

Efeito do voo de caça nas respostas autonômicas e no desempenho cognitivo e psicofisiológico de pilotos experientes da Força Aérea: revisão sistemática

Wilian de Jesus Santana  0000-0003-4926-7032

Programa de Pós Graduação Stricto Sensu, Doutorado em Educação Física, Universidade São Judas USJT, São Paulo, SP, Brasil

Carlos Eduardo Rosa Silva  0000-0002-7667-4437

Programa de Pós Graduação Stricto Sensu, Doutorado em Educação Física, Universidade São Judas, USJT, São Paulo, SP, Brasil

Katia Bilhar Scapini  0000-0003-2074-486X

Programa de Pós Graduação Stricto Sensu, Doutorado em Educação Física, Universidade São Judas, USJT, São Paulo, SP, Brasil

Gilberto Pivetta Pires  0000-0003-4935-3221

Programa de Pós-graduação em Desempenho Humano Operacional, Universidade da Força Aérea, UNIFA, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Edson Koury do Nascimento  0000-0001-8573-0683

Programa de Pós-graduação em Desempenho Humano Operacional, Universidade da Força Aérea, UNIFA, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Alessandro Barreta Garcia  0000-0002-8692-0638

Programa de Pós Graduação Stricto Sensu, Doutorado em Educação Física, Universidade São Judas, USJT, São Paulo, SP, Brasil

Paulo de Tarso Veras Farinatti  0000-0003-2463-1280

Laboratório de Atividade Física e Promoção da Saúde da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Aylton Figueira Junior  0000-0002-6635-8019

Programa de Pós Graduação Stricto Sensu, Doutorado em Educação Física, Universidade São Judas, USJT, São Paulo, SP, Brasil

RESUMO

Introdução: Durante voos de caça, os pilotos enfrentam riscos como hipóxia e perda de consciência. A revisão explora a relação entre cargas estressoras, respostas autonômicas e desempenho cognitivo desses pilotos. O estudo visa preencher lacunas na compreensão desses elementos críticos na segurança e eficácia durante operações aéreas. **Objetivo:** identificar a relação entre as cargas estressoras e os efeitos do voo de caça em pilotos experientes, nas respostas autonômicas e desempenho cognitivo. **Metodologia:** A revisão sistemática elaborada nesta pesquisa foi registrada no PROSPERO (CRD42023495636). As questões de pesquisa foram definidas pelo modelo PICO de acordo com as diretrizes PRISMA, conforme segue: 1. População: Pilotos de Caça Experientes; 2. Intervenção: Voo de Caça, Voo Acrobático, Simulador de Voo; 3. Comparador: Comparação de Voos, Comparação das respostas autonômicas ou cognitivas; 4. Resultados: estresse psicológico, desempenho cognitivo e respostas autonômicas. A pesquisa bibliográfica foi realizada em 4 bases de dados: Pubmed, Embase, Medline e Sportdiscus, utilizando as palavras chaves piloto, estresse fisiológico, hipergravidade em inglês. **Resultados:** Foram encontrados 358 artigos, mas apenas 5 artigos selecionados para revisão final. A análise conjunta desses estudos revela que a frequência cardíaca (FC) emerge como uma variável crucial nas respostas fisiológicas dos pilotos diante de situações extremas, sejam elas de rápida descompressão, missões de combate ou hipóxia. A atipicidade das respostas, evidenciadas em diversos estudos, destaca a complexidade das reações autonômicas em contextos desafiadores. **Conclusão:** No contexto de voos de caça, em que desafios físicos e mentais são exacerbados, compreender as respostas autonômicas e psicofisiológicas é crucial para garantir a segurança e eficácia desses profissionais durante suas missões.

Palavras-chave: Estresse Psicológico; Pilotos; Frequência Cardíaca; Força G

Effect of fighting flight on autonomic responses and cognitive and psychophysiological performance of experienced Air Force pilots: systematic review.

ABSTRACT

Introduction: During fighter flights, pilots face risks such as hypoxia and loss of consciousness. The review explores the relationship between stressful loads, autonomic responses and cognitive performance in these pilots. The study aims to fill gaps in understanding these critical elements to flight safety and effectiveness during air operations. **Purpose:** identify the relationship between stressful loads and the effects of fighter flying in experienced pilots, especially analyzing autonomic responses and cognitive performance. **Methods:** The systematic review carried out in this research was registered in PROSPERO (CRD42023495636). The research questions were defined by the PICO model in accordance with the PRISMA guidelines, as follows: 1. Population: Experienced Fighter Pilots; 2. Intervention: Hunting Flight, Acrobatic Flight, Flight Simulator; 3. Comparator: Comparison of Flights, Comparison of autonomic or cognitive responses; 4. **Results:** psychological stress, cognitive performance, autonomic responses. The bibliographical research was carried

out in 4 databases: Pubmed, Embase, Medline and Sportdiscus, using the keywords pilot, physiological stress, hypergravity in English. Results: 358 articles were found, but only 5 articles were selected for final review. The joint analysis of these studies reveals that heart rate (HR) emerges as a crucial variable in pilots' physiological responses to extreme situations, whether rapid decompression, combat missions or hypoxia. The atypicality of responses, evidenced in several studies, highlights the complexity of autonomic reactions in challenging contexts. **Conclusions:** In the context of hunting flights, where physical and mental challenges are exacerbated, understanding autonomic and psychophysiological responses is crucial to ensuring the safety and effectiveness of these professionals during their missions.

Keywords: Stress, Psychological; Pilots; Heart Rate; Force G.

Efecto del vuelo de combate sobre las respuestas autonómicas y el desempeño cognitivo y psicofisiológico de pilotos experimentados de la Fuerza Aérea: revisión sistemática

RESUMEN

Introducción: Durante los vuelos de combate, los pilotos se enfrentan a riesgos como hipoxia y pérdida del conocimiento. La revisión explora la relación entre los factores estresantes, las respuestas autónomas y el rendimiento cognitivo en estos pilotos. El estudio tiene como objetivo llenar los vacíos en la comprensión de estos elementos críticos para la seguridad y la eficacia durante las operaciones aéreas. **Objetivo:** Identificar la relación entre las cargas estresantes y los efectos del vuelo de caza en pilotos experimentados, analizando especialmente las respuestas autonómicas y el rendimiento cognitivo. **Metodología:** La revisión sistemática realizada en esta investigación quedó registrada en PROSPERO (CRD42023495636). Las preguntas de investigación fueron definidas por el modelo PICO de acuerdo con los lineamientos PRISMA, de la siguiente manera: 1. Población: pilotos de combate experimentados; 2. Intervención: Vuelo de Caza, Vuelo Acrobático, Simulador de Vuelo; 3. Comparador: Comparación de Vuelos, Comparación de respuestas autonómicas o cognitivas; 4. **Resultados:** estrés psicológico, rendimiento cognitivo, respuestas autonómicas. La búsqueda bibliográfica se realizó en 4 bases de datos: Pubmed, Embase, Medline y Sportdiscus, utilizando las palabras clave piloto, estrés fisiológico, hipergravedad en inglés. **Resultados:** Se encontraron 358 artículos, pero sólo se seleccionaron 5 artículos para la revisión final. El análisis conjunto de estos estudios revela que la frecuencia cardíaca (FC) emerge como una variable crucial en las respuestas fisiológicas de los pilotos ante situaciones extremas, ya sean descompresiones rápidas, misiones de combate o hipoxia. La atipicidad de las respuestas, evidenciada en varios estudios, resalta la complejidad de las reacciones autonómicas en contextos desafiantes. **Conclusión:** En el contexto de los vuelos de caza, donde los desafíos físicos y mentales se exageran, comprender las respuestas autónomas y psicofisiológicas es crucial para garantizar la seguridad y eficacia de estos profesionales durante sus misiones.

