

AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL AO RUÍDO, CALOR E RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA EM OPERAÇÕES AÉREAS COM HELICÓPTEROS

Tobias Procópio Martins Torres¹   
Luciana de Melo Gomides²   

¹ Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais

² Universidade Federal de Itajubá



RESUMO

O presente artigo científico tem como objetivo avaliar os níveis de exposição ocupacional ao ruído, calor e aos campos eletromagnéticos a que estão submetidos os pilotos de helicóptero do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG) da 3ª Companhia de Operações Aéreas (3ª CEOA) em Montes Claros, durante as operações aéreas. Trata-se de um estudo observacional de campo, de caráter descritivo e quantitativo. O delineamento adotado baseou-se na mensuração direta das exposições ocupacionais dentro da cabine do helicóptero de matrícula PP-SAV, durante operações de voo, sem interferência nas rotinas operacionais da Unidade. A análise foi realizada de acordo com as normas nacionais e internacionais de segurança ocupacional, bem como base em estudos científicos relevantes. Os resultados indicaram que o ruído constitui o principal fator de risco ocupacional no ambiente analisado, apresentando níveis superiores aos limites estabelecidos para exposição ocupacional. Quanto ao calor e à radiação eletromagnética, as exposições permaneceram abaixo dos limites normativos relacionados à proteção da saúde. Ainda assim, os valores observados para o calor ultrapassaram níveis compatíveis com o conforto, aspecto que pode influenciar a segurança nas operações aéreas. Como sugestões, o estudo recomenda a implementação de políticas de monitoramento contínuo das condições de trabalho, medidas de controle térmico efetivas, pausas mais frequentes, hidratação, equipamentos de climatização do ambiente mais eficientes e destaca a importância de avaliar a exposição combinada a múltiplos agentes físicos em ambientes aeronáuticos em pesquisas futuras.

Palavras-chave: saúde do trabalhador; aviação de emergência; ruído; calor; radiação eletromagnética.

ASSESSMENT OF OCCUPATIONAL EXPOSURE TO NOISE, HEAT, AND ELECTROMAGNETIC RADIATION DURING HELICOPTER AIR OPERATIONS

ABSTRACT

The present scientific article aims to assess the levels of occupational exposure to noise, heat, and electromagnetic fields experienced by helicopter pilots of the Minas Gerais Fire Department (CBMMG), assigned to the 3rd Special Air Operations Company (3rd CEOA), in Montes Claros, during air operations. This is a descriptive, quantitative, observational field study. The research design was based on direct measurement of occupational exposures inside the cabin of the helicopter registered as PP-SAV during flight operations, without interfering with the operational routines of the unit. The analysis was conducted in accordance with national and international occupational safety standards, as well as relevant scientific studies. The results indicated that noise was the primary occupational hazard in the environment analyzed, with exposure levels exceeding the established occupational exposure limits. Regarding heat and electromagnetic radiation, exposure levels remained below the regulatory limits established for health protection. Nevertheless, the heat levels observed exceeded those considered compatible with thermal comfort, which may affect safety during air operations. The study recommends the implementation of continuous monitoring policies for working conditions, effective thermal control measures, more frequent breaks, adequate hydration, and more efficient environmental climate-control systems. It also highlights the importance of assessing combined exposure to multiple physical agents in aeronautical environments in future research.

Keywords: occupational health; emergency aviation; noise; heat; electromagnetics radiation.

Recebido: 09/12/2025 | Aceito: 07/07/2026 | Publicado: 20/08/2026



1 INTRODUÇÃO

O ambiente operacional dos pilotos de helicóptero, especialmente durante missões de resgate e transporte de vítimas, é caracterizado por condições ocupacionais complexas, bem como pela exposição simultânea a múltiplos fatores de risco ambientais. Durante operações de voo, esses profissionais podem estar expostos a níveis elevados de ruído, calor, radiações eletromagnéticas provenientes de sistemas de comunicação e navegação. Esses fatores estão associados a efeitos prejudiciais à saúde (Azevedo; Boff, 2018; Lee *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2020). Em situações que exigem decisões rápidas e precisas, essas exposições também podem prejudicar o desempenho dos pilotos, comprometendo diretamente a segurança das operações (Lin, 2020; Flouris *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2020).

No contexto ocupacional, a exposição a fatores de risco ambientais, acima de determinados limites, é considerada insalubre. Níveis elevados de ruído estão relacionados à ocorrência de cefaleia, hiperacusia, zumbido, fadiga mental, alterações cardiovasculares e perda auditiva (Falcão *et al.*, 2014; Melo; Neto, 2012). O estresse térmico, por sua vez, pode reduzir o desempenho humano nas atividades e o bem-estar físico (Flouris *et al.*, 2018; Gostimirovic *et al.*, 2020; Habibi *et al.*, 2022). De forma semelhante, há evidências de que a exposição a campos eletromagnéticos provenientes de sistemas de comunicação e navegação pode estar associada a efeitos fisiológicos e neurológicos (Samaila; Sagagi; Tampul, 2023; Stam, 2021). Além dos efeitos diretos à saúde, essas exposições podem comprometer funções cognitivas, elevando o risco de acidentes durante as operações (Akhavan; Hasanlifar; Abolghasemi, 2025).

Embora avaliações de fatores de risco no ambiente aeronáutico sejam amplamente documentadas na literatura, estudos voltados a pilotos de helicóptero no Brasil são escassos. As condições de exposição ocupacional na aviação variam conforme fatores ambientais e operacionais. A carga térmica no interior da aeronave, por exemplo, pode apresentar diferenças entre países em função das características climáticas regionais, com predomínio de temperaturas elevadas e menor variabilidade ao longo do ano em regiões tropicais, em contraste com regiões de clima temperado ou frio, onde há maior variabilidade sazonal, incluindo episódios de frio extremo (Svendsen; Lund-Kordahl; Fredriksen, 2020). Ademais, a maioria dos estudos avalia

fatores de risco de forma isolada e em condições simuladas (Shibasaki *et al.*, 2017; Michałowska *et al.*, 2021). Essa abordagem pode limitar a compreensão das condições reais de trabalho, uma vez que as operações de voo envolvem cenários dinâmicos e variáveis, nos quais múltiplos fatores de risco ocorrem simultaneamente. Dessa forma, a complexidade dessas condições limita sua reprodução em ambientes simulados e reforça a importância de medições em condições reais de operação (Golmohammadi; Darvishi, 2019).

No Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG), as operações aéreas têm se expandido nos últimos anos, impulsionadas pelo aumento da demanda por missões de resgate, transporte aeromédico, combate a incêndios florestais e atendimento a desastres (Minas Gerais, 2023a). Essas atividades envolvem exposição simultânea a diferentes fatores de risco físicos e ergonômicos, aos quais se somam elevados níveis de estresse fisiológico e psicológico inerentes à própria atividade de pilotagem (Sibley, 2005; Melo; Neto, 2012). Estudos anteriores realizados com tripulações do CBMMG demonstraram que a exposição à vibração de corpo inteiro (VCI) pode ultrapassar os limites de tolerância recomendados (Silva *et al.*, 2020). Os efeitos da VCI, assim como de outros fatores de risco ambiental, são cumulativos e manifestam-se de forma silenciosa ao longo do tempo (Brammer; Scholz, 2023). Portanto, torna-se relevante investigar se outros fatores presentes em operações com helicópteros atingem níveis potencialmente prejudiciais à saúde e à segurança dos pilotos.

Assim, este estudo buscou responder às seguintes questões de pesquisa: os níveis de exposição ocupacional ao ruído, calor e campos eletromagnéticos no interior da cabine dos helicópteros do CBMMG durante missões reais de transporte de vítimas e pacientes atendem aos critérios técnicos e normativos aplicáveis? As exposições a esses fatores de risco indicam condições potencialmente desfavoráveis à saúde e à segurança dos pilotos? Para responder essas questões, este estudo teve como objetivo avaliar os níveis de exposição ocupacional ao ruído, calor e campos eletromagnéticos nos helicópteros da 3ª Companhia de Operações Aéreas (3ª CEOA) do CBMMG durante operações reais de voo, comparando os valores medidos aos critérios normativos de proteção e conforto, com vistas a identificar riscos de agravo à saúde e à segurança operacional.

2 METODOLOGIA

2.1 Delineamento do estudo

Trata-se de um estudo observacional de campo, de caráter descritivo e quantitativo na 3ª CEOA do CBMMG, localizada no município de Montes Claros, Minas Gerais. O delineamento adotado baseou-se na mensuração direta das exposições ocupacionais dentro da cabine do helicóptero de matrícula PP-SAV, denominado Arcanjo 06, durante operações de voo, sem interferência nas rotinas operacionais da Unidade.

