam um baixo risco, e quanto menor a dose de radiação, maior é o intervalo entre a exposição e o desenvolvimento do câncer.

Os denominados somáticos são aqueles que surgem apenas em pessoas que sofreram a exposição, e que não afetará as gerações futuras. Estes, variam da absorção, da taxa de energia, da região e a área do corpo irradiada. Os genéticos, são resultados dos danos provocados às células e por sua vez, possuem caráter cumulativo e independe da taxa de absorção (Ruas, 2019).

Os efeitos imediatos podem ocorrer após horas e até semanas, caso a exposição tenha sido elevada. Por sua vez, os efeitos tardios, aparecem após um longo período. Neste, podem ser exemplificados o câncer de diversos tipos. Entretanto, a pele por ser a área mais impactada, pode desenvolver melanoma precocemente (Ruas, 2019).

A partir de tais premissas, é evidente que esta problemática pode provocar diversos problemas ao corpo humano. Porém, a exposição constante a tal, não implica afirmar que, definitivamente, o indivíduo terá câncer de pele, e sim, um aumento na probabilidade da ocorrência. Desta forma, a exposição ocupacional acarreta um risco adicional à saúde dos tripulantes, e é imprescindível a discussão e a preocupação em relação a todos envolvidos com a atividade aeronáutica (Ruas, 2019).

**10 NORMAS BRASILEIRAS REFERENTES AOS TRIPULANTES E A RADIAÇÃO**

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), órgão responsável pela regulamentação da aviação civil brasileira, não normatizou ou publicou informações a respeito da exposição dos aeronautas brasileiros às radiações ionizantes e não ionizantes, embora, adote os padrões e regulamentações da Federal Aviation Administration (FAA). O avanço das pesquisas resultou em debates e projetos, como o intitulado Efeitos das Radiações Ionizantes em Sistemas Aeronáuticos (ERISA), com vistas a promover estudos acerca do tema (Ruas, 2019).

O projeto ERISA, executado pelo Comando da Aeronáutica, juntamente com outros órgãos empenhados no estudo dos efeitos da radiação ionizante, permitiu a ampliação dos conhecimentos de tal em altitudes típicas da aviação e seus efeitos. Isso, resultou na geração de dados para o desenvolvimento de requisitos de operação em segurança, a partir da armazenagem dos dados em memória embarcada (Ruas, 2019).

No entanto, o único órgão que normatizou o tema foi a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), que possui o intuito de regular, licenciar e fiscalizar a produção e o uso da energia nuclear no Brasil, além de atuar na proteção radiológica da população (CNEN, 2021). Embora as diretrizes das normas da Comissão não mencionem explicitamente os aeronautas, também não são excluídos, o que possibilita a interpretação de que os tripulantes brasileiros são protegidos por este único documento (Ruas, 2019).

**11 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A partir de tais informações, pode-se concluir que a exposição à radiação, tanto ionizante quanto não ionizante, representa um perigo a saúde do aeronauta. Aeronaves cada vez mais tecnológicas com maior alcance e performance, capazes de navegar em elevados níveis de voo, tornaram-se fatores contribuintes para tal malefício, visto que, a dosagem é potencializada por maiores etapas de voo, horários de elevados índices, altas altitudes, e latitudes voadas.

Portanto, a conscientização da comunidade aeronáutica no que diz respeito a todos os malefícios ao tecido humano, ocasionados pela atividade aérea, devem ser amplamente informados e debatidos com os tripulantes das aeronaves, dado que, os riscos podem envolver lesões, degenerações e diversas classes de câncer de pele, o e assim, prejudicar a saúde e a qualidade de vida.

No Brasil, mesmo com estudos sendo desenvolvidos, há uma carência legislativa sobre o assunto. É imprescindível que a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), Comando da Aeronáutica (COMAER) e demais órgãos responsáveis pela aviação brasileira, juntamente com a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), desenvolvam regulamentos para legislar a exposição máxima dos aeronautas, da aviação comercial e executiva, e que informem sobre os riscos ocupacionais da execução das atividades. Também é fundamental que os exames para o Certificado Médico Aeronáutico (CMA), avaliem a dosagem do paciente, já que, é realizado anualmente.

A exposição à radiação no contexto aéreo é inescapável. Contudo, sua mitigação é possível, embora limitada. Isso implica em voar em altitudes mais baixas, escolher rotas menos expostas, limitar o tempo de voo ao longo da carreira e, em alguns casos, antecipar a aposentadoria. No entanto, essas medidas tornam-se impraticáveis para os profissionais da aviação. Além disso, discute-se a possibilidade de blindagem das aeronaves, porém, sua implementação é inviável devido ao aumento de peso, consequente aumento do consumo de combustível e redução da capacidade de carga.

Assim, ao promover a conscientização dos aeronautas sobre os danos decorrentes da exposição prolongada, sugere-se aprimorar o monitoramento e contribuir para a mitigação desse problema. Isso os encorajaria a adotar medidas preventivas sempre que possível, como voar durante o período noturno, usar protetores solares e vestimentas adequadas para proteger as áreas vulneráveis do corpo, e manter-se em altitudes mais baixas, para desta forma reduzir a exposição à radiação ionizante e não ionizante durante o voo.