Palabras clave: Estrés psicológico; Pilotos; Frecuencia cardíaca; Fuerza G.



1 INTRODUÇÃO

Durante um voo de caça, o piloto pode enfrentar altitudes elevadas, sujeito à possibilidade de hipóxia estagnada, resultando em perda de consciência induzida por G (GLOC) (Green, 2006; Newman, 2016). Em situações de hipergravidade, o sangue é deslocado para a parte inferior do corpo, impactando também a pressão arterial (Green, 2006; Newman, 2016). Além da hipóxia, os voos de alta altitude apresentam riscos psicológicos, fisiológicos e mecânicos significativos (Petrassi, Hodkinson, Walters, Gaydos, 2012), assim como, associação com o aumento do estresse e do esforço percebido (Bustamante-Sánchez, Delgado-Terán e Clemente-Suárez, 2019). Importante destacar que a tolerância individual às baixas concentrações de oxigênio no sangue influencia os sintomas experimentados (Neuhaus, Hinkelbein, 2014).

A perda de consciência induzida é considerada uma das condições mais críticas para pilotos de caça das Forças Aéreas (Choi, Lee, Cho, Koo e Kim, 2015). As altas forças G, especialmente durante manobras acrobáticas na aviação militar, podem desencadear diversas respostas fisiológicas, resultando na redução da capacidade operacional do piloto (Hargens, Bhattacharya e Schneider, 2013). De fato, as cargas estressoras enfrentadas pelos pilotos militares são extremas, e a falta de preparo ou percepção dos sintomas físicos pode levar à falência física (Brasil, 2016; Carpenter, Allum e Honegger, 2001).

A fadiga do piloto, originada por causas físicas ou mentais, é considerada um fator de risco interno para comportamentos inseguros, pois impacta negativamente nas respostas psicofisiológicas (Marcora, Staiano e Manning, 2009; Williamson *et al.*, 2011). A fadiga mental está associada à diminuição temporária do desempenho cognitivo máximo após períodos prolongados de atividade mental (Gergelyfi, Jacob, Olivier e Zénon, 2015; Hursh *et al.*, 2004; Jung, Ronda, Czeisler e Wright Jr, 2011). A carga física ou mental, podem contribuir na fadiga do piloto, resultando em respostas mais lentas, desatenção e até mesmo erros que podem culminar em acidentes (Borghini *et al.*, 2014). Por essa razão, uma avaliação psicológica abrangente é necessária para mapear as funções cognitivas de um indivíduo (Vanderploeg, 2000).

A literatura fornece dados isolados sobre a percepção psicofisiológica, deixando uma lacuna sobre as respostas autonômicas relacionadas às altas altitudes e ao desempenho cognitivo dos pilotos, elementos essenciais durante o voo, além da própria aeronave. Nesse contexto, nosso objetivo foi conduzir uma revisão sistemática da literatura para identificar a relação entre as cargas estressoras e os efeitos do voo de caça em pilotos experientes, especialmente analisando as respostas autonômicas e o desempenho cognitivo. Essa revisão sistemática foi registrada no PROSPERO com o id: CRD42023495636

2 METODOLOGIA

2.1 Estratégia de Busca

A revisão sistemática elaborada nesta pesquisa foi registrada no PROSPERO (CRD42023495636), plataforma on-line produzida pelo Center for Reviews and Dissemination University of York e fundada pela National Institute for Health Research (NIHR). As questões

de pesquisa foram definidas pelo modelo PICO de acordo com as diretrizes PRISMA, conforme segue:

1. População: Pilotos de Caça Experientes
2. Intervenção: Voo de Caça, Voo Acrobático, Simulador de Voo
3. Comparador: Comparação de Voos, Comparação das respostas autonômicas ou cognitivas
4. Resultados: estresse psicológico, desempenho cognitivo, respostas autonômicas

2.2 Método de Pesquisa no Banco de Dados

A pesquisa bibliográfica foi realizada até dezembro de 2023 em 4 bases de dados: Pubmed, Embase, Medline e Sportdiscus. As seguintes palavras-chaves foram utilizadas como estratégias de pesquisa: “Pilots” OR “Aviator” OR “Aviators” OR “Co Pilot” OR “Co-Pilot” OR “Co-Pilots” OR “Pilot” AND “Stress” OR “Psychological” OR “Cardiac Chronotropism” OR “Cardiac Chronotropy” OR “Heart Rate” OR “Cardiac Rates” OR “Chronotropism, Cardiac” OR “Chronotropy, Cardiac” OR “Control, Heart Rate” OR “Heart Rate Control” OR “Heart Rates” OR “Heartbeat” OR “Heartbeats” OR “Pulse Rate” OR “Pulse Rates” OR “Rate Control, Heart” OR “Rate, Cardiac” OR “Rate, Heart” OR “Rate, Pulse” OR “Rates, Heart” OR “Rates, Pulse” AND “Gravitation” OR “Hypergravity”