As medições foram planejadas para caracterizar a exposição ocupacional em condições representativas da rotina operacional da Unidade, conforme os princípios de avaliação e gerenciamento de exposições ocupacionais propostos pela American Industrial Hygiene Association (AIHA) (2015). Foram incluídas no estudo as avaliações que atenderam aos seguintes critérios: (i) realização em operações reais de transporte aeromédico ou deslocamentos operacionais associados; (ii) possibilidade de instalação segura dos equipamentos de medição sem interferência nas atividades críticas da tripulação; (iii) realização da coleta na fase de ida e/ou retorno da missão; e (iv) registro completo e tecnicamente válido dos dados durante todo o intervalo monitorado.

Foram excluídas as medições com falhas técnicas, que resultaram em dados incompletos ou interrompidos; prejudicadas por deslocamento, queda ou perda de posicionamento do instrumento durante a operação; ou aquelas obtidas em condições que comprometessem a comparabilidade mínima entre os registros.

Para verificar se o tempo de exposição monitorado nas coletas era compatível com a rotina operacional da unidade, foram analisados registros institucionais de 2023, que indicaram 419 horas de voo distribuídas ao longo de 284 dias (média aproximada de 1,5 horas de voo por dia). A Unidade opera com três pilotos em regime de rodízio, com jornadas aproximadas de 12 horas; entretanto, durante o período de coleta, as medições foram realizadas com um piloto participante.

Este estudo consistiu na avaliação ambiental de fatores físicos no interior da cabine da aeronave sem coleta de dados pessoais, informações identificáveis ou intervenções sobre indivíduos. Assim, não se caracteriza como pesquisa envolvendo

seres humanos, nos termos da Lei nº 14.874/2024, regulamentada pelo Decreto nº 12.651/2025, bem como das disposições da Resolução CNS nº 466/2012, não sendo aplicável a submissão e apreciação ética pelo Sistema CEP/CONEP (Brasil, 2012, 2024, 2025).

2.2 Procedimento de coleta de dados

As avaliações da exposição ocupacional foram realizadas durante o mês de julho de 2024. As medições térmicas foram complementadas com amostragem em setembro 2024, visando incluir condições ambientais com temperaturas mais elevadas e reduzir a possibilidade de subestimação da carga térmica.

Os equipamentos foram instalados no helicóptero no início da jornada de trabalho e monitoraram continuamente todas as etapas dos voos, incluindo decolagem, cruzeiro e pouso. As operações foram realizadas a bordo de um helicóptero monomotor modelo H125 (AS350 B3), matrícula PP-SAV. Para as medições foram usados equipamentos e softwares pertencentes aos laboratórios da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), campus Itabira, e da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), campus Montes Claros.

2.2.1 Avaliação da exposição ao ruído

A avaliação do ruído ocupacional foi conduzida de acordo com as Normas Brasileiras de Higiene Ocupacional (NHOs) da Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (Fundacentro, 2001) e do Ministério do Trabalho e Emprego (Brasil, 2022). As medições foram realizadas utilizando dosímetro da marca Criffer modelo Sonus 2. O equipamento foi configurado para operar na escala de ponderação A, em modo de resposta lenta (*slow*), com um fator de duplicação de dose (*q*) igual a 5, conforme as diretrizes estabelecidas pela Norma Regulamentadora (NR) 15 (Brasil, 2022).

O dosímetro foi posicionado no banco, na lateral do encosto da cabeça do piloto, bem próximo à zona auditiva, para assegurar a captação dos níveis de exposição ao ruído durante o voo. Antes e após cada sessão de medição, foi realizada a calibração do equipamento utilizando calibrador acústico CR2 Plus, operando em

níveis nominais de 94 dB e 114 dB na frequência de 1000 Hz, conforme recomendado pela NHO 01 (Fundacentro, 2001).

Os níveis de exposição ao ruído foram registrados continuamente durante as missões. Os parâmetros analisados incluíram o nível de exposição (NE), o valor máximo registrado e o perfil temporal da exposição ao longo do voo, obtidos por meio do software Sonus 2 Plus.

Para fins de comparação com os limites ocupacionais estabelecidos pela NR 15 (Brasil, 2022), foi calculado o Nível de Exposição Normalizado (NEN), ajustado para uma jornada padrão de 8 horas, utilizando a equação proposta pela NHO 01 (Fundacentro, 2001), onde T corresponde ao tempo de medição em minutos (Eq.1):

$$NEN = NE + 10 \log \left(\frac{T}{480} \right) [\text{dB(A)}] \text{ (Eq.1)}$$

Para análise de exposição ao ruído, também foi avaliada a atenuação proporcionada pelos equipamentos de proteção auditiva utilizados pelo piloto, um *headset* aeronáutico Bose A20. Esse equipamento combina atenuação passiva e sistema de redução ativa de ruído, *Active Noise Reduction* (ANR). As doses de exposição foram calculadas utilizando os critérios da NR15 através da equação 2, em que T é o tempo de exposição em minutos e NE o valor obtido da equação 1 para cada voo analisado..

$$D = \frac{T}{480} \times 100 \times 2^{\frac{(85-NE)}{5}} \text{ (Eq.2)}$$

A estimativa da exposição protegida foi realizada a partir do cálculo do Nível Efetivo de Exposição Protegida (NEP), considerando valores de Nível de Redução de Ruído (NRR) no percentil 90 reportados pelo *National Institute for Occupational Safety and Health* (Franks; Sherris; Themann, 1994). Foram considerados valores de 10,57 dB(A) para atenuação passiva e 23,12 dB(A) para atenuação ativa (Murphy, 2015). A partir desses valores, foram estimados dois cenários de exposição protegida, NEP1 e NEP2, obtidos pela subtração do NRR do NE obtido para cada voo. Após o cálculo do NEP os valores de NEN-1 e NEN-2 foram calculados para comparação com critérios normativos de proteção a saúde auditiva (NR15). Todos os valores NEN foram

comparados com o limite considerado para conforto auditivo de 55dB(A) para as atividades que requerem alta concentração, conforme recomendado pela norma ABNT NBR 10152 (Berglund; Lindvall; Schwela, 2000; ABNT,2017).

2.2.2 Calor

A avaliação da exposição ao calor foi realizada em duas etapas, sendo a primeira a avaliação de estresse térmico e a segunda pelo conforto térmico. A avaliação do estresse térmico foi realizada com base nos requisitos da ISO 7243:2017, que estabelece uma metodologia padronizada para a avaliação do estresse térmico em ambientes de trabalho quentes (ISO, 2017). O índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG) foi utilizado para medir a exposição térmica no interior do helicóptero. As medições foram realizadas com um medidor de estresse térmico Akso, modelo AK 887 (Figura 1), posicionado próximo ao ombro do piloto, de forma a representar as condições térmicas experimentadas durante a operação (Figura 1). Para obtenção do IBUTG foram registrados parâmetros de temperatura de bulbo seco (Tbs), temperatura de bulbo úmido (Tbu), temperatura de globo (Tg) e umidade relativa do ar (UR%). As avaliações foram realizadas em seis voos com duração média de uma hora, entre 12h e 18h, sob céu aberto, com coletas de dados a cada dois minutos, desde a decolagem até o pouso, a uma altitude de cruzeiro de 5500 pés. O valor médio de exposição térmica foi calculado utilizando médias ponderadas dos parâmetros medidos.

Figura 1 – Posição do medidor de estresse térmico



Fonte: elaboração própria.

O cálculo do IBUTG considerou os efeitos combinados da radiação térmica, evaporação e convecção. Para a interpretação dos resultados foi considerada uma taxa metabólica média de 125 W, correspondente a atividade leve durante o voo (Hunt, 2018). De acordo com a ISO 7243 (2017), para essa taxa metabólica o limite de tolerância corresponde a um IBUTG de 29 °C.

Para a etapa de conforto térmico, utilizou-se o *Fighter Index of Thermal Stress* (FITS), um índice desenvolvido pela Força Aérea Americana (Schminder; Gardhagen, 2018). Esse índice combina a temperatura de bulbo seco (Tbs) e a temperatura de bulbo úmido (Tbu) para estimar o risco de possíveis impactos no desempenho de pilotos. O FITS foi calculado conforme a Equação 3:

$$\text{FITS} = 0.83 * \text{Tbu} + 0.35 * \text{Tbs} + 5.08 \text{ (Eq. 3)}$$

Os valores de FITS obtidos foram interpretados de acordo com os seguintes critérios estabelecidos por Schminder; Gardhagen (2018): conforto térmico ($\text{FITS} < 32$ °C), zona de cautela ($32 \text{ °C} \leq \text{FITS} < 38 \text{ °C}$), associada ao comprometimento do desempenho, e zona de perigo ($\text{FITS} > 38 \text{ °C}$), associada ao aumento do risco de desidratação e insolação.

2.2.3 Radiações eletromagnéticas

A exposição a campos eletromagnéticos (EM) na cabine foi avaliada com base nos requisitos técnicos estabelecidos pelo Ato nº 17.865 de 2023, que regulamenta os limites de exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de radiofrequências de 8,3 kHz a 300 GHz (Brasil, 2023).