**REFERÊNCIAS**

BARRY, Roger G; CHORLEY, Richard J. **Atmósfera, tiempo y clima.** 7. ed. Barcelona: Editora Omega, 1999.

BEDIN, Bruna Balestieri. **O direito do aeronauta sob o enfoque trabalhista.** Rio de Janeiro: Barra Livros, 2015.

BRASIL. **Lei nº 13.475, de 28 de agosto de 2017.** Dispõe sobre o exercício da

profissão de tripulante de aeronave, denominado aeronauta; e revoga a Lei no

7.183, de 5 de abril de 1984. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13475.htm>. Acesso em:

02 mai. 2024.

BUHRING, Cristina Alessandra Zachow; WAGNER, Luana Schayene; DA SILVA, Isadora Kottwitz; PARISI, Mariana Migliorini. Subtipos de câncer de pele e os impactos dos fatores de risco. **Revista Interdisciplinar de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v.8, 2020. Pág. 244. Disponível em: [https://scholar.archive.org/work/qf7ozkyhrfa5thbvzizqzhii3e/access/wayback/https://revistaeletronica.unicruz.edu.br/index.php/revint/article/download/348/276](https://scholar.archive.org/work/qf7ozkyhrfa5thbvzizqzhii3e/access/wayback/https%3A//revistaeletronica.unicruz.edu.br/index.php/revint/article/download/348/276). Acesso em: 14 abr. 2024.

CIGERZA, Juliana. **Aeronautas:** aspectos jurídicos-trabalhistas da profissão e consequências na saúde. São Paulo: LTr, 2008.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Glossário do setor nuclear e radiológico brasileiro.** Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/acesso-rapido/normas/glossario/glossario-do-setor-nuclear-e-radiologico-brasileiro.pdf> Acesso em: 02 jun. 2024.

DIAS, Anderson Alberto C.; MILTÃO, Milton Souza Ribeiro; ANDRADE-NETO, Antônio Vieira. A atmosfera terrestre: composição e estrutura. **Caderno de Física da UEFS,** Feira de Santana, p. 21-40, 2007.

FACHEL DE MEDEIROS, Rogério.; TEIXEIRA DOS SANTOS, Flávia M. **Introdução à Física das Radiações.** Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2011.

FRAZÃO, Luiz Felipe Neves**.** Resultâncias fisiobiológicas da radiação ultravioleta e suas funções na carcinogênese de pele**. Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences,** v.6, n.1, p. 833-82, 2024.

FRIEDBERG, W.; COPELAND, K. **What Aircrews Should Know About Their Occupational Exposure to Ionizing Radiation Galactic Cosmic Radiation Energetic Solar- Particle Radiation**. 2003. Disponível em: <https://www.nrc.gov/docs/ML1004/ML100481076.pdf>. Acesso em: 03 mai. 2024.

INTERNACIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Manual of civil aviation medicine.** DOC8984. 3. ed. 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (INCA). **Ambiente, trabalho e câncer: aspectos epidemiológicos, toxicológicos e regulatórios.** Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/sites/ufu.sti.inca.local/files//media/document//ambiente_trabalho_e_cancer_-_aspectos_epidemiologicos_toxicologicos_e_regulatorios.pdf> Acesso em: 24 jun. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER - INCA. **Exposição à radiação**. 2022. Disponível em: [https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/causas-e-prevenção-do-câncer/exposição-a-radiação/](https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/causas-e-preven%EF%BF%BD%EF%BF%BDo-do-c%EF%BF%BDncer/exposi%EF%BF%BD%EF%BF%BDo-a-radia%EF%BF%BD%EF%BF%BDo/). Acesso em: 5 mai 2024.

MONTEIRO, Raul Francé. **Aviação:** construindo sua história.Goiânia: Editora da UCG, 2002.

MORAES, Maria Suzana de. **Proposta para o monitoramento da saúde de aeronautas por meio de indicadores bioquímicos e hematológicos**. Orientador: Ubirajara Aluízio de Oliveira Mattos2001. 182 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/4793> Acesso em: 25 mai. 2024.

MOREIRA, João Vítor de Almeida. **Radiobiologia**: efeito das radiações ionizantes na célula-e formas de protecção das radiações ionizantes**.** Orientador: Abel Sangueiro, 2011. Tese (Mestrado em Medicina) Faculdade de Medicina, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal.

OLIVEIRA, Mikael Cavalari de. Exposição Eritematosa**: Efeitos da radiação ultravioleta no tecido epitelial humano.** Orientador Adamo Ferreira Gomes do Monte, 2023. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física Médica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023. Disponível em: [https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/37875/1/Exposi%c3%a7%c3%a3oEritematosaEfeitos.pdf](https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/37875/1/Exposi%C3%A7%C3%A3oEritematosaEfeitos.pdf). Acesso em 18 mai. 2024.

RUAS, Amilton Camilo. **O tripulante de aeronaves e a radiação ionizante.** 2. ed. São Paulo: Edição do Autor, 2019.

TEMPORAL, Waldo. **Medicina aeroespacial.** Rio de Janeiro: Luzes-Comunicação, Arte & Cultura, 2005.