2.3 Critérios de Seleção

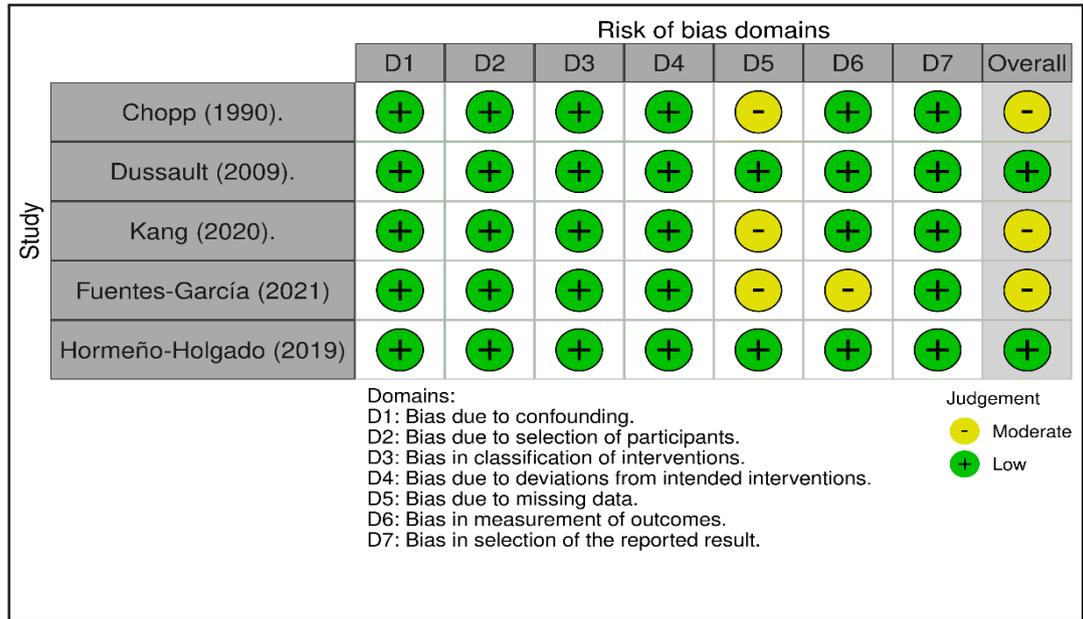
Foram utilizados os seguintes critérios de inclusão: 1) estudos originais e/ou de intervenção; 2) estudos com intervenção em simuladores e centrífugas; 3) estudos com pilotos de caça da força; 4). Foram excluídos estudos que: 1) utilizaram cadetes em formação; 2) pilotos civis e/ou pilotos comerciais. Nesta revisão, os estudos foram selecionados em três fases. Inicialmente, os artigos foram avaliados quanto ao título e resumo. Em seguida, os artigos que não atendiam os critérios de seleção foram excluídos. Na fase final, os artigos que não associados com respostas autonômicas e desempenho cognitivo em voo de caça foram excluídos. Os detalhes dos artigos foram resumidos no Quadro 2 que inclui desenho do estudo, caracterização dos sujeitos, média de idade e resultados.

Os artigos selecionados foram avaliados quanto aos critérios de elegibilidade por dois autores (WJS e CES). A análise e categorização de cada artigo foi realizada, separando os dados na planilha do Excel seguindo a ordem: nomes dos autores e ano de publicação, descrição da amostra, descrição da intervenção, resultados e conclusão. A primeira etapa da pesquisa resultou em 358 artigos e pela leitura apenas dos títulos e retirada dos artigos duplicados, foram selecionados 252 trabalhos. Nessa fase foram lidos todos os resumos observando os objetivos, intervenções com voos reais ou simulados, bem como as comparações das respostas autonômicas e psicofisiológicas. Caso o resumo não informasse esses detalhes, o artigo era separado para leitura completa. Não houve nenhuma discordância na seleção dos artigos para essa revisão, caso contrário seria acionado outro autor para realizar a avaliação do estudo em questão. Após a avaliação da qualidade



metodológica, utilizando a Escala PEDRo (Quadro 1), foram selecionados 05 artigos na íntegra para revisão qualitativa. A avaliação do risco de viés foi realizada pela Ferramenta ROBINS-I (Sterne *et al*, 2016). Os resultados são apresentados na Figura 1 gerada pela ferramenta de visualização de risco de viés (ROBVIS) (McGuinness e Higgins, 2020).

Figura 1 - Avaliação dos Riscos de Viés – Ferramenta ROBINS-I



Fonte: O autor.

Quadro 1: Pontuações da Escala PEDro dos artigos selecionados para revisão sistemática

Qualidade metodológica e força da evidência

Autores	(0-10)	Escala PEDro										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Chopp, C. S., <i>et al.</i> (1990).	6	S	N	N	S	N	N	N	S	S	S	S
Dussault, C., <i>et al.</i> (2009).	6	S	N	N	S	N	N	N	S	S	S	S
Kang, Y., <i>et al.</i> (2020).	7	S	S	N	S	N	N	N	S	S	S	S
Fuentes-García <i>et al</i> , 2021	7	S	S	N	S	N	N	N	S	S	S	S
Hormeño-Holgado <i>et al</i> , 2019	7	S	S	N	S	N	N	N	S	S	S	S

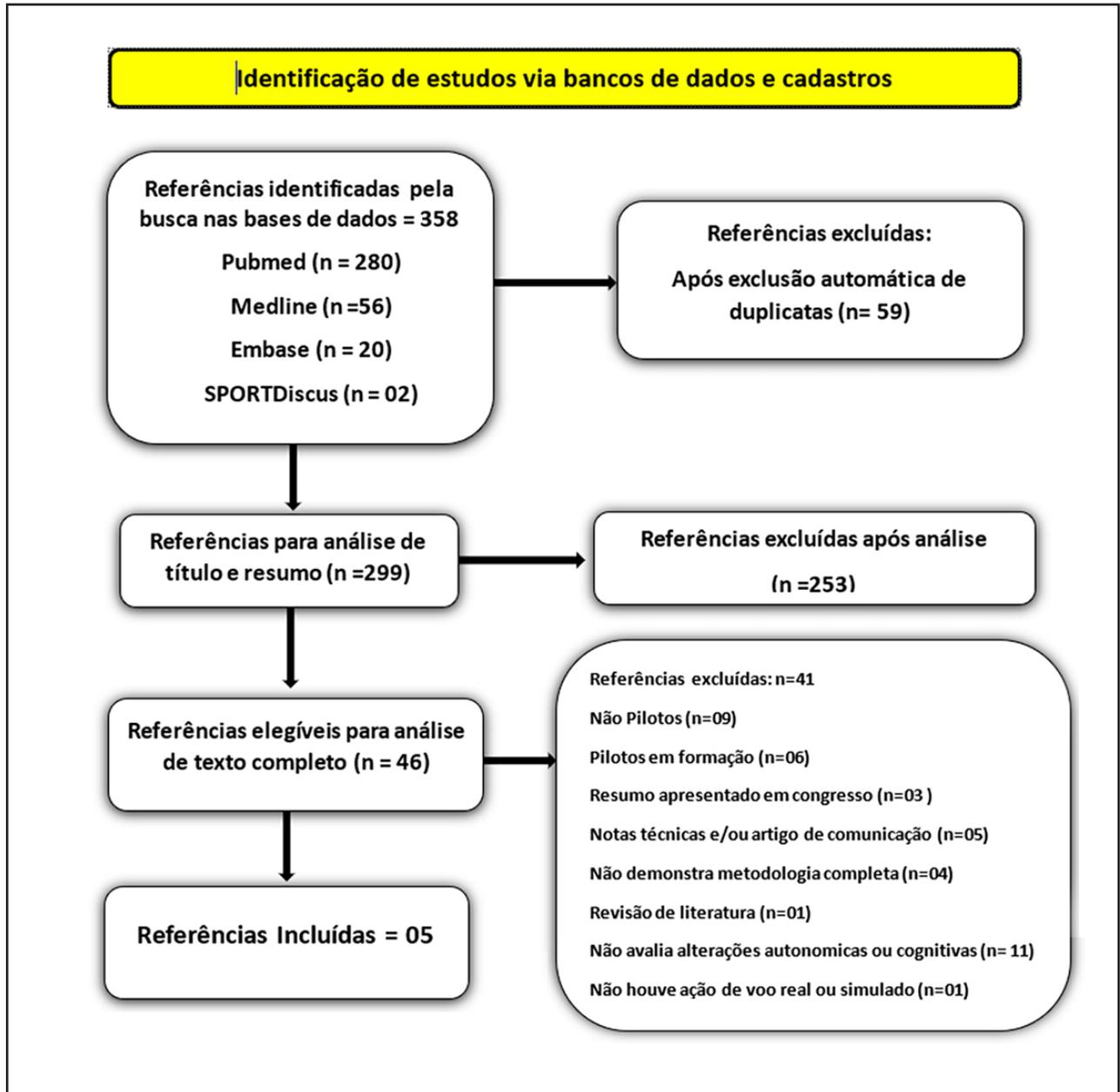
Fonte: O autor.