As medições foram realizadas utilizando um medidor digital de campo eletromagnético triaxial, modelo 480846 da marca Extech Instruments. Esse instrumento foi capaz de realizar medições simultâneas nos eixos X, Y e Z, garantindo a isotropia das medições. O aparelho registra a intensidade do campo elétrico (E), campo magnético (H) e densidade de potência (S).

Figura 2 – Posição do medidor de campo eletromagnético na cabine

Fonte: elaboração própria.

As medições foram realizadas utilizando o valor *Root Mean Square* (RMS), que representa o valor médio eficaz de um campo variável. A exposição do piloto foi avaliada em dois cenários: (1) durante operações reais de voo em missões de transporte vítimas/pacientes e (2) em testes no solo para análise dos sistemas de comunicação. O equipamento foi posicionado dentro da cabine, entre o piloto e o painel de controle, para capturar de maneira eficiente as emissões provenientes de sistemas de comunicação, radar e outros equipamentos eletrônicos instalados no helicóptero (Figura 2).

As medições contínuas foram realizadas durante períodos de voo com duração mínima de 30 minutos por sessão de medição, conforme recomendação da resolução. Os resultados das medições foram comparados aos limites de exposição ocupacional utilizando os limites mais restritivos da faixa de frequências medida: 61 V/m para o campo elétrico, 0,16 A/m para o campo magnético e 50 W/m² para a densidade de potência (Brasil, 2023). Não há limite de conforto estabelecido para esse fator de risco.

2.3 Análise de dados

Os dados obtidos nas medições foram inicialmente organizados e analisados por meio de estatística descritiva, incluindo valores médios, máximos e mínimos de exposição observados durante os voos monitorados (AIHA, 2015). Após análise de

limites legais, os valores observados foram interpretados à luz da literatura científica sobre exposição ocupacional a ruído, calor e campos eletromagnéticos em ambientes aeronáuticos.

3 RESULTADOS

3.1 Resultados da avaliação de ruído

As exposições ao ruído foram avaliadas em quatro voos distintos durante o mês de julho de 2024, contemplando operações realizadas pela manhã e tarde. Os voos analisados foram trajetos de ida e volta do helicóptero de cada operação. Os resultados indicam que os NE durante os voos foram superiores a 100 dB(A). O maior valor foi registrado no voo 2, com NE de 102,11 dB(A) (Tabela 1).

Os valores de Nível de Exposição Normalizado (NEN), calculados para equivalência a uma jornada de 8 horas variaram de 90,06 a 92,78 dB(A). Esses valores permaneceram acima do limite de 85 dB(A), valor estabelecido no Anexo 1 da NR-15 como critério de referência para prevenção de agravos decorrentes da exposição ocupacional ao ruído contínuo ou intermitente, em todos os voos considerados.

Tabela 1 – Nível equivalente e dose de ruído na cabine do helicóptero

Voo	Data	Horário de início [h:min]	Duração do voo [min]	NE [dB(A)]	Dose [%]	NEN [dB(A)]	Máx [dB(A)]
1	17/07/24	11: 35	61	101,22	120,40	92,26	104,71
2	17/07/24	13:55	56	102,11	125,04	92,78	104,68
3	27/07/24	10:20	47	101,28	93,54	91,19	104,55
4	27/07/24	11:33	44	100,44	77,95	90,06	104,96

Fonte: elaboração própria.

A utilização dos fones aeronáuticos com atenuação passiva proporcionou uma redução dos valores de NEN para valores inferiores a 85dB(A) para todos os voos. Quando considerada apenas a proteção passiva do equipamento de proteção individual, os valores de NEN-1 variaram entre 79,49 e 82,21dB(A), com doses entre 18,00% e 28,89% do limite para NE. A proteção ativa ofereceu uma contribuição

adicional para a atenuação do ruído, resultando em níveis de exposição abaixo de 70 dB(A). O menor nível de exposição protegido foi registrado no voo 4, com NEN-2 de 66,94 dB(A), correspondente a apenas 3,16% da dose diária limite para NE. Entretanto, todos os resultados dos valores atenuados estão acima do valor limite de 55dB(A) considerado para atividades relacionadas ao conforto auditivo em ambientes em que as atividades requerem alta concentração (Tabela 2).

Tabela 2 – Nível efetivo da exposição protegida do ruído na cabine do helicóptero

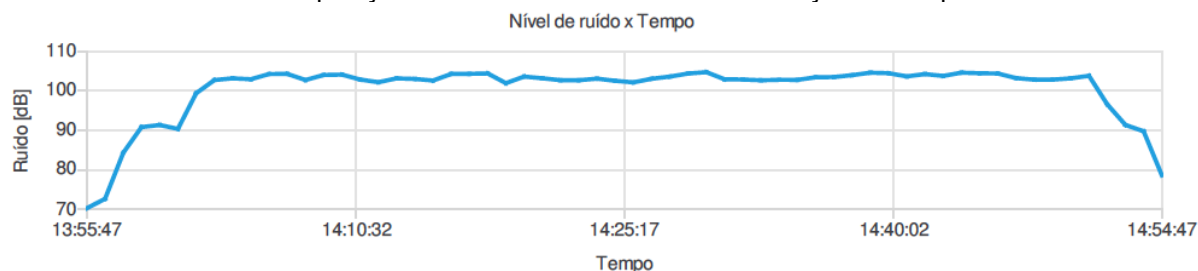
Voo	Data	Horário de início [h:min]	Duração do voo [min]	NEP 1 [dB(A)]	Dose1 [%]	NEN 1 [dB(A)]	NEP 2 [dB(A)]	Dose2 [%]	NEN 2 [dB(A)]
1	17/07/24	11:35	61	90,65	27,81	81,69	78,10	4,88	69,14
2	17/07/24	13:55	56	91,54	28,89	82,21	78,99	5,07	69,66
3	27/07/24	10:20	47	90,71	21,61	80,62	78,16	3,79	68,07
4	27/07/24	11:33	44	89,87	18,00	79,49	77,32	3,16	66,94

Fonte: elaboração própria.

Nota: NEP1: Nível Efetivo de Exposição Protegida apenas com componente passivo
NEP2: Nível Efetivo de Exposição Protegida com inserção do componente ativo

O perfil temporal das medições evidenciou um padrão consistente de variação dos níveis de ruído ao longo das diferentes fases do voo. Conforme o Gráfico 1, observou-se um aumento gradual nos níveis de ruído, que coincide com as fases de acionamento do motor e o início do voo. Durante a fase de cruzeiro, o gráfico mostra uma tendência de estabilização, com níveis de ruído próximos a 100 dB(A). O perfil constante refletiu um período de operação contínua, onde o ruído é predominantemente gerado pelo funcionamento constante das turbinas e pela aerodinâmica da aeronave. Ao se aproximar do final do voo, os níveis de ruído começaram a diminuir, seguindo uma curva descendente que correspondeu ao corte dos motores após o pouso. Esse comportamento foi semelhante ao observado nos demais voos monitorados.

Gráfico 1 – Gráfico da exposição de ruído dentro da cabine em função do tempo referente ao voo 2



Fonte: Relatório dosimetria de ruído SONUS 2 SN 032001046.

De acordo com registros operacionais da unidade referentes ao ano de 2023, os pilotos realizaram em média aproximadamente 1,5 horas de voo por dia. Níveis de 100 dB(A) permitem tempo máximo de exposição de 60 minutos para os critérios de proteção à saúde.

3.2 Resultados da avaliação de calor

A avaliação da exposição térmica foi realizada durante seis voos, com medições simultâneas de temperatura e umidade dentro da cabine. A umidade relativa do ar (UR) variou de 21,7% a 45,7%, apresentando uma média de 32,6%. Tbs apresentou variação entre 27°C e 36,9°C, enquanto Tg, parâmetro que representa a quantidade de calor radiante incidente sobre o piloto, variou de 26,9°C a 38,6°C (Tabela 3).

Tabela 3 – Dados de exposição térmica e ambiental durante operações de voo

Voo	Data	Horário partida (h:min)	Duração do voo (Min)	UR (%)	Tbs (°C)	Tg (°C)	Tbu (°C)	IBUTG (°C)	FITS (°C)
1	29/07/24	13:04	46	37,1	30	30	20	23	32,3
2	30/07/24	15:30	44	31,6	28,9	30,4	18,3	21,8	30,5
3	30/07/24	16:45	52	34,5	27	26,9	17,5	20,3	29,1
4	31/07/24	12:17	61	45,7	27,3	28	19,3	21,8	30,8
5	01/09/24	15:54	46	24,9	32,5	32,7	19,9	23,7	33,1
6	03/09/24	15:44	43	21,7	36,9	38,6	22,2	26,9	36,6

Fonte: elaboração própria.