S = sim; N = Não - Pontuações de 6 ou mais são consideradas indicativas de alta qualidade, abaixo de 6 são consideradas indicativas de baixa qualidade.

- Itens da Escala PEDro: (a) critérios de elegibilidade e origem dos participantes; (b) alocação aleatória; (c) alocação oculta; d) comparabilidade da linha de base; (e) sujeitos cegos; (f) terapeutas cegos; (g) conselheiros cegos; (h) acompanhamento adequado; (i) intenção de tratar; (j) comparações entre grupos; k) estimativas pontuais e variabilidade.



Figura 2 - Fluxograma mostra a metodologia utilizada na seleção dos estudos da revisão sistemática



Fonte: O autor.



Quadro 2 - Dados dos artigos selecionados para revisão sistemática

Autor e Ano	Título	Objetivo	Design	Resultados
Chopp, C. S., et al. (1990).	Descompressão rápida até 50.000 pés: efeito na resposta da frequência cardíaca.	Relatar a resposta específica da frequência cardíaca a cada uma dessas tensões impostas.	17 homens da Força Aérea Americana (20 a 42 anos de idade), foram submetidos a uma câmara hipobarica. Foi analisado Eletrocardiograma, Frequência Cardíaca, Hipoxia e Ansiedade	A maior mudança na frequência cardíaca ocorreu ao longo de 1-2 min após rápida descompressão. Em um dos participantes, houve uma leve bradicardia seguida de taquicardia, por razões desconhecidas;
Dussault, C., et al. (2009).	Frequência cardíaca e equilíbrio autonômico durante testes de stand antes e depois de missões de combate de caça.	Avaliar o impacto da pilotagem em zonas de guerra sobre a cinética do equilíbrio simpato-vagal durante recuperação.	40 pilotos (33±0,72 anos) com monitoramento por eletrocardiograma com registro da frequência cardíaca e sua Variabilidade em dois tipos de aviões (F1 e F2). Cada piloto voou em apenas um tipo de avião.	Houve aumento significativo em todos os índices relacionados à modulação parassimpática nos voos longos uma hora após o pouso.
Kang, Y., et al. (2020).	Influência dos relatórios verbais no desempenho do voo do piloto e no estresse mental sob desorientação espacial.	Analisar o impacto da execução de relatórios verbais (RV) do piloto de acordo com o tipo de desorientação espacial reconhecido.	30 pilotos de caça divididos em 2 grupos (com RV e Sem RV); Foram analisados com eletrocardiograma, relatórios verbais, frequência cardíaca e sua variabilidade e escore de angústia percebida	Houve maior relação dos escores de estresse mental do grupo RV com medidas de alta frequência da variabilidade da frequência cardíaca do que o grupo sem RV
Fuentes-Garcia et al. 2021	Impacto dos voos reais e simulados na resposta psicofisiológica dos pilotos militares	Analisar os aspectos autonômicos, ansiedade, percepção de esforço, e resposta de autoconfiança durante voos reais e simulados	12 pilotos experientes do sexo masculino (idade = 33,08 (5,21)) da Força Aérea Espanhola, em voo real e simulado com avaliação da frequência cardíaca e variabilidade da frequência cardíaca, ansiedade, autoconfiança e percepção subjetiva de esforço	Aumento na classificação de esforço percebido e menor ansiedade cognitiva após um voo real. Entre voo real e simulado não houve diferenças estatisticamente significantes
Hormeño-Holgado et al, 2019	Efeito de diferentes manobras de jatos de combate na resposta psicofisiológica de pilotos profissionais	Analisar o efeito das manobras de combate aéreo de defesa e ataque na resposta psicofisiológica do ar. pilotos de caça de combate.	Foram analisados 29 pilotos Força Aérea Espanhola (28,3±7,4 anos). Foram realizadas manobras entre 8.000 e 18.000 pés, com força G entre 0,5 e 5,9. Avaliação força muscular de membros inferiores, espirometria, força isométrica de mãos, temperatura corporal, saturação de oxigênio, lactato sanguíneo, urina, excitação cortical, percepção subjetiva de esforço e de estresse, resposta da ansiedade	Aumento da significativo sobre as condições de percepção subjetiva de esforço e de estresse tanto em manobras ofensivas quanto as defensivas. A FC média aumentou significativamente durante o voo e a FC Máx diminuiu significativamente após a manobra de voo em ataque

Fonte: O autor.

3 RESULTADOS

Foram encontrados 358 resultados, incluindo 280 artigos do PUBMED, 56 artigos da MEDLINE, 20 artigos da EMBASE e 2 artigos da SPORTDiscus. Os Artigos foram publicados entre os anos de 1975 e 2021. Foram excluídos 59 artigos duplicados, restando 299 na análise de título e resumo. Foram excluídos 253 artigos que não atenderam os critérios de elegibilidade. Foram selecionados 47 artigos para leitura completa e análise dos dados. Após a leitura dos artigos, 05 atenderam todos os critérios estabelecidos para revisão final.

O Quadro 2 apresenta detalhes dos desenhos de pesquisa dos 5 estudos analisados nesta revisão. Os participantes dos estudos foram pilotos com média de 33 anos (min 18 e max 42). Esses pilotos possuíam experiência de acima de 1000 horas de voo, considerados pilotos experientes na função. Todos eram pilotos militares da Força Aérea dos Estados Unidos, Espanha, Korea e França. Os estudos de Kang *et al*, 2020 e Fuentes-Garcia *et al*, 2021 foram realizados em simuladores de voo. Já os estudos de Dussault *et al*, 2009, Holgado *et al*, 2019 e Chopp *et al*, 1990, foram realizados com voo real utilizando aeronaves de diferentes características. Dos estudos selecionados na pesquisa, 03 estudos (Kang *et al*, 2020, Fuentes-Garcia *et al*, 2021 e Holgado *et al*, 2019) apresentaram intervenção psicológica por questionário/instrumentos que avaliaram as percepção de estresse e esforço, fadiga subjetiva, ansiedade e estresse mental.

4 DISCUSSÃO

Esta revisão sistemática visou analisar os impactos do voo de caça nas respostas autonômicas e desempenho cognitivo de pilotos, abordando cinco estudos selecionados para uma análise abrangente. Após seleção de 358 artigos inicialmente identificados, cinco estudos publicados a partir de 2000 foram escolhidos para fornecer *insights* contemporâneos sobre as complexas interações entre fatores ambientais, estresse e as respostas autonômicas e psicofisiológicas dos pilotos de caça.

O estudo de Chopp *et al* (1990) trouxe indicativos ao explorar as respostas da frequência cardíaca (FC) durante a rápida decompressão, evidenciando a influência do estresse emocional em situações extremas de voo. Essa complexidade autonômica sublinha a necessidade de uma compreensão aprofundada das respostas fisiológicas em contextos específicos de desafio aeroespacial. Dussault e colaboradores (2009) complementaram essa perspectiva, destacando a alta carga de trabalho durante missões de combate em aeronaves modernas. A importância do equilíbrio simpatovagal, avaliado por meio da FC e sua variabilidade (VFC), emergiu como um indicador crucial para aeronavegantes.

Holgado *et al* (2019) adotaram uma abordagem abrangente ao explorar parâmetros físicos e psicofisiológicos durante manobras ofensivas e defensivas com aeronave de combate F5. O aumento significativo na frequência cardíaca (FC) por hipóxia, associado a efeitos moderados em manobras defensivas, ressalta a complexidade dos desafios fisiológicos enfrentados pelos pilotos em ambientes de alta altitude ou de manobras acrobáticas necessárias para a sua ação defensiva ou ofensiva. Essas descobertas contribuem na compreensão dos fatores que moldam as respostas durante manobras aéreas em condições adversas.

Essas análises proporcionam visão mais clara das adaptações cardiovasculares em situações específicas de voo, como as manobras acrobáticas necessárias para o desempenho defensivo



ou ofensivo. A abordagem abrangente desses estudos proporciona *insights* valiosos sobre os desafios fisiológicos enfrentados pelos pilotos em ambientes específicos, fornecendo uma compreensão mais profunda das respostas autonômicas em situações desafiadoras.

Kang *et al* (2020) e Fuentes-Garcia *et al* (2021) focaram no estresse mental e sua relação com a variabilidade da frequência cardíaca (VFC). Ao destacar a responsabilidade dos pilotos na segurança do voo e avaliar o desempenho durante desorientação espacial, esses estudos sublinham a importância da percepção subjetiva de angústia. As variáveis, como baixa frequência (LF) e alta frequência (HF) na VFC, oferecem uma compreensão mais profunda do estresse mental experimentado pelos pilotos, tanto em situações reais quanto simuladas. Fuentes-Garcia *et al* (2021) acrescentaram uma análise abrangente sobre aspectos autonômicos, ansiedade, percepção de esforço e autoconfiança durante voos reais e simulados. Os resultados destacaram que a frequência cardíaca média, intervalo R-R, ansiedade cognitiva e esforço percebido foram significativamente impactados apenas por voos reais. Essa distinção sublinha a importância de considerar o contexto operacional ao avaliar respostas fisiológicas e psicofisiológicas dos pilotos, fornecendo um entendimento mais detalhado das dinâmicas em ambientes reais de voo.

Em síntese, a análise conjunta desses estudos revela que a frequência cardíaca (FC) emerge como uma variável crucial nas respostas fisiológicas dos pilotos diante de situações extremas, sejam elas de rápida decompressão, missões de combate ou hipóxia. A atipicidade das respostas, evidenciadas em diversos estudos, destaca a complexidade das reações autonômicas em contextos desafiadores. A abordagem abrangente desses estudos proporciona reflexões valiosas dos desafios fisiológicos enfrentados pelos pilotos em ambientes aeroespaciais específicos, contribuindo significativamente na compreensão global das respostas autonômicas e psicofisiológicas.

Essas conclusões consolidam a relevância da investigação contínua nessa área, indicando a necessidade de estratégias adaptativas para otimizar a saúde e o desempenho dos pilotos em diferentes cenários aeroespaciais. O aprimoramento constante da compreensão dessas complexas interações é vital para garantir a segurança e a eficácia das operações aéreas, proporcionando uma base sólida para futuras pesquisas e intervenções práticas na saúde e bem-estar dos profissionais da aviação militar. A convergência desses estudos destaca a relevância da FC como um indicador central nas respostas fisiológicas durante eventos críticos, abordando desde rápida decompressão até missões de combate de alta carga de trabalho. A influência do estresse emocional, evidenciada por respostas atípicas, revela a complexidade das reações autonômicas em contextos extremos de voo.

Além disso, as abordagens ofereceram *insights* valiosos sobre os desafios fisiológicos enfrentados pelos pilotos, contribuindo para a compreensão aprofundada dos fatores que moldam as respostas autonômicas e psicofisiológicas em ambientes aeroespaciais desafiadores. Essas análises proporcionam uma visão mais clara das adaptações cardiovasculares em situações específicas de voo, como as manobras acrobáticas necessárias para o desempenho defensivo ou ofensivo.

CONCLUSÃO

A conclusão desta revisão enfatiza a relevância das descobertas para aprimorar a saúde e desempenho dos pilotos da Força Aérea. A evolução contínua nas pesquisas reflete a crescente preocupação com o bem-estar desses profissionais, evidenciando a constante busca por aprimorar a interação entre o humano

e a tecnologia aeronáutica. No contexto de voos de caça, onde desafios físicos e mentais são exacerbados, compreender as respostas autonômicas e psicofisiológicas é crucial para garantir a segurança e eficácia desses profissionais durante suas missões.

Essa revisão sistemática, ao reunir evidências de estudos contemporâneos, contribui significativamente para o entendimento mais amplo do tema, lançando luz sobre os complexos aspectos que permeiam a experiência de pilotos experientes em voos de caça. O constante aperfeiçoamento nas pesquisas reflete o compromisso em promover o bem-estar desses profissionais, alinhando-se aos avanços tecnológicos e às demandas desafiadoras da aviação militar.