Nota: UR = Umidade relativa; Tbs = temperatura de bulbo seco; Tbu = temperatura de bulbo úmido

O IBUTG, utilizado para avaliar o estresse térmico, variou entre 20,3°C e 26,9°C, com média de 22,9°C. O valor máximo de 26,9°C foi registrado no voo de número 6, permanecendo abaixo do limite normativo de 29°C considerado para taxa metabólica de 125 W. Por outro lado, o índice FITS, que avalia o conforto térmico,

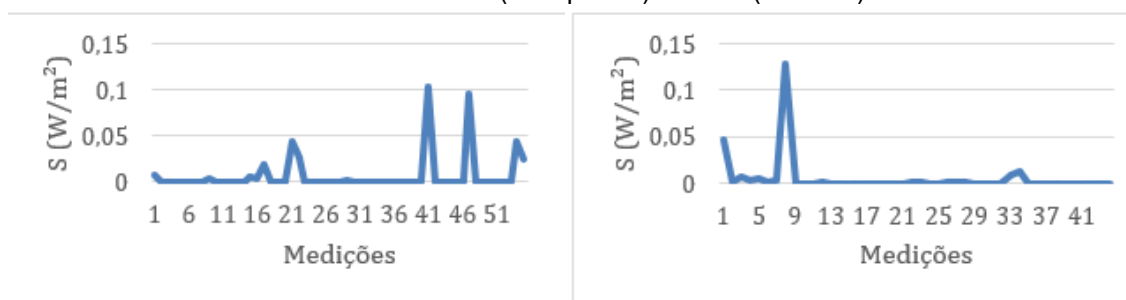
variou de 29,1°C a 36,6°C, com uma média de 32,1°C. Os voos 1, 5 e 6 alcançaram valores dentro da zona de cautela (FITS entre 32°C e 38°C). Os maiores valores de FITS foram observados nos voos 5 e 6, no quais tiveram menor tempo de duração. No entanto, ambos ocorreram no mês de setembro, enquanto os demais foram realizados no mês de julho.

3.3 Resultados da avaliação de radiações eletromagnéticas

As medições de campo eletromagnético dentro do helicóptero foram realizadas, com registros contínuos durante dois voos e do teste de comunicação no solo. As avaliações ocorreram em julho de 2024. O perfil de exposição à radiação eletromagnética pode ser observado nos gráficos 2 e 3, que representam os valores de S e das componentes E e H do campo eletromagnético.

Os picos de intensidade ocorreram durante as comunicações de rádio. Em relação a S, os maiores valores registrados foram 102,7mW/m² para o voo 1 e 127,7mW/m² para o voo 2, enquanto a média durante as operações foi de 6,92mW/m² e 5,03mW/m², respectivamente (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Intensidade da densidade de potência (S) do campo eletromagnético durante os voos 1 (à esquerda) e voo 2 (à direita)

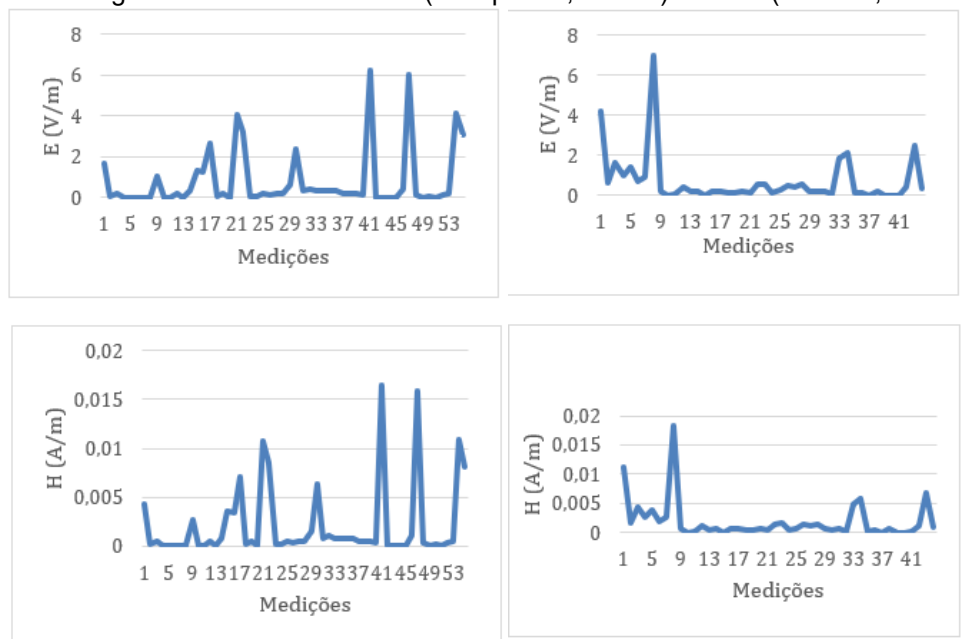


Fonte: elaboração própria.

A componente E, atingiu valores máximos de 6,22 V/m no voo 1 durante o voo de regresso, no instante que ocorreu comunicação com a rádio de Montes Claros (131,700), frequência do serviço de informação de voo (gráfico 03).

Para o voo 2, o valor máximo registrado de E foi de 6,94mV/m, também durante período de comunicação. Os valores médios de exposição de E por voo foram 0,79V/m e 0,70V/m, respectivamente. O tempo de comunicação dentro da cabine teve duração média 30 segundos, eles ocorreram 7 vezes durante o voo 01.

Gráfico 3 – Intensidade da componente elétrica (E) do campo eletromagnético durante os voos 1 (à esquerda, acima) e voo 2 (à direita, acima) e intensidade da componente magnética (H) do campo eletromagnético durante os voos 1 (à esquerda, abaixo) e voo 2 (à direita, abaixo)



Fonte: elaboração própria.

A intensidade do componente H do campo eletromagnético variou entre 0,008mA/m e 16,5mA/m para o voo 1 e 0,001mA/m e 18,4mA/m no voo 2, com médias de 2,08mA/m e 1,86mA/m em cada voo. Essa variação seguiu o padrão observado componente E, com os momentos de maior intensidade associados às operações de rádio (gráfico 3).

O teste de solo foi realizado durante um giro de manutenção de 5 minutos, com o objetivo de avaliar a contribuição da radiação eletromagnética durante as comunicações via rádio na ausência de outras fontes associadas ao voo. A densidade de potência máxima registrada foi de 9,22 mW/m², com uma média de 8,98 mW/m² durante o período de comunicação do piloto. Para o componente E, os valores variaram de 0,4 V/m com a aeronave ligada sem comunicação, alcançando o valor máximo de 5,90 V/m durante o teste de comunicação. Em relação ao componente H, o valor máximo registrado foi de 15,6 mA/m.

4 DISCUSSÕES

Este estudo avaliou os níveis de exposição ao ruído, calor e radiações eletromagnéticas em pilotos de helicópteros do CBMMG, com o objetivo de identificar

riscos ocupacionais que podem comprometer a saúde e a segurança dos tripulantes durante operações reais de voo. Os resultados indicaram uma situação que demanda análise criteriosa, mesmo quando não alcançados os limites de tolerância estabelecidos pela legislação vigente.

As avaliações realizadas no interior da cabine do helicóptero indicaram níveis elevados de ruído alcançando patamares insalubres, conforme definido pela legislação nacional, especificamente a NR 15 do Ministério do Trabalho e Emprego (Brasil, 2022). A exposição prolongada a esses níveis elevados de ruído está diretamente associada ao desenvolvimento de perda auditiva induzida por ruído. A perda auditiva induzida por ruído ocupacional constitui um agravo irreversível, decorrente do processo degenerativo das células sensoriais da cóclea, especialmente quando o trabalhador é exposto a níveis elevados de ruído por períodos prolongados (Kitama *et al.*, 2025).

Entretanto, os efeitos da exposição ao ruído não se restringem ao sistema auditivo. O esgotamento físico e mental observado em trabalhadores expostos também tem sido relacionado à ativação de respostas fisiológicas ao estresse, envolvendo aumento da pressão arterial, elevação da frequência cardíaca e maior liberação de hormônios como cortisol e adrenalina (Kumar; Vasudevamurthy, 2022). Missões de resgate, combate a incêndios e transporte aeromédico exigem comunicação contínua entre piloto, tripulação e equipes em solo, além da rápida interpretação de sinais sonoros e mudanças nas condições de voo. A exposição prolongada ao ruído pode reduzir a inteligibilidade da comunicação, aumentar a carga mental e favorecer erros de decisão, aspectos diretamente relacionados à segurança operacional (Schulthess; Huelsen, 2018).

O uso do protetor auditivo analisado demonstrou capacidade significativa de atenuação sonora, reduzindo, portanto, o risco da exposição. A utilização adequada de proteção auditiva é reconhecida como uma medida importante para prevenção de danos auditivos em ambientes aeronáuticos, nos quais a exposição ao ruído é frequentemente elevada e contínua (Nurfitriyana; Ivone; Adhy, 2020; Formanquevski; Soares, 2023).