Informações sobre os autores:

Wilian de Jesus Santana

<https://orcid.org/0000-0003-4926-7032>

<http://lattes.cnpq.br/8630691344168719>

E-mail: wilianjc@yahoo.com.br

Mini-currículo: Doutorando em Educação Física pela Universidade São Judas Tadeu, vinculado ao Programa de Cooperação Acadêmica em Defesa (PROCAD). Mestrado em Educação Física Stricto Sensu na Universidade São Judas Tadeu (2021); Licenciatura e Bacharelado em Educação Física pela Universidade Nove de Julho (2013) e Especialização em Fisiologia do Exercício pela Faculdade Metropolitana Unida (2015). Experiência na área de Educação Física, ênfase em Treinamento de Força e Treinamento Funcional. Membro do Grupo de Estudos em Treinamento, Atividade Física e Saúde da Universidade São Judas Tadeu (GETAFIS). Interesses em pesquisa nas áreas de Treinamento de Força, Fisiologia do Exercício, Avaliação Física, Promoção da Saúde, Atividade Física e Psicofisiologia. Docente dos Cursos de Educação Física e Fisioterapia do Centro Universitário UNIPIAGET. Coordenador do Curso de Pós Graduação em Fisiologia do Exercício e Periodização do Treinamento. Parecerista da Revista da Universidade da Força Aérea.

Carlos Eduardo Rosa Silva

<https://orcid.org/0000-0002-7667-4437>

<http://lattes.cnpq.br/2114175482046054>

E-mail: silva_personal@hotmail.com

Mini-currículo: Graduação em Educação Física pela Universidade Municipal de São Caetano do Sul. Especialista em Musculação e Condicionamento Físico pela Faculdade de Educação Física de Santo André FEFISA e Especialista em Biomecânica e Avaliação Física pelas Faculdades Metropolitanas Unidas FMU. Mestre em Educação Física pela Universidade São Judas Tadeu. Doutorando em Educação Física pela Universidade São Judas Tadeu. Membro do GETAFIS - Grupo de Estudos em Treinamento, Atividade Física e Saúde da Universidade São Judas Tadeu (USJT).

Katia Bilhar Scapini

<https://orcid.org/0000-0003-2074-486X>

<http://lattes.cnpq.br/3573467430209908>

E-mail: katia.scapini@saojudas.br

Mini-currículo: Possui graduação em Fisioterapia pela Universidade de Passo Fundo (2006), Pós Graduação



Lato-Sensu em Fisioterapia Cardiorrespiratória pela Universidade Gama Filho (2008), Mestrado em Envelhecimento Humano pelo Programa de Pós-Graduação em Envelhecimento Humano da Universidade de Passo Fundo (2011) e Doutorado em Ciências - Cardiologia pela Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (2017). Atualmente é docente dos Programas de Pós-Graduação Stricto Sensu (Mestrado) em Educação Física e em Ciências do Envelhecimento da Universidade São Judas Tadeu. Pesquisadora do Instituto Ânima Sociesc de Pesquisa, Inovação e Cultura e pesquisadora colaboradora do Laboratório de Hipertensão do InCor-FMUSP. Possui experiência em docência no ensino superior (graduação e pós-graduação). Atua principalmente nos seguintes temas: fisiologia cardiovascular, exercício físico preventivo e terapêutico, reabilitação cardiopulmonar, treinamento muscular respiratório, modulação autonômica cardiovascular, doença renal crônica, doença de Parkinson, envelhecimento e revisão sistemática/metanálise.

Gilberto Pivetta Pires

<https://orcid.org/0000-0003-4935-3221>

<http://lattes.cnpq.br/6427085515124125>

E-mail: gilbertopivettapires@gmail.com

Mini-curriculum: Possui graduação a nível de Licenciatura Plena em Educação Física pela Escola Superior de Educação Física e Desportos de Catanduva - ESEFIC (1997), Especialização em Atividades Aquáticas pela Universidade Norte do Paraná - UNOPAR (2000), Mestrado em Educação Física com Área de Conhecimento na Performance Humana, atuando na Linha de Pesquisa da Avaliação da Performance Humana pela Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP (2005), e Doutor em Educação Física com Área de Conhecimento na Escola, Esporte, Atividade Física e Saúde, atuando na Linha de Pesquisa do Fenômeno Esportivo pela Universidade São Judas Tadeu - USJT (2014). Trabalhou com Técnico Desportivo na modalidade de Natação no Clube de Tênis Catanduva (1995 a 2010), período o qual orientou atletas de destaque a nível nacional. Foi membro do Conselho Técnico da Federação Aquática Paulista (2006/2007); Membro do Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos da Universidade Federal de Roraima - UFRR. (2017/2019); Coordenador Local do Polo Campus Boa Vista do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu (Mestrado Profissional) em Educação Profissional e Tecnológica - ProfEPT (2018/2019); Coordenador do Centro de Pesquisas em Políticas Públicas do Esporte e Lazer da Rede CEDES em parceria com a Secretaria Especial do Esporte e Ministério da Cidadania (2015/2019) e Coordenador da Área de Educação Física do Programa de Iniciação da Docência - PIBID/IFRR em parceria com a Capes e o Ministério da Educação (2018/2019). Lecionou em cursos de Licenciatura e Bacharelado de instituições de nível superior no estado de São Paulo: Centro Universitário do Noroeste Paulista - UNORP (2005/2007); Universidade Paulista - UNIP (2006/2011); Centro Universitário FAFIBE - UNIFAFIBE (2008/2010); Faculdades Integradas Fundação Padre Albino - FIPA (2011); e de Roraima: Universidade Estadual de Roraima - UERR (2011) e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima - IFRR Campus Boa Vista (2012/2019) Atualmente atua no Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu (Mestrado Profissional) em Desempenho Humano Operacional - PPGDHO na Universidade da Força Aérea - Campo dos Afonsos - Rio de Janeiro. Tem experiência na área de Educação Física, com ênfase no Desempenho Humano, atuando principalmente nos seguintes temas: Natação, Medidas e Avaliações, Periodização e Treinamento de Força e Treinamento Desportivo.

Edson Koury do Nascimento

0000-0001-8573-0683

<https://orcid.org/0000-0001-8573-0683>

<http://lattes.cnpq.br/2026644448094058>

E-mail: koury.fab@gmail.com

Mini-curriculo: Formado no Curso de Formação de Oficiais Aviadores pela Academia da Força Aérea (2011), com graduação na Área de Administração, com ênfase em Administração pública e Ciências Aeronáuticas. Possui MBA em Gestão Pública pela Universidade Anhaguera (2016). Realizou os Cursos de Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional para PSAC, pela ANAC (2016) e Curso de Gestão e Fiscalização de Contratos Administrativos, pelo Enap (2016). Possui 1000 horas de instrução pela Academia da Força Aérea, nas aeronaves T-25 e T27 e tem experiência na área de Defesa, com ênfase em Defesa Aérea. Possui Título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação Stricto-Sensu, Mestrado Profissional em Desempenho Humano Operacional (PPGDHO), pela Universidade da Força Aérea (UNIFA). Atualmente está servindo no município de Belém, no Primeiro Comando Aéreo Regional, cumprindo missões na região amazônica a bordo da aeronave C-98 Grand Caravan, pelo Primeiro Esquadrão de Transporte Aéreo

Alessandro Barreta Garcia

<https://orcid.org/0000-0002-8692-0638>

<http://lattes.cnpq.br/5080310047611864>

E-mail: alessandrogarcia@hotmail.com

Mini-curriculo: Doutor em Educação Física pela Universidade São Judas Tadeu, na linha de pesquisa: Promoção e prevenção em saúde (2019-2023), membro do Grupo de Estudos em Treinamento, Atividade Física e Saúde (GETAFIS) pela Universidade São Judas Tadeu, USJT, Brasil, Mestre em Educação pela Universidade Nove de Julho, na linha de pesquisa: História e teoria do trabalho docente e do educador social (2008-2010). Especialista em Saúde da Mulher no Climatério 2003-2004 e 2004-2005 pela Universidade de São Paulo. Especialista em linguagens, suas tecnologias e o mundo do trabalho pela Universidade Federal do Piauí, UFPI (2023), Brasil e Licenciado e Bacharel em Educação Física pela Universidade Nove de Julho (1999-2002). Lecionou por 12 anos no Departamento de Educação da Universidade Nove de Julho, nas disciplinas de História e Introdução à Educação Física, Antropologia e Sociologia da Educação, TCC I e TCC II, Prática de Ensino I, II, III e IV, Seminários e Metodologia da Pesquisa. Suas pesquisas relacionam conhecimentos da Promoção da Saúde, Letramento em Saúde, Letramento Corporal, Educação em Saúde, Educação Física Escolar, Antropologia, História, Filosofia da Educação e História da Educação Física.

Paulo de Tarso Veras Farinatti

<https://orcid.org/0000-0003-2463-1280>

<http://lattes.cnpq.br/6076797913133653>

E-mail: ptvf1964@gmail.com

Mini-curriculo: Paulo de Tarso Veras Farinatti é professor de Educação Física, pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ, 1987). Concluiu o mestrado, em 1991, na Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Em 1998 obteve seu Doutorado (PhD)



no Instituto Superior de Educação Física e Cinesiterapia da Universidade Livre de Bruxelas (ULB, Bélgica). Desenvolveu pesquisas em estágio pós-doutoral (bolsa do CNPq) no Departamento de Cinesiologia da Universidade de Connecticut (UConn, EUA) (2013-2014). Atualmente é Professor Titular da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Fundou e coordena o Laboratório de Atividade Física e Promoção da Saúde da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Exerce desde 2016 o cargo de Vice-Diretor da Universidade Aberta da Terceira Idade da UERJ. Foi membro do Conselho Nacional dos Direitos do Idoso entre os anos de 2004-2006 e atuou como consultor do Ministério dos Esportes e do Ministério da Saúde na elaboração de uma Política Nacional de Esporte e Lazer para idosos. Pesquisador do CNPq desde 2000, tendo exercido a função de membro suplente do Comitê Assessor daquela agência para a Área de Educação Física (2007-2010). Exerceu o cargo de presidente da Sociedade Brasileira de Fisiologia do Exercício entre os anos 2002 e 2004, tendo sido editor-chefe da Revista Brasileira de Fisiologia do Exercício. Atuou como Professor Visitante na Universidade de Roma 2 - Tor-Vergata (Itália, 2013), Universidade de Connecticut (EUA, 2013), Universidade de Cagliari (2016) e Universidade Pedagógica de Moçambique (2018). Atua na área de Educação Física, com ênfase em Fisiologia do Exercício e Atividades Físicas para Populações com Necessidades Especiais

Aylton Figueira Junior

<https://orcid.org/0000-0002-6635-8019>

<http://lattes.cnpq.br/1107427417348652>

E-mail: aylton.junior@saojudas.br

Mini-currículo: Formado em Educação Física (1985-1988); Especialista em Ciências do Esporte pelo Laboratório de Aptidão Física de São Caetano do Sul - São Paulo - Brasil (CELAFISCS); Pós-Graduação em Ciências do Esporte na Faculdade de Educação Física de São Caetano do Sul (1989-1990); Pós-Graduação Fisiologia e Bioquímica do Exercício Instituto de Medicina Esportiva Manuel Fajardo - Havana - Cuba (1991). Coordenador do curso de Pós-graduação em Treinamento Esportivo da FMU; Docente dos Cursos de Graduação da UNINOVE e USJT; Membro da American College of Sports Medicine (ACSM desde 2003), Rede Mundial de Atividade Física e Ambiental (2011) e Sociedade Japonesa de Educação Física, Saúde e Ciências do Desporto.; Professor do Programa de Mestrado e Doutorado da Universidade São Judas Tadeu (USJT), desde 2009; Professor convidado do Programa de Mestrado em Fisiologia Clínica do Exercício- Universidad Mayor - Chile; Membro do CNPq (ad hoc) e da FAPESP (Ad hoc). Assessor do Conselho do Estado de Educação do Estado de São Paulo (desde 2009); Vencedor do Prêmio Literatura Esportiva do Ano oferecida pelo Colégio Brasileiro de Ciências do Esporte (2015); Medalha de Mérito da Educação Física delegada pelo Conselho Regional de Educação Física; Medalha da Comenda da Ordem da Educação Física do Estado de São Paulo; Autor de 12 livros e 26 capítulos nas áreas do esporte, treinamento e atividade física e saúde.

Contribuições dos autores:

O autor Wilian de Jesus Santana foi responsável pela formulação de metas e objetivos de pesquisa, condução do processo de pesquisa e investigação e preparação, criação e apresentação do trabalho publicado, especificamente na apresentação de dados e redação da versão final

O autor Carlos Eduardo Rosa Silva foi responsável formulação de metas e objetivos de pesquisa,



contribuindo para o processo de pesquisa e investigação, participando da verificação da replicação/reprodutibilidade geral dos resultados da pesquisa

O autor Alessandro Barreta Garcia foi responsável pela verificação técnica do conteúdo, revisão ortográfica e coerência dos subitens incluídos no estudo

O autor Edson Koury do Nascimento foi responsável pela verificação técnica do conteúdo, revisão ortográfica e coerência dos subitens incluídos no estudo

A autora Katia Bilhar Scapini foi responsável pela formulação de metas e objetivos de pesquisa, bem como a formulação da metodologia, gestão e coordenação do planejamento.