Com relação aos níveis de conforto, mesmo com o uso de proteção auditiva, a exposição ao ruído permaneceu acima de 55 dB(A). Diretrizes da OMS e os parâmetros de conforto acústico estabelecidos pela norma ABNT 10152 indicam que

níveis superiores a esse valor podem interferir no desempenho humano em atividades que exigem maior concentração (Berglund; Lindvall; Schwela, 2000; ABNT, 2017). A exposição acima desse limite de conforto influencia negativamente os aspectos cognitivos dos indivíduos expostos, como concentração e memória, aumentando o potencial de erros operacionais (Nie; Devey; Brown, 1997; Schulthess; Huelsen, 2018). Esse impacto é especialmente preocupante durante as operações aéreas realizadas pelo CBMMG, nas quais a exposição prolongada dos pilotos pode elevar a probabilidade de incidentes ou acidentes (Lang; Harrigan, 2012).

Dessa forma, destaca-se a importância da implementação de Programas de Conservação Auditiva, que incluam, além do equipamento de proteção, monitoramento audiométrico periódico e adoção de intervalos de descanso em ambientes com baixos níveis de ruído. Esses intervalos podem favorecer a recuperação da sobrecarga sonora no sistema auditivo (Broyles; Butler; Kardous, 2017).

Com relação ao calor, os valores obtidos de IBUTG permaneceram abaixo dos limites de tolerância estabelecidos para o estresse térmico ocupacional. A análise do índice FITS, utilizado para avaliar o conforto térmico, mostrou que, durante os seis voos analisados, foram alcançados valores correspondentes a zona de cautela. Esse resultado sugere a presença de condições térmicas desfavoráveis ao desempenho humano, uma vez que a exposição prolongada a temperaturas acima do limite de conforto pode reduzir a capacidade de atenção, aumentar o tempo de reação e elevar a probabilidade de erros operacionais (Sharma; Suri; Kant, 2022). Durante missões prolongadas, especialmente em operações de busca e salvamento, o aumento da carga térmica pode potencializar a fadiga física e cognitiva, reduzindo a capacidade do piloto de manter elevados níveis de vigilância e precisão nas manobras. Possíveis medidas de controle podem ser consideradas, como equipamentos de refrigeração mais eficientes, pausas mais frequentes e hidratação adequada (Tustin *et al.*, 2024).

A avaliação dos níveis de exposição a campos eletromagnéticos foi conduzida em conformidade com os limites normativos estabelecidos pelo Ato nº 17.865/2023 da Anatel (Brasil, 2023), que seguem as recomendações da OMS e da Comissão Internacional de Proteção contra Radiações Não-Ionizantes (Brasil, 2009). Esses limites foram estabelecidos para proteger os trabalhadores de efeitos térmicos decorrentes da exposição à radiação eletromagnética, relacionados ao aumento da

temperatura corporal em exposições a campos eletromagnéticos de até 300 GHz (Barnes; Greenebaum, 2020; Hardell, 2021).

Os resultados obtidos indicaram que os valores de exposição medidos permaneceram abaixo dos limites estabelecidos pelas normas consideradas. Os valores máximos de exposição encontrados coincidiram com os momentos em que o sistema de rádio do helicóptero foi utilizado, que em geral operam na faixa de VHF entre 118 MHz e 137 MHz (Michałowska, *et al.*, 2021).

Estudos recentes têm investigado possíveis efeitos biológicos não térmicos associados à exposição prolongada a campos eletromagnéticos de radiofrequência em aeronaves. Discute-se a possibilidade de interferência nas funções cognitivas dos indivíduos expostos a níveis ainda que inferiores aos limites normativos vigentes (Lin, 2020, Belpomme *et al.*, 2024). Esses efeitos ainda são objeto de debate científico e não estão contemplados na legislação atual (Hinrikus *et al.*, 2023; Crane-Molloy, 2024).

A partir disso, sob a perspectiva da gestão de riscos ocupacionais, os resultados sugerem que, nas condições avaliadas, os campos eletromagnéticos não constituíram o principal fator limitante para a segurança e saúde dos pilotos. Entretanto, o monitoramento permanece relevante diante da crescente incorporação de equipamentos eletrônicos embarcados e da persistência de incertezas científicas relacionadas aos possíveis efeitos biológicos decorrentes de exposições crônicas de baixa intensidade.

Embora os resultados deste estudo tenham fornecido uma compreensão abrangente dos riscos ocupacionais relacionados ao ruído, calor e radiações eletromagnéticas em pilotos de helicópteros do CBMMG, é fundamental considerar algumas limitações. Devido a característica dos equipamentos utilizados, as medições de calor e radiação foram registradas manualmente. Essa abordagem pode não capturar adequadamente as variações ao longo do tempo, especialmente em situações em que os fatores de exposição flutuam durante o voo. Além disso, o número de voos analisados foi reduzido, pois a coleta de dados dependia das operações reais da Unidade.

Ressalta-se que os níveis de ruído analisados se referem à exposição durante o voo. Os pilotos podem realizar múltiplas operações ao longo do dia, o que pode ampliar a exposição ao ruído durante a jornada de trabalho. Além disso, a exposição

ao ruído em áreas externas à aeronave também pode representar um risco adicional, caso não seja utilizada a proteção auditiva em áreas próximas a decolagens e aterrissagens (Martins, 2010; Vendramin, 2018; Almeida; Lohn, 2024). Essa exposição adicional não foi contemplada no escopo deste estudo.

Outro fator limitante foi o período de coleta de dados, realizado no inverno, quando a exposição ao calor é menor. Isso é relevante em regiões como o norte de Minas Gerais, onde o estudo foi realizado, pois no verão as condições térmicas seriam mais severas. Para a avaliação do calor também não foram considerados o efeito do macacão utilizado pelo piloto, cuja resistência térmica e baixa permeabilidade ao vapor podem adicionar aumento da temperatura corporal (Denhartog; Walker; Barker, 2016). Isso significa que, em dias com temperaturas mais elevadas ou em condições de maior esforço físico, os resultados da exposição podem atingir níveis mais elevados.

Por fim, é importante considerar que fatores de risco ocupacionais, como ruído, calor, vibrações e campos eletromagnéticos, em geral, são avaliados de forma isolada, conforme os limites de tolerância estabelecidos pelas normas regulatórias. Entretanto, a exposição simultânea a esses fatores pode gerar interações que amplificam os efeitos adversos, mesmo que cada fator esteja dentro dos limites permitidos. A interação entre diferentes estressores ocupacionais pode produzir efeitos sinérgicos, aumentando a carga fisiológica e cognitiva sobre os trabalhadores (Golmohammadi; Darvishi, 2020). Assim, a exposição combinada a múltiplos agentes físicos em ambientes aeronáuticos representa um aspecto relevante a ser considerado em futuras pesquisas e na formulação de estratégias de gestão de riscos ocupacionais.

5 CONCLUSÃO

Os objetivos propostos neste estudo foram alcançados, uma vez que foi possível mensurar e avaliar a exposição ocupacional ao ruído, calor e campos eletromagnéticos em pilotos da 3ª CEOA do CBMMG durante operações reais de voo. Em resposta às perguntas de pesquisa, os resultados indicaram que o ruído constitui o principal fator de risco ocupacional no ambiente analisado, apresentando níveis superiores aos limites estabelecidos para exposição ocupacional. Quanto ao calor e à

radiação eletromagnética, as exposições permaneceram abaixo dos limites normativos relacionados à insalubridade. Ainda assim, os valores observados indicam risco ao conforto, aspecto que pode impactar na segurança e no desempenho operacional.

Como limitações, destacam-se o número reduzido de operações avaliadas e a realização das avaliações de calor no período de inverno, fatores que podem influenciar os resultados subestimando condições operacionais. Estudos futuros devem ampliar o número de missões avaliadas e contemplar diferentes condições climáticas. Recomenda-se, também, investigar a exposição combinada a múltiplos agentes físicos, com o objetivo de aprofundar a compreensão de seus efeitos sobre a saúde dos pilotos e a segurança operacional.

Os resultados deste estudo fornecem evidências que podem subsidiar o planejamento de programas de monitoramento ambiental, a implementação de medidas preventivas e o aperfeiçoamento das estratégias de gestão da saúde ocupacional no âmbito do CBMMG e de outras organizações que utilizam aeronaves de asas rotativas em atividades de emergência. Além disso, o estudo contribui para reduzir a escassez de dados nacionais sobre exposições ambientais em aeronaves de resgate, constituindo uma base para futuras investigações e aprimoramentos de ações de prevenção a saúde de pilotos e a segurança operacional.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, E. *et al.* **Estimation of electromagnetic dosimetric values from non-ionizing radiofrequency fields in an indoor commercial airplane environment.** *Electromagnetic Biology and Medicine*, v. 33, n. 4, p. 252-263, 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23915231/>. Acesso em: 1 ago. 2024.

AKHAVAN, Asghar; HASANALIFARD, Mahdieh; ABOLGHASEMI, Reyhaneh. **Noise-induced hearing impairments in Iranian airlines pilots: risk factors and occupational comparisons.** *International Archives of Occupational and Environmental Health*, v. 98, n. 9, p. 787-795, 2025.

ALMEIDA, Marcelo; LOHN, Joel Irineu. A fisiologia na atividade aérea e os possíveis danos causados aos aeronautas: physiology in air activity and possible damage caused to aeronauts. **Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas**, v. 4, n. 1, p. 132-181, 2024.

AMERICAN INDUSTRIAL HYGIENE ASSOCIATION (AIHA). **A strategy for assessing and managing occupational exposures**. Falls Church, VA: American Industrial Hygiene Association, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10152: Acústica – níveis de pressão sonora em ambientes internos e edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

AZEVEDO, Thiago Shuck; BOFF, André Luís. O Impacto de Ambientes Térmicos Estressores na Capacidade Cognitiva de Pilotos. **Revista Conexão Sipaer**, Brasil, v. 9, n. 1, p. 9-19, 2018. Disponível em: <http://conexaosipaer.com.br/index.php/sipaer/issue/view/23/showToc>. Acesso em: 21 jun. 2024.

BARNES, Frank; GREENEBAUM, Ben. Setting guidelines for electromagnetic exposures and research needs. **Bioelectromagnetics**, v. 41, n. 5, p. 392-397, 2020.

BATALHÃO DE OPERAÇÕES AÉREAS. **Diagnóstico de 2023 e prognóstico 2024/2025: relatório final**. [S. l.]: Belo Horizonte: Batalhão de Operações Aéreas, 2023.

BAUER, Hans; NOWAK, Dennis; HERBING, Britta. Age, aging and physiological dysregulation in safety-critical work: a retrospective longitudinal study of helicopter emergency medical services pilots. **International Archives of Occupational and Environmental Health**, v. 93, p. 301-314, 2020.

BECKER, Plínio da Silva. O impacto do estresse térmico na instrução aérea do 1º/11º GAV. **Revista UNIFA**. Rio de Janeiro, v. 23, n. 27, 2010.

BELPOMME, Dominique *et al.* Thermal and non-thermal health effects of low intensity non-ionizing radiation: an international perspective. **Environmental Pollution**, v. 242, p. 643-658, 2018.

BERGLUND, Birgitta; LINDVALL, Thomas; SCHWELA, Dietrich H. New WHO guidelines for community noise. **Noise & Vibration Worldwide**, v. 31, n. 4, p. 24-29, 2000.

BEZERRA, Thiago Augusto Rochetti *et al.* High decibels as causing deconcentration and hearing damage in pilots, crew members and passengers: experimental study in the Brazilian Air Force. **International Journal of Medical Science and Clinical Research Studies**, v. 4, n. 4, p. 620-628, 2024.

BINAZZI, Alessandra *et al.* Evaluation of the impact of heat stress on the occurrence of occupational injuries: Meta-analysis of observational studies. **American journal of industrial medicine**, v. 62, n. 3, p. 233-243, 2019.

BRAMMER, Anthony J.; SCHOLZ, Magdalena F. Relating occupational exposure to persistent health effects. **Proceedings**, v. 86, n.1, p.44, 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Telecomunicações. **Ato nº 17865, de 30 de dezembro de 2023**. Brasília, DF: ANATEL, 2023. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-requisitos-tecnicos-de-gestao-do-espectro/2023/1914-ato-17865>. Acesso em: 1 ago. 2024.

BRASIL. **Decreto nº 12.651, de 7 de outubro de 2025**. Regulamenta a Lei nº 14.874, de 28 de maio de 2024, que dispõe sobre a pesquisa com seres humanos e institui o Sistema Nacional de Ética em Pesquisa com Seres Humanos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 out. 2025. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/decreto/d12651.htm. Acesso em 4 jul. 2026

BRASIL. **Lei nº 11.934, de 5 de maio de 2009**. Dispõe sobre limites à exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos; altera a Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2009. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L11934.htm. Acesso em: 1 ago. 2024.

BRASIL. **Lei nº 14.874, de 28 de maio de 2024**. Dispõe sobre a pesquisa com seres humanos e institui o Sistema Nacional de Ética em Pesquisa com Seres Humanos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 29 maio 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l14874.htm. Acesso em: 4 jul. 2026

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. **Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012**. Aprova as diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 13 jun. 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/conselho-nacional-de-saude/pt-br/atos-normativos/resolucoes/2012/resolucao-no-466.pdf/view>. Acesso em: 4 jul. 2026.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 09 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais**. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-9-nr-9>. Acesso em: 31 ago. 2024.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 15 – Atividades e Operações Insalubres**. Segurança e medicina do trabalho. Atualizada pelo Portaria MTP nº 806, de 13 de abr. 2022.

BROYLES, George; BUTLER, Corey R.; KARDOUS, Chucri A. Noise exposure among federal wildland fire fighters. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 141, n. 2, p. e1177-e1183, 2017.

BUTLER, G. C.; NICHOLAS, J. S. **Magnetic Fields on the Flight Deck**. [S. l.: S. n.]. Disponível em: https://public.alpa.org/portals/alpa/magazine/2001/Jan2001_MagneticFields.htm#:~:text=Magnetic. Acesso em: 10 ago. 2024.

BÜYÜKÇAKIR, Cem. Hearing Loss in Turkish Aviators. **Military Medicine**, v. 170, n. 7, p. 572-576, jul. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.7205/MILMED.170.7.572>. Acesso em: 1 ago. 2024.

CALDWELL, John A. The impact of fatigue in air medical and other types of operations: A review of fatigue facts and potential countermeasures. **Air Medical Journal**, v. 20, n. 1, p. 2-41, 2001.

CAMARGOS, Nelson Santana; DUARTE, Maria Lúcia Machado; DONADON, Lázaro Valentim. As vibrações de corpo inteiro no transporte aeromédico de pacientes neonatos pelo Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Vigiles**, Brasil, v. 6, n. 1, 2023. Disponível em: <https://vigiles.bombeiros.mg.gov.br/index.php/cbmmg/issue/view/10/66>. Acesso em: 1 jun. 2024.

CRAMER, Matthew N. et al. Human temperature regulation under heat stress in health, disease, and injury. **Physiological reviews**, 2022.

CRANE-MOLLOY, A. **Investigating Non-Thermal Effects of Radiofrequency Electromagnetic Fields (RF EMF) on Human Health: a comprehensive review**. ResearchGate, 2024.

DEACONU, M. et al. Helicopter inside cabin acoustic evaluation: A case study—iar puma 330. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 18, 1 set. 2021.

DEJOURS, C. **A loucura do trabalho: estudo de psicopatologia do trabalho**. 5 ed. Sao Paulo: Cortez, 1992.

DENHARTOG, Emiel A.; WALKER, Marika A.; BARKER, Roger L. Total heat loss as a predictor of physiological response in wildland firefighter gear. **Textile Research Journal**, v. 86, n. 7, p. 710-726, 2016.

DUCHARME, M. B. Heat Stress of Helicopter Aircrew Wearing Immersion Suit. **Industrial Health**, n. 44, p. 44-433, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/6866349_Heat_Stress_of_Helicopter_Aircrew_Wearing_Immersion_Suit. Acesso em: 1 ago. 2024.

FALCÃO, T. P. et al. Audiometric profile of civilian pilots according to noise exposure. **Revista de Saúde Pública**, v. 48, n. 5, p. 790–796, 2014.

FERNANDES, Ronald Márcio Élleres et al. Avaliação da proteção auditiva para ruído emitido por helicóptero. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 10, n. 2, p. 60-70, 2018.

FERNANDES, Ronald Márcio Élleres et al. **X-028-Avaliação do Tempo de Exposição ao Ruído do Helicóptero H-1H**. [S. l.: s. n.], [s. d.].

FLOURIS, Andreas D. *et al.* Workers' health and productivity under occupational heat strain: a systematic review and meta-analysis. **The Lancet Planetary Health**, v. 2, n. 12, p. e521-e531, 2018.

FOLTZ, Lucas *et al.* Perfil Audiológico de Pilotos Agrícolas. **Arq. Int. Otorrinolaringol**, São Paulo, v. 14, n. 3, p. 322-330, jul./ago./set de 2010. Disponível em: <https://www.arquivosdeorl.org.br/conteudo/pdfForl/14-03-09.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2024.

FORMANQUEVSKI, Jenifer; SOARES, Luiz Alexandre Murbach. Acompanhamento clínico de pilotos e tripulantes militares de aeronaves: uma revisão de literatura e sugestão de controle de saúde. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 3, p. 10267-10282, 2023.

FRANKS, John R.; SHERRIS, C.; THEMANN, Christa L. **The NIOSH compendium of hearing protection devices**. Cincinnati: National Institute for Occupational Safety and Health, 1994.

FUNDACENTRO. **Norma de higiene ocupacional: NHO 01 avaliação da exposição ocupacional ao ruído: procedimento técnico**. São Paulo: Fundacentro, 2001.

FUNDACENTRO. **Norma de higiene ocupacional: NHO 06: avaliação da exposição ocupacional ao calor: procedimento técnico**. São Paulo: Fundacentro, 2017.

FUNDACENTRO. **Norma de higiene ocupacional: NHO 09: avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro: procedimento técnico**. São Paulo: Fundacentro, 2013.