O autor Paulo de Tarso Veras Farinatti foi responsável pela formulação da metodologia e planejamento do estudo, contribuindo para execução da revisão.

O autor Gilberto Pivetta Pires foi responsável pela formulação de metas e objetivos de pesquisa, supervisionando o planejamento e aplicação dos critérios de verificação da reprodutibilidade geral dos resultados da pesquisa.

O autor Aylton Figueira Junior foi responsável pela formatação de metas e objetivos de pesquisa, contribuindo para o desenvolvimento da metodologia, gestão e coordenação do planejamento, supervisão e liderança para a execução da atividade de pesquisa e certificação da replicação/reprodutibilidade geral dos resultados da pesquisa.

Como citar este artigo:

ABNT

SANTANA, W. J.; SILVA, C. E. R.; SCAPINI, K. B.; PIRES, G. P.; NASCIMENTO, E. K.; GARCIA, A. B.; FARINATTI, P. T. V.; FIGUEIRA JÚNIOR, A. Efeito do voo de caça nas respostas autonômicas e no desempenho cognitivo e psicofisiológico de pilotos experientes da Força Aérea: revisão sistemática. **Revista da UNIFA**, Rio de Janeiro, v. 37, p. 1-17, 2024.

APA

SANTANA, W. J.; SILVA, C. E. R.; SCAPINI, K. B.; PIRES, G. P.; NASCIMENTO, E. K.; GARCIA, A. B.; FARINATTI, P. T. V.; FIGUEIRA JÚNIOR, A. (2024, maio) Efeito do voo de caça nas respostas autonômicas e no desempenho cognitivo e psicofisiológico de pilotos experientes da Força Aérea: revisão sistemática. **Revista da UNIFA**, Rio de Janeiro, 37 (1), p. 1-17.

REFERÊNCIAS

BORGHINI, G. *et al.* Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**. v. 44 p. 58-75, 2014.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. **Instruções Técnicas das Inspeções de Saúde na Aeronáutica**, 2016.



BUSTAMANTE-SÁNCHEZ, Á., DELGADO-TERÁN, M., & CLEMENTE-SUÁREZ, V. J. J. E. Psychophysiological response of different aircrew in normobaric hypoxia training. **Ergonomics**. v. 62(2) p. 277-285, 2019.

CARPENTER, M., ALLUM, J., & HONEGGER, F. J. E. b. r. Vestibular influences on human postural control in combinations of pitch and roll planes reveal differences in spatiotemporal processing. **Experimental Brain Research** v. 140(1) p. 95-111, 2001.

CHOI, B., LEE, Y., CHO, T., KOO, H., & KIM, D. **Detection of G-Induced Loss of Consciousness (G-LOC) prognosis through EMG monitoring on gastrocnemius muscle in flight**. Artigo apresentado no Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2015.

CHOPP, C. S. *et al.* Rapid decompression to 50,000 feet: effect on heart rate response. **Aviation, space, and environmental medicine**, v.61(7) p. 604-608, 1990.

DUSSAULT, C. *et al.* Heart rate and autonomic balance during stand tests before and after fighter combat missions. **Aviation, space, and environmental medicine**, v. 80(9) p. 796-802, 2009.

FUENTES-GARCÍA, J. P. *et al.* Impact of real and simulated flights on psychophysiological response of military pilots. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18(2) p.787, 2021.

GERGELYFI, M., JACOB, B., OLIVIER, E., & ZÉNON, A. Dissociation between mental fatigue and motivational state during prolonged mental activity. **Frontiers in Behavioral Neuroscience**, v.9 p. 176, 2015.

GREEN, N. D. Effects of long-duration acceleration. **Ernsting's aviation medicine**. v. 4 p.137-158, 2006.

HARGENS, A. R., BHATTACHARYA, R., & SCHNEIDER, S. M. Space physiology VI: exercise, artificial gravity, and countermeasure development for prolonged space flight. **European Journal of Applied Physiology**. v. 113(9) p. 2183-92, 2013.

HORMEÑO-HOLGADO, A. J., CLEMENTE-SUÁREZ, V. J.. Effect of different combat jet manoeuvres in the psychophysiological response of professional pilots. **Physiology & Behavior** , v. 8 p.112559, 2019.

HURSH, S. R. *et al.* Fatigue models for applied research in warfighting. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**. v.75(3) p.A44-A60, 2004.

JUNG, C. M., RONDA, J. M., CZEISLER, C. A., & WRIGHT JR, K. P. Comparison of sustained attention assessed by auditory and visual psychomotor vigilance tasks prior to and during sleep deprivation. **Journal of Sleep Research** v. 20(2) p.348-355, 2011.



KANG, Y., YUN, M. H., & KIM, S. Verbal reports influence on pilot flight performance and mental stress under spatial disorientation. **Aerospace medicine and human performance**, v. 91(12) p.948-955, 2020.

MARCORA, S. M., STAIANO, W., & MANNING, V. Mental fatigue impairs physical performance in humans. **Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology**. v106(3), p. 857-864, 2009.

MCGUINNESS, L. A, HIGGINS, J. P. T. Risk-of-bias VISualization (robvis): An R package and Shiny web app for visualizing risk-of-bias assessments. **Research Synthesis Methods**. v.12 p.55-61, 2020.

NEUHAUS, C., HINKELBEIN, J. Cognitive responses to hypobaric hypoxia: implications for aviation training. **Psychology Research and Behavior Management**. v. 7 p. 297-302, 2014.

NEWMAN, D. G. **High G flight: physiological effects and countermeasures: Routledge**. King's College London e Cranfield University, Reino Unido, 2016.

PETRASSI, F. A., HODKINSON, P. D., WALTERS, P. L., GAYDOS, S. J. Hypoxic hypoxia at moderate altitudes: review of the state of the science. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**. v. 83(10) p. 975-984, 2012.

ROSCOE, A. H. Stress and workload in pilots. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**. v. 49(4) p. 630-633, 1978.

STERNE, J. A., HERNÁN, M. A., REEVES, B. C., *et al.* ROBINS-I: a tool for assessing risk of bias in non-randomised studies of interventions. **British Medical Journal (Clinical Research Edition)**. v. 12(355) p. i4919, 2016.

VANDERPLOEG, R. D. **Clinician's guide to neuropsychological assessment**, 2000.

WILLIAMSON, A. *et al.* The link between fatigue and safety. **Accident Analysis & Prevention**. v.43(2) p.498-515, 2011.

WHINNERY, J. E. Acceleration induced voltage variations in the electrocardiogram during exhaustive simulated aerial combat maneuvering. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**. v. 53(2) p.147-152, 1982.

Recebido: 08 Nov 2024

Aceito: 13 Mar 2024