GOLMOHAMMADI, Rostam; DARVISHI, Ebrahim. The combined effects of occupational exposure to noise and other risk factors– a systematic review. **Noise and Health**, v. 21, n. 101, p. 125-141, 2019.

GONÇALVES, E.; DE MEDEIROS, S. **Estudo Termoambiental em Viaturas Utilizadas nos Serviços de Radiopatrulhamento no Estado da Paraíba**. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, [s. d.].

GOSTIMIROVIC, Milos *et al.* The influence of climate change on human cardiovascular function. **Archives of environmental & occupational health**, v. 75, n. 7, p. 406-414, 2020.

GOSWAMI, Pallavi; SHARMA, Sanjiv. Evaluation of pre-take-off heat stress in a modern fighter cockpit: A field study. **Indian Journal of Aerospace Medicine**, v. 51, n. 2, p. 54-64. Disponível em: <https://indjaerospacemed.com/evaluation-of-pre-take-off-heat-stress-in-a-modern-fighter-cockpit-a-field-study/>. Acesso em: 1 ago. 2024.

HABIBI, Peymaneh *et al.* Effect of heat stress on DNA damage: a systematic literature review. **International journal of biometeorology**, v. 66, n. 11, p. 2147-2158, 2022.

HARDELL, Lennart *et al.* Aspects on the international commission on non-ionizing radiation protection (ICNIRP) 2020 guidelines on radiofrequency radiation. **Journal of Cancer Science and Clinical Therapeutics**, v. 5, n. 2, p. 250-285, 2021.

HINRIKUS, Hiie *et al.* Limiting exposure to radiofrequency radiation: the principles and possible criteria for health protection. **International Journal of Radiation Biology**, v. 99, n. 8, p. 1167-1177, 2023.

HOUSHYAR, S. *et al.* Evaluation and improvement of thermo-physiological comfort properties of firefighters' protective clothing containing super absorbent materials. **Journal of the Textile Institute**, v. 106, n. 12, p. 1394–1402, 2015.

HUNT, Andrew P. The maximum evaporative potential of constant wear immersion suits influences the risk of excessive heat strain for helicopter aircrew. **Plos one**, v. 13, n. 5, p. e0196606, 2018.

HWANG, Kyungtaek. Air Force Pilot's Recognition about the Effectiveness of Active Noise Cancellation on Hearing Health, Performance, and Aviation Safety. **Electronic Theses and Dissertations**, 2020-2023, 1392, 2022. Disponível em: <https://stars.library.ucf.edu/etd2020/1392>. Acesso em: 1 ago. 2024.

ICBE-EMF. International Commission on the Biological Effects of Electromagnetic Fields (ICBE-EMF). Scientific evidence invalidates health assumptions underlying the FCC and ICNIRP exposure limit determinations for radiofrequency radiation: implications for 5G. **Environ Health**, n. 21, p. 92, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12940-022-00900-9>. Acesso em: 1 ago. 2024.

IOANNOU, Leonidas G. *et al.* Occupational heat stress: multi-country observations and interventions. **International journal of environmental research and public health**, v. 18, n. 12, p. 6303, 2021.

ISO 7243. **Ergonomics of the thermal environment: Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index**. Geneva: International Organization for Standardization. 2017

JAVORSEK, Dan. **Impact of Cockpit Electro-Magnetics on Aircrew Neurology (ICEMAN)**. [S. l.:s. n.], [s. d.].

KENNY, Glen P. *et al.* Climate change and heat exposure: impact on health in occupational and general populations. **Exertional Heat Illness: A Clinical and Evidence-Based Guide**, p. 225-261, 2020.

KITAMA, Tsubasa *et al.* Noise-induced hearing loss: overview and future prospects for research on oxidative stress. **International journal of molecular sciences**, v. 26, n. 10, p. 4927, 2025.

- KÖSE, I. **Thermal comfort analysis of military aircraft cabin using computational fluid dynamics**. 2022. Master of Science, Middle East Technical University, 2022.
- KUMAR U., Ajith; VASUDEVAMURTHY, Sahana. Effect of Occupational Noise Exposure on Cognition and Suprathreshold Auditory Skills in Normal-Hearing Individuals. **American Journal of Audiology**, 5 dez. 2022. Disponível em: https://pubs.asha.org/doi/full/10.1044/2022_AJA-22-00015. Acesso em: 1 ago. 2024.
- LANG, Gregory T.; HARRIGAN, Michael J. Changes in hearing thresholds as measured by decibels of hearing loss in British Army Air Corps lynx and apache pilots. **Military medicine**, v. 177, n. 11, p. 1431-1437, 2012.
- LEE, Heow Pueh *et al.* Assessment of in-cabin noise of wide-body aircrafts. **Applied Acoustics**, v. 194, p. 108809, 2022.
- LI, J. *et al.* Simulating extreme environments: Ergonomic evaluation of Chinese pilot performance and heat stress tolerance. Work. **Anais**. IOS Press BV, 5 jun. 2015.
- LIN, James C. Incongruities in recently revised radiofrequency exposure guidelines and standards. **Environmental research**, v. 222, p. 115369, 2023.
- LIN, James C. Telecommunications health and safety: Fighter pilot disorientation and pulsed microwave radiation from radars. **URSI Radio Science Bulletin**, v. 2020, n. 373, p. 86-88, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9318448>. Acesso em: 1 ago. 2024.
- LINDVALL, J., VÄSTFJÄLL, D. The Effect of Interior Aircraft Noise on Pilot Performance. **Perceptual and Motor Skills**, v. 116, n. 2, p. 472-490, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.2466/27.24.PMS.116.2.472-490>. Acesso em: 1 ago. 2024.
- LOZANO, Maria F. Cuenca; GÁRCIA, César O. Ramírez. **Occupational Hazards in Firefighting: Systematic Literature Review**. **Safety and Health at work**. v. 14, número 1, p.1-9, fev. 2023.
- MANZONI, T. C. R. C. Saúde auditiva no trabalho: um estudo sobre a perda auditiva ocupacional e sua prevenção. **CEFAC**, v. 2, n. 2, p. 7-14, 2000.
- MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 2017.
- MARTINS, Edgard Thomas *et al.* **Estudo das aplicações na saúde e na operacionalização e no trabalho do aeronauta embarcado em modernas aeronaves no processo interativo homem-máquinas complexas**. 2010. Tese de (Doutorado). Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/10519>. Acesso em: 1 ago. 2024.

MELO, Marília Fernandes Soares; NETO, Annibal Muniz Silvany. Revisão narrativa sobre os riscos ocupacionais físicos e saúde de pilotos de aviação comercial.

Revista Baiana de Saúde Pública, v. 36, número 2, p. 465-481, abr./jun. 2012.

MICHAŁOWSKA, J. *et al.* Assessment of training aircraft crew exposure to electromagnetic fields caused by radio navigation devices. **Energies**, v.14, n. 1, 1 jan. 2021.

MICHAŁOWSKA, J. *et al.* Measuring Exposure to High-Frequency Electromagnetic Fields Experienced by a Helicopter Crew During Flight. **Transactions on Aerospace Research**, v.2022, n. 1, p. 59–65, 1 mar. 2022.

MICHAŁOWSKA, J. Prediction and Assessment of Exposure to Electromagnetic Field During a Helicopter Flight. **Przegląd Elektrotechniczny**, v. 98, n. 1, p. 96–99, 1 jan. 2022.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais, Batalhão de Operações Aéreas. **Plataforma MySky - controle estatístico**. Belo Horizonte, 2024b.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Instrução Técnica de Ensino nº 44** – CBMMG/ABM. Dispõe sobre as normas de elaboração e apresentação de trabalhos de conclusão de curso e dá outras providências. Belo Horizonte: CBMMG, 2023b.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Instrução Técnica Operacional nº 19** – Emprego de Aeronaves em Apoio às Operações do CBMMG. 3. Ed. Belo Horizonte: CBMMG, 2019.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Plano de Comando: 2015 - 2026**. 5. ed. Belo Horizonte, 2023a.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 44.411, de 20 de novembro de 2006**. Aprova o quadro de organização e distribuição (QOD) do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais – CBMMG, altera denominação e cria Unidades na Corporação. Belo Horizonte: Assembleia Legislativa, 2006. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/DEC/44411/2006/#:~:text=APROVA%20O%20QUADRO%20DE%20ORGANIZA%C3%87%C3%83O,E%20CRIA%20UNIDADES%20NA%20CORPORA%C3%87%C3%83O>. Acesso em: 1 ago. 2024.

MINAS GERAIS. Lei Complementar nº 54, de 13 de janeiro de 1999. Dispõe sobre a organização básica do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Minas Gerais - CBMMG e dá outras providências. Belo Horizonte: Assembleia Legislativa, 1999. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LCP/54/1999/?cons=1>. Acesso em: 21 jun. 2024.

MINORETTI, Piercarlo *et al.* Occupational Health Challenges for Aviation Workers Amid the Changing Climate: A Narrative Review. **Cureus**, v. 16, n. 3, 2024.

MONTEIRO, Raul Francé *et al.* **Novas tecnologias de cabine em aviões do transporte aéreo regular e transformações na representação social dos pilotos.** [S. l.: s.n.];, 2007.

MÜLLER, R.; SCHNEIDER, J. Noise exposure and auditory thresholds of German airline pilots: A cross-sectional study. **BMJ Open**, v. 7, n. 5, 1 mai. 2017.

MURPHY, William *et al.* Division of Applied Research and Technology Engineering and Physical Hazards Branch. National Institute for Occupational Safety and Health. **EPHB Report**, No. 360-13a, jul. 2015. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/surveyreports/pdfs/360-13a.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2024.

NIE, V.M.; DEVEY, P.; BROWN, A. Noise exposures and risks of hearing loss in pilots of general aviation aircraft. **Occupational Health and Industrial Medicine**, v. 2, n. 37, p. 70, 1997.

NIOSH. **Noise and Hearing Loss**. Noise and Hearing Loss. CDC. 2024. Disponível em: [https://www.cdc.gov/niosh/noise/about/noise.html#:~:text=85dBA%20or%20higher-,NIOSH%20established%20a%20recommended%20exposure%20limit%20\(REL\)%20of%2085%20A,loss%20over%20their%20working%20lifetime](https://www.cdc.gov/niosh/noise/about/noise.html#:~:text=85dBA%20or%20higher-,NIOSH%20established%20a%20recommended%20exposure%20limit%20(REL)%20of%2085%20A,loss%20over%20their%20working%20lifetime). Acesso em: 1 ago. 2024.

NIU, Feng; Qiu, Xiaojun; Zhang, Dong. Effects of active noise cancelling headphones on speech recognition. **Applied Acoustics**, v. 165, p. 107335, 2020. Disponível em: (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X20301614>). Acesso em: 1 ago. 2024

NÓBREGA, R. S.; LEMOS, T. V.S. O microclima e o (des) conforto térmico em ambientes abertos na cidade do Recife. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 28, n. 1, p. 93-109. 2011.

NUNNELEY, Sarah A.; STRIBLEY, Richard F. Fighter Index of Thermal Stress (FITS): Guidance for Hot-Weather Aircraft Operations. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, jun. 1979. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Richard-Stribley/publication/22665997_Fighter_Index_of_Thermal_Stress_FITS_guidance_for_hot-weather_aircraft_operations/links/56fd832e08aea6b77466ecf7/Fighter-Index-of-Thermal-Stress-FITS-guidance-for-hot-weather-aircraft-operations.pdf. Acesso em: 1 ago. 2024.

NURFITRIYANA, Nurfitriyana; IVONE, July; ADHY, Pramusinto. Influencing factors of hearing disorder in helicopter and casa pilots. **Journal of Medicine and Health**, v. 2, n. 5, 2020.

OLIVEIRA, B. F. A. *et al.* Impactos das condições de estresse térmico na mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares no Brasil. **Sustainability in Debate**. Brasília, v. 11, n. 3, p. 314-330, 2020.

OLIVEIRA, N. A. **A influência da cobertura vegetal no conforto térmico urbano em uma região do semiárido Norte Mineiro**. 2021. Mestrado (em Ciências Florestais – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

ORIKPETE, O. F. *et al.* Advancing noise management in aviation: Strategic approaches for preventing noise-induced hearing loss. **Journal of Environmental Management Academic Press**, 1 jul. 2024.

OSUNWUSI, Adeyinka Olumuyiwa. Occupational radiation exposures in aviation: Air traffic safety systems considerations. **International journal of aviation, aeronautics, and aerospace**, v. 7, n. 2, p. 6, 2020.

PARSONS, Iain T.; STACEY, Michael J.; WOODS, David R. Heat adaptation in military personnel: mitigating risk, maximizing performance. **Frontiers in physiology**, v. 10, p. 1485, 2019.

PÉRIARD, Julien D.; EIJSVOGELS, Thijs MH; DAANEN, Hein AM. Exercise under heat stress: thermoregulation, hydration, performance implications, and mitigation strategies. **Physiological reviews**, 2021.

PIRES, Luiz Antonio de Almeida; VASCONCELOS, Luiz Carlos Fadel; BONFATTI, Renato José. Bombeiros militares do Rio de Janeiro: uma análise dos impactos das suas atividades de trabalho sobre sua saúde. **SCIELO**, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sdeb/a/RT48Q7PhZqFpMvtSRPGnyHp/?lang=pt>. Acesso em: 21 jun. 2024.

POLJAK, Dragan. **Electromagnetic fields: Environmental exposure**. 2011.

RUSSO, A. C. Avaliação do Estresse Térmico em Viaturas Utilizadas nos Serviços de Radiopatrulhamento na Operação Verão nos Municípios de Caraguatatuba e Santos/SP. **Revista Ação Ergonômica**, v.15, p. e202105, 2021.

SAMAILA, B.; SAGAGI, Y. M.; TAMPUL, H. M. Exposure and Biological Impacts Assessment of Non-ionizing Electro-magnetic Radiation. **Sci Set J of Physics**, 2 (1), 01, v. 11, 2023.

SANTOS, M.; ALMEIDA A. Principais riscos ocupacionais dos profissionais da aviação. **Revista Segurança**, n. 223, p. 26-30, nov.-dez. 2014. Disponível em: <https://www.rpso.pt/principais-riscos-laborais-profissionais-da-aviacao/#:~:text=Por%20sua%20vez%2C%20a%20radia%C3%A7%C3%A3o,proporcionada%20pelo s%20equipamentos%20de%20voo>). Acesso em: 1 ago. 2024.

SCHMINDER, J.; GÅRDHAGEN, R. A generic simulation model for prediction of thermal conditions and human performance in cockpits. **Building and Environment**, v. 143, p. 120-129, 2018.

SCHULTHESS, G. V.; HUELSEN, E. Statistical evaluation of hearing losses in military pilots. **Acta oto-laryngologica**, v. 65, n. 1-6, p. 137-145, 2018.

SHARMA, M.; SURI, N. M.; KANT, S. Analyzing occupational heat stress using sensor-based monitoring: a wearable approach with environmental ergonomics perspective. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 19, n. 11, p. 11421-11434, 1 nov. 2022.

SHETTY, J.; LAWSON, C. P.; SHAHNEH, A. Z. Simulation for temperature control of a military aircraft cockpit to avoid pilot's thermal stress. **CEAS Aeronautical Journal**, v.6, n. 2, p. 319–333, 1 jun. 2015.

SHIBASAKI, Manabu *et al.* Suppression of cognitive function in hyperthermia; From the viewpoint of executive and inhibitive cognitive processing. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 43528, 2017.

SIBLEY, Aaron K.; TALLON, Jonh M.; DAY, Arla L.; STORLAZ, Stacy Ackroyd. Occupational injuries and stressors among Canadian air medical health care professionals in rotor-wing programs. **Air Medical Journal**, v.24, n. 6, p. 252-257, nov. 2005.

SILVA, Bruno Hebert. **Avaliação da exposição ao ruído ocupacional em guarnições de resgate durante o plantão operacional**. Academia de Bombeiros Militar de Minas Gerais: Curso de Formação de Habilitação de Oficiais, Belo Horizonte, 2023.

SILVA, Luis Felipe; MENDES, René. Exposição combinada entre ruído e vibração e seus efeitos sobre a audição de trabalhadores. **Revista de Saúde Pública**, v. 39, número 1, p. 9-17, jan. 2005.

SILVA, V.S. P. *et al.* Os impactos da vibração de corpo inteiro nos tripulantes de helicópteros do corpo de bombeiros militar de minas gerais. **South Florida Publishing LLC**, 23 nov. 2020.

SOBIECH, Jaromir *et al.* Occupational exposure to electromagnetic fields in the Polish Armed Forces. **International journal of occupational medicine and environmental health**, v. 30, n. 4, p. 565-577, 2017.

STAM, Rianne. Occupational exposure to radiofrequency electromagnetic fields. **Industrial health**, v. 60, n. 3, p. 201-215, 2021.

STANDARD, ASHRAE. Standard 55–2017 thermal environmental conditions for human occupancy. **Ashrae**, Atlanta, GA, USA, v. 442, n. 2017, p. 443, 2017.
Disponível em:
https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/standards%20and%20guidelines/standards%20addenda/55_2017_d_20200731.pdf. Acesso em: 1 ago. 2024.

SVENDSEN, Tuva; LUND-KORDAHL, Inger; FREDRIKSEN, Knut. Cabin temperature during prehospital patient transport—a prospective observational study. **Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine**, v. 28, n. 1, p. 64, 2020.

TUSTIN, Aaron *et al.* Prevention of occupational heat-related illnesses. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, v. 63, n. 10, p. e737-e744, 2021.

VENDRAMIN, Caetano. **O exercício da aviação: a saúde da tripulação.** Monografia (Conclusão do curso de Ciências Aeronáuticas). Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2018. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/items/4680c6e2-203b-4fbe-b729-acd84cd1d608>. Acesso em: 1 ago. 2024